

**Преимущества обучения в ТУСУРе:**

- Высокое качество образования в ТУСУРе основано на высокой квалификации профессорско-преподавательского состава, а также на передовой исследовательской материально-технической базе;
- Применение передовых технологий обучения, ориентированных на развитие творческого потенциала студентов, основанных на неразрывной связи с научными исследованиями и командной работой над реальными проектами;
- Полученное в ТУСУРе образование гарантирует 100%-ное трудоустройство, достойные условия труда, высокую зарплату и карьерный рост.

Прием документов на очную форму обучения начинается 19 июня и заканчивается 24 июня (если у абитуриента имеется полный комплект результатов вступительных испытаний в форме ЕГЭ или результатов олимпиад школьников, утвержденных Минобрнауки РФ) и 13 июля (если абитуриент будет сдавать вступительные испытания, проводимые ТУСУР самостоятельно). Абитуриент имеет право подать заявление не более чем на 3 направления подготовки и/или специальности ТУСУР, указав их рейтинг.

Вступительные испытания профильной направленности для инженерно-технических направлений - математика, физика, русский язык; для направлений в области ИТ технологий и информационной безопасности - математика, информатика, русский язык; для экономико-управленческих направлений - математика, обществознание, русский язык; для гуманитарных направлений - история России, обществознание, русский язык.

Конкурс абитуриентов на бюджетные места очной формы обучения проводится с 27 июня по сумме баллов за три экзамена в порядке ее убывания. Возможен прием абитуриентов на бюджетные места по договорам целевого приема. Зачисление в число студентов ТУСУРа на бюджетные места будет вестись с 30 июня по 7 августа включительно, зачисление на платные места - 7 и 21 августа.

634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, каб. 129

Тел.: (3822) 900-100

Факс: (3822) 900-100

E-mail: onir@main.tusur.ru
Сайт: <http://tusur.ru/>

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР-2015



**МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
13–15 мая 2015 г. (В пяти частях)**

Часть 2

г. Томск

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)»

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2015

Материалы
Всероссийской научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2015»

13–15 мая 2015 г., г. Томск

В пяти частях

Часть 2

B-Спектр
2015

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

Н 34

Н 34 Научная сессия ТУСУР–2015: материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 13–15 мая 2015 г. – Томск: В-Спектр, 2015: в 5 частях. – Ч. 2. – 360 с.

ISBN 978-5-91191-223-6

ISBN 978-5-91191-325-0 (Ч. 2)

Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых посвящены различным аспектам разработки, исследования и практического применения радиотехнических, телевизионных и телекоммуникационных систем и устройств, сетей электрической и радиосвязи, вопросам проектирования и технологии радиоэлектронных средств, аудиовизуальной техники, бытовой радиоэлектронной аппаратуры, а также автоматизированных систем управления и проектирования. Рассматриваются проблемы электроники СВЧ- и акустооптоэлектроники, нанофотоники, физической, плазменной, квантовой, промышленной электроники, радиотехники, информационно-измерительных приборов и устройств, распределенных информационных технологий, вычислительного интеллекта, автоматизации технологических процессов, в частности в системах управления и проектирования, информационной безопасности и защиты информации. Представлены статьи по математическому моделированию в технике, экономике и менеджменте, антикризисному управлению, правовым проблемам современной России, автоматизации управления в технике и образовании, а также работы, касающиеся социокультурных проблем современности, экологии, мониторинга окружающей среды и безопасности жизнедеятельности.

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

*Конференция проводится при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ)
в рамках Конкурса проектов организаций российских
и международных молодежных научных мероприятий,
проект № 15-37-10078*

ISBN 978-5-91191-323-6

ISBN 978-5-91191-325-0 (Ч. 2)

© Том. гос. ун-т систем управления
и радиоэлектроники, 2015



*Генеральный спонсор
конференции –
ЗАО «ПКК Миландр»*

ЗАО «ПКК Миландр» (г. Зеленоград) является одним из ведущих предприятий радиоэлектронного комплекса России, деятельность которого связана с разработкой и производством изделий микроэлектроники и электронных модулей на их основе. В настоящее время «Миландр» обеспечивает разработку высокointегрированных микросхем с проектными нормами до 0,065 мкм.

Номенклатурная линейка «Миландр» составляет более 200 типо-номиналов изделий (микроконтроллеры, микропроцессоры, радиочастотные микросхемы, микросхемы проводных интерфейсов, микросхемы управления питанием), которые широко используются российскими предприятиями оборонно-промышленного комплекса. Одним из конкурентных преимуществ компании является наличие собственного сборочного производства, позволяющего выполнять полный комплекс измерений параметров микросхем с последующей их установкой в металлокерамические (для спецприменений) или пластмассовые корпуса, а также Испытательного технического центра микроприборов, осуществляющего измерения, анализ и испытания микросхем.

В июне 2014 г. ЗАО «ПКК Миландр» совместно с Томским государственным университетом систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) и Томским государственным архитектурно-строительным университетом (ТГАСУ) одержали победу в конкурсе, выполняемом в рамках Постановления Правительства Российской Федерации № 218, по созданию высокотехнологичного производства интеллектуальных приборов энергетического учета, разработанных и изготовленных на базе отечественных микроэлектронных компонентов, и гетерогенной автоматизированной системы мониторинга потребляемых энергоресурсов на их основе. Для выполнения работ по комплексному проекту ЗАО «ПКК Миландр» и ТУСУР открыли Центр системного проектирования. В Центре системного проектирования, созданном на базе ТУСУРа, разрабатывается программное обеспечение для интеллектуальных приборов энергоучёта и комплексной системы автоматизированного сбора и обработки информации. Результаты работ Центра системного проектирования будут не только внедряться в производство, но и активно использоваться в учебном процессе ТУСУРа. Широкое внедрение совместных разработок ЗАО «ПКК Миландр», ТУСУРа и ТГАСУ позволит снизить затраты населения на тепло и электроэнергию на 15–20%.

Также ЗАО «ПКК Миландр» активно проводит программу по взаимодействию с вузами, в рамках которой предоставляет вузам оборудование собственного производства и методические пособия для проведения практических занятий на все время сотрудничества. По окончании курсов проводится аттестация студентов, по результатам которой самые выдающиеся студенты получают сертификаты. Проект реализуется в рамках общей программы по импортозамещению и позволяет студентам российских вузов приобрести навыки работы с отечественной элементной базой, с последующим трудоустройством в ведущие приборостроительные предприятия России.

ЗАО «ПКК Миландр»

124498, г. Москва, Зеленоград, Георгиевский проспект, дом 5.

Тел.: (495) 981-54-33, факс: (495) 981-54-36.

E-mail: info@milandr.ru

Сайт: www.milandr.ru



*Спонсор секции 5 конференции –
National Instruments (США)*

National Instruments (США) – лидер в области разработки и производства аппаратных и программных средств автоматизации измерений, эксперимента, диагностики, управления в широком спектре приложений. Технологии NI предоставляют возможность быстрой разработки и модернизации практикумов, подготовки студентов к успешным решениям инженерных и научных задач в таких областях, как электротехника, электроника, мехатроника, разработка систем управления и контроля, цифровая обработка сигналов и видеоизображений, телекоммуникации, системы связи и др.

National Instruments Russia

119361, Москва, ул. Озерная, 42, оф. 1201.

Тел.: +7(495) 783-68-51, факс: +7(495) 783-68-51.

E-mail: ni.russia@ni.com

Сайт: russia.ni.com

**Спонсор конференции –
НПО «Свободная энергия»**



Научно-производственное объединение «Свободная энергия» существует с 2004 г. и имеет успешный опыт проектирования и производства малогабаритных автономных систем питания различного назначения на основе химических источников тока (промышленных элементов питания и аккумуляторов). Компания основана выпускниками ТУСУРа и на первом этапе своей деятельности использовала возможности, предоставляемые СБИ «Дружба» в дальнейшем, вошла в состав УНИК ТУСУРа. В процессе развития НПО «Свободная энергия» создало постоянно модернизируемую производственную базу, отлаживает технологии проектирования и монтажа, повышает компетенции сотрудников компании, а также оказывает социальную поддержку детским и студенческим спортивным организациям.

Для получения оптимального результата в задачах по автономному электропитанию современных специализированных устройств и промышленного оборудования требуется профессиональный подход. Коллектив компании и производственная база позволяют проводить полный цикл работ, начиная с разработки по техническому заданию и заканчивая выпуском серийных изделий. Работы на каждой стадии проходят в согласовании с инженерными службами заказчика, благодаря чему достигается сбалансированное техническое решение в установленные заказчиком сроки.

Комплексный подход к задачам создания эффективных систем питания – это не только изготовление батарей из промышленных химических источников тока, но также проектирование и изготовление корпусов батарей, адаптированных для определенных условий эксплуатации; разработка соответствующих электронных схем защиты и контроля, а также специализированных зарядных устройств; интеграция системы в аппаратуру заказчика.

Гибкость и универсальность технологий производства НПО «Свободная энергия» позволяет выпускать любые партии продукции, начиная от одной штуки. Это особенно ценно при изготовлении тестовых образцов батарей в процессе разработки новой аппаратуры.

В ряде производственных задач отказ и простой оборудования, вследствие отключения автономного питания, влечет за собой значительные финансовые затраты, а иногда от безотказности мобильных устройств может зависеть и жизнь человека. В таких случаях точность оценки состояния батарей питания до запуска оборудования имеет особое значение.

НПО «Свободная энергия» разработана уникальная система мониторинга «LOTOS», позволяющая с высокой точностью оценить со-

стояние батарей автономного питания в любой момент времени. На основании полученных данных может быть принято обоснованное решение о дальнейшей эксплуатации или виде обслуживания батареи.

Система состоит из миниатюрной платы контроллера, монтируемой в батарею на этапе сборки, и устройства считывания, подключающего к контроллеру при необходимости получить информацию. Устройством считывания и обработки информации может быть как стандартный персональный компьютер, так и специальная мобильная аппаратура. В настоящее время компанией разработаны контактные и бесконтактные методы передачи данных от контроллера до устройств обработки информации.

Структура данных о батарее неперезаряжаемых литиевых элементов содержит реквизиты изделия; расчетные данные, включающие значения остаточной емкости, минимальной и максимальной рабочих температур; текущие электрические параметры. Структура данных об аккумуляторной батарее расширена и включает также значения прогнозируемой емкости, количество отработанных циклов заряда-разряда, общее напряжение на батарее и список напряжений на каждом элементе.

Постоянный складской запас сырья по наиболее востребованным позициям позволяет выпускать качественную продукцию в краткие сроки по конкурентной цене. Залогом высокого качества производимой НПО «Свободная энергия» продукции являются:

- квалифицированные кадры;
- отлаженная технология производства;
- наличие полного спектра диагностической аппаратуры;
- собственные исследования и разработки в области систем электропитания.

НПО «Свободная энергия» имеет долгосрочные партнерские отношения с ведущими российскими и зарубежными производственными предприятиями, такими как АО «Транснефть-ДИАСКАН» (г. Луховицы), Scientific Drilling (США), ООО «Технологическая компания Шлюмберже» (г. Томск), ОАО «Когалымнефтегазгеофизика» (г. Когалым), трест «СургутНефтегеофизика» (г. Сургут), ООО «Нефтегазгеофизика» (г. Тверь), ОАО «Литий-Элемент» (г. Саратов), ООО ТНПВО «СИАМ» (г. Томск) и многими другими.

Компания постоянно развивается, совершенствует и создает разработки, изделия и технологии, проводит исследования и внедряет их результаты. НПО «Свободная энергия» готова решать любые задачи по автономному питанию и всегда открыта для сотрудничества.

Научно-производственное объединение «Свободная энергия»

634041, Россия, г. Томск, ул. Красноармейская, 89а.

Тел.: (382-2) 555-777, факс: (3822) 565-562.

E-mail: info@freepower.pro, slovo77@freepower.pro

Сайт: www.freepower.pro

**Всероссийская
научно-техническая конференция
студентов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2015»
13–15 мая 2015 г.**

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

- Шелупанов А.А. – председатель, ректор ТУСУРа, директор Института системной интеграции и безопасности, председатель правления Томского профессорского собрания, д.т.н., профессор;
- Шурыгин Ю.А. – сопредседатель, директор департамента управления и стратегического развития (первый проректор), д.т.н., профессор;
- Беляев Б.А., зав. лабораторией электродинамики Ин-та физики СО РАН, д.т.н., г. Красноярск;
 - Голиков А.М., доцент каф. РТС, к.т.н.;
 - Грик Н.А., зав. каф. ИСР, д.ист.н., профессор;
 - Давыдова Е.М., декан ФБ, зам. зав. каф. КИБЭВС по УР, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.;
 - Демидов А.Я., зав. каф. ТОР, к.ф.-м.н., доцент;
 - Дмитриев В.М., зав. каф. МиСА, д.т.н., профессор;
 - Дробот П.Н., доцент каф. УИ, к.ф.-м.н.;
 - Еханин С.Г., проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н., доцент;
 - Ехлаков Ю.П., зав. каф. АОИ, д.т.н., профессор;
 - Зариковская Н.В., доцент каф. ЭМИС, к.ф.-м.н., доцент;
 - Карташев А.Г., проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н., профессор;
 - Катаев М.Ю., проф. каф. АСУ, д.т.н., профессор;
 - Коцубинский В.П., зам. зав. каф. КСУП, доцент каф. КСУП, к.т.н., доцент;
 - Лошилов А.Г., зав. каф. КУДР, начальник СКБ «Смена» ТУСУР, к.т.н.;
 - Лукин В.П., директор отд. распространения волн ин-та оптики атмосферы СО РАН, почетный член Американского оптического общества, д.ф.-м.н., профессор, г. Томск;
 - Малюк А.А., декан фак-та информационной безопасности МИФИ, к.т.н., г. Москва;
 - Малютин Н.Д., начальник отдела перспективных проектов (ОПП), директор НОЦ «Нанотехнологии», д.т.н., профессор;

- Мещеряков Р.В., директор департамента по науке и инновациям, проректор по научной работе и инновациям, зав. каф. БИС, д.т.н., профессор;
- Михальченко Г.Я., директор НИИ каф. ПрЭ, д.т.н., профессор;
- Мицель А.А., проф. каф. АСУ, д.т.н., профессор;
- Осипов Ю.М., академик Международной академии информатизации, д.э.н., д.т.н., профессор;
- Пустынинский И.Н., проф. каф. ТУ, заслуженный деятель науки и техники РФ, д.т.н., профессор;
- Разинкин В.П., проф. каф. ТОР НГТУ, д.т.н., профессор, г. Новосибирск;
- Соколовская Н.С., доцент каф. УП, зам. декана ЮФ по НИР, к.ю.н.;
- Суслова Т.И., декан ГФ, зав. каф. ФиС, д.ф.н., профессор;
- Троян П.Е., зав. каф. ФЭ, д.т.н., профессор;
- Ходашинский И.А., проф. каф. КИБЭВС, д.т.н., профессор;
- Черепанов О.И., зав. каф. ЭСАУ, д.ф.-м.н.;
- Шарангович С.Н., проф., зав. каф. СВЧиКР, к.ф.-м.н.;
- Шарыгин Г.С., зав. каф. РТС, д.т.н., профессор;
- Шостак А.С., проф. каф. КИПР, д.т.н.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

- Мещеряков Р.В., председатель Организационного комитета, директор департамента по науке и инновациям, проректор по научной работе и инновациям, зав. каф. БИС, д.т.н., профессор;
- Боков Л.А., директор департамента образования (проректор по учебной работе), к.ф.-м.н., доцент;
- Коротина Т.Ю., заведующая аспирантурой и докторантурой, к.т.н.;
- Юрченкова Е.А. – вед. инженер ОППО, к.х.н.

СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

- Секция 1. Радиотехнические системы и распространение радиоволн.
Председатель секции – Шарыгин Герман Сергеевич, зав. каф. РТС, д.т.н., проф.; зам. председателя – Тисленко Владимир Ильич, проф. каф. РТС, д.т.н., доцент
- Секция 2. Радиоэлектронные системы передачи информации и средства их защиты. Председатель секции – Голиков Александр Михайлович, доцент каф. РТС, к.т.н.; зам. председателя – Бернгардт Александр Самуилович, доцент каф. РТС, к.т.н.

- Секция 3. Аудиовизуальная техника, бытовая радиоэлектронная аппаратура и сервис – Пустынский Иван Николаевич, проф. каф. ТУ, д.т.н., проф.; зам. председателя – Костевич Анатолий Геннадьевич, с.н.с. каф. ТУ НИЧ, к.т.н.
- Секция 4. Проектирование биомедицинских электронных и наноэлектронных средств. Председатель секции – Еханин Сергей Георгиевич, проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н., доцент; зам. председателя – Романовский Михаил Николаевич, доцент каф. КУДР, к.т.н.
- Секция 5. Разработка контрольно-измерительной аппаратуры. Председатель секции – Лошилов Антон Геннадьевич, зав. каф. КУДР, начальник СКБ «Смена» ТУСУР, к.т.н.; зам. председателя – Убайчин Антон Викторович, с.н.с. СКБ «Смена», к.т.н.
- Секция 6. Проектирование и эксплуатация радиоэлектронных средств. Председатель секции – Шостак Аркадий Степанович, проф. каф. КИПР, д.т.н.; зам. председателя – Озёркин Денис Витальевич, декан РКФ, доцент каф. КИПР, к.т.н.
- Секция 7. Радиотехника. Председатель секции – Семенов Эдуард Валерьевич, проф. каф. РЗИ, д.т.н.
- Секция 8. Оптические информационные технологии, нанофotonika и оптоэлектроника. Председатель секции – Шарангович Сергей Николаевич, проф., зав. каф. СВЧиКР, к.ф.-м.н.; зам. председателя – Буримов Николай Иванович, зав. УНЛ каф. ЭП НИЧ, к.т.н.
- Секция 9. Инфокоммуникационные технологии и системы широкополосного беспроводного доступа. Председатель секции – Демидов Анатолий Яковлевич, зав. каф. ТОР, к.ф.-м.н.; зам. председателя – Гельцер Андрей Александрович, ст. преподаватель каф. ТОР, к.т.н.
- Секция 10. Интегрированные информационно-управляющие системы. Председатель секции – Катаев Михаил Юрьевич, проф. каф. АСУ, д.т.н.; зам. председателя – Суханов Александр Яковлевич, доцент каф. АСУ, к.т.н.
- Секция 11. Физическая и плазменная электроника. Председатель секции – Троян Павел Ефимович, зав. каф. ФЭ, проф., д.т.н.; зам. председателя – Смирнов Серафим Всеволодович, проф. каф. ФЭ, д.т.н.
- Секция 12. Промышленная электроника. Председатель секции – Михальченко Геннадий Яковлевич, директор НИИ ПрЭ, проф., д.т.н.; зам. председателя – Семенов Валерий Дмитриевич, проф., зам. зав. каф. ПрЭ по НР, к.т.н.

- Секция 13. Распределенные информационные технологии. Председатель секции – Ехлаков Юрий Поликарпович, зав. каф. АОИ, д.т.н., проф.; зам. председателя – Сенченко Павел Васильевич, декан ФСУ, доцент каф. АОИ, к.т.н.
- Секция 14. Информационно-измерительные приборы и устройства. Председатель секции – Черепанов Олег Иванович, проф. каф. ЭСАУ, д.ф.-м.н.; зам. председателя – Шидловский Виктор Станиславович, доцент каф. ЭСАУ, к.т.н.
- Секция 15. Аппаратно-программные средства в системах управления и проектирования. Председатель секции – Шурыгин Юрий Алексеевич, директор департамента управления и стратегического развития (первый проректор), зав. каф. КСУП, проф., д.т.н.; зам. председателя – Коцубинский Владислав Петрович, доцент каф. КСУП, к.т.н.
- Подсекция 15.1. Интеллектуальные системы проектирования технических устройств. Председатель секции – Черкашин Михаил Владимирович, доцент каф. КСУП, к.т.н.
- Подсекция 15.2. Имитационное моделирование сложных технических систем. Председатель секции – Коцубинский Владислав Петрович, доцент каф. КСУП, к.т.н.
- Подсекция 15.3. Инструментальные средства поддержки автоматизированного проектирования и управления. Председатель секции – Хабибуллина Надежда Юрьевна, доцент каф. КСУП, к.т.н.
- Секция 16. Вычислительный интеллект. Председатель секции – Ходашинский Илья Александрович, проф. каф. КИБЭВС, д.т.н.; зам. председателя – Евсютин Олег Олегович, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.
- Секция 17. Автоматизация технологических процессов. Председатель секции – Давыдова Елена Михайловна, декан ФБ, зам. зав. каф. КИБЭВС по УР, к.т.н.; зам. председателя – Зыков Дмитрий Дмитриевич, доцент каф. КИБЭВС, зам. директора НОЦ «Нанотехнологии», к.т.н.
- Секция 18. Методы и системы защиты информации. Информационная безопасность. Председатель секции – Шелупанов Александр Александрович, ректор ТУСУРа, директор Института системной интеграции и безопасности, председатель правления Томского профессорского собрания, д.т.н., проф.; зам. председателя – Конев Антон Александрович, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.
- Секция 19. Математическое моделирование в технике и экономике. Председатель секции – Мицель Артур Александрович,

проф. каф. АСУ, д.т.н.; зам. председателя – Зариковская Наталья Вячеславовна, доцент каф. ЭМИС, к.ф.-м.н.

Подсекция 19.1. Моделирование в естественных и технических науках.

Председатель секции – Зариковская Наталья Вячеславовна, доцент каф. ЭМИС, к.ф.-м.н.; зам. председателя – Колотаев Илья Владимирович, разработчик ООО «Элекард-Мед»

Подсекция 19.2. Моделирование в экономике. Председатель секции –

Мицель Артур Александрович, проф. каф. АСУ, д.т.н.; зам. председателя – Кузьмина Елена Александровна, доцент каф. АСУ, к.т.н.

Секция 20. Экономика и управление. Председатель секции – Осипов Юрий Мирзоевич, д.э.н., д.т.н., проф.; зам. председателя – Васильковская Наталья Борисовна, доцент каф. экономики, к.э.н.

Секция 21. Экология и мониторинг окружающей среды. Безопасность жизнедеятельности. Председатель секции – Карташев Александр Георгиевич, проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н.; зам. председателя – Денисова Татьяна Владимировна, доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.

Секция 22. Социогуманитарные проблемы современности: история, теория, практика. Председатель секции – Суслова Татьяна Ивановна, декан ГФ, зав. каф. ФиС, д.ф.н., проф.; зам. председателя – Грик Николай Антонович, зав. каф. ИСР, д.и.н., проф.

Подсекция 22.1. Актуальные проблемы социальной работы в современном обществе. Председатель секции – Грик Николай Антонович, зав. каф. ИСР, д.и.н., проф.; зам. председателя – Куренков Артем Валерьевич, ст. преподаватель каф. ИСР, к.ист.н.

Подсекция 22.2. Современные социокультурные технологии в организации работы с молодежью. Председатель секции – Суслова Татьяна Ивановна, декан ГФ, зав. каф. ФиС, д.ф.н., проф.; зам. председателя – Орлова Вера Вениаминовна, д.соц.н., проф. каф. ФиС, директор НОЦ «СГТ»; Покровская Елена Михайловна, доцент каф. ФиС, к.ф.н., директор НОЦ ГФ ТУСУРа

Секция 23. Молодежные инновационные научные и научно-технические проекты. Председатель секции – Дробот Павел Николаевич, доцент каф. УИ, к.ф.-м.н.; зам. председателя – Антипин Михаил Евгеньевич, доцент каф. УИ, к.ф.-м.н.

Секция 24. Автоматизация управления в технике и образовании. Председатель секции – Дмитриев Вячеслав Михайлович, зав.

каф. МиСА, д.т.н., проф.; зам. председателя – Ганджа Тарас Викторович, доцент каф. МиСА, к.т.н.

- Секция 25. Современные информационные технологии. Открытия. Творчество. Проекты. Председатель секции – Мозгунов Алексей Викторович, начальник отдела набора и распределения студентов
- Секция 26. Правовые проблемы современной России. Председатель секции – Соколовская Наталья Сергеевна, доцент каф. уголовного права, к.ю.н.

Адрес оргкомитета:

**634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40,
ГОУ ВПО «ТУСУР»
Научное управление (НУ), к. 205
Тел.: 8-(382-2) 701-524, 701-582
E-mail: nstusur@main.tusur.ru**

1-й том – 1–6-я секции;
2-й том – 7–11-я секции;
3-й том – 12–15-я секции;
4-й том – 16–19-я секции;
5-й том – 20–26-я секции.

СЕКЦИЯ 7

РАДИОТЕХНИКА

Председатель секции – Семенов Э.В., доцент каф. РЗИ, д.т.н.

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ СИММЕТРИРУЮЩИЙ ТРАНСФОРМАТОР НА ОСНОВЕ МОСТОВ МАРШАНДА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ

*А.В. Дроздов, аспирант каф. СВЧиКР, Д.С. Данилов, студент
г. Томск, ТУСУР, swlt@sibmail.com*

На сегодняшний день прогресс в области электроники всё чаще приводит к созданию новых типов электронных приборов и к возможности проектирования на их основе устройств в гибридно-интегральном и полупроводниковом исполнении. В связи с этим часто возникает проблема широкополосного согласования импедансов источников сигнала и нагрузки. Значительный интерес к задачам синтеза широкополосных симметрирующих согласующих устройств подтверждает тот факт, что не решены некоторые вопросы в рамках данной проблемы.

Одним из перспективных направлений в решении этих вопросов является разработка симметрирующих трансформаторов на основе мостов Маршанда [1], что и являлось целью данной работы. Моделирование проводилось в системе автоматизированного проектирования ADS (Advanced Design System).

Принцип работы симметрирующего трансформатора на основе мостов Маршанда можно рассмотреть на схеме, показанной на рис. 1 [2]. На рисунке входная линия (несимметричный вход) своим концом нагружена на неоднородность типа открытый конец (XX), а выходные линии (симметричный выход) своими концами заземлены (неоднородность типа К3). Симметрирование в трансформаторе происходит за счет того, что разность фаз между противоположными типами неоднородностей (XX и К3) равняется 180° .

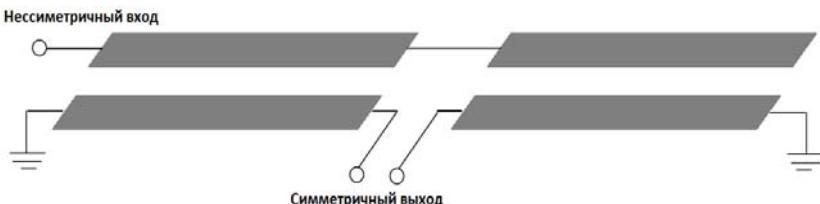


Рис. 1. Схема симметрирующего трансформатора на основе моста Маршанда

На рис. 2 представлены топология схемы, спроектированная в ADS, и структура подложки, используемая при проектировании. Основная часть топологии выполнена с использованием металлизации первого уровня (Металл 1); металлизация второго уровня (Металл 2) используется для моделирования соединительных мостиков.

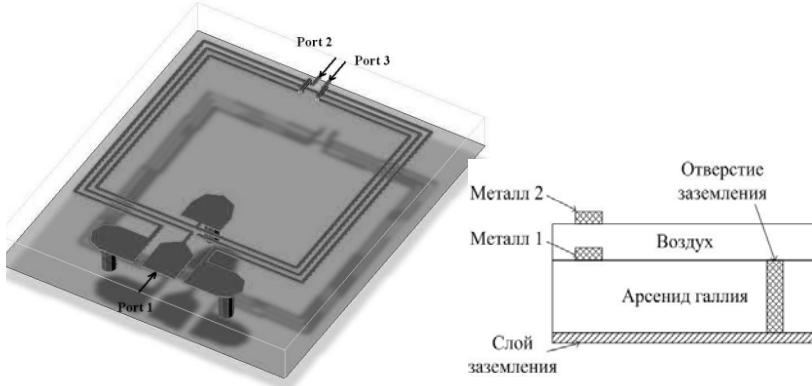


Рис. 2. Топология схемы трансформатора и структура подложки

На рис. 3 и 4 представлены графики S -параметров (модулей коэффициента отражения и коэффициентов передачи), полученных в ходе моделирования трансформатора.

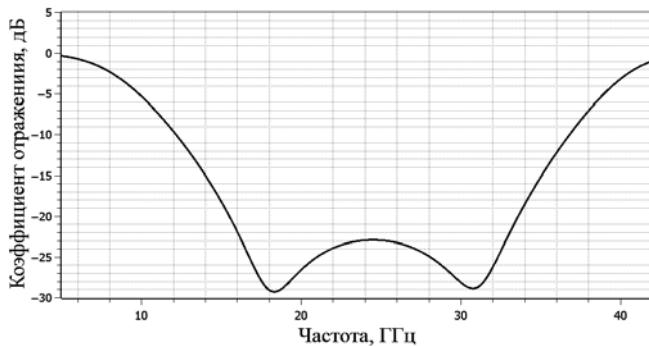


Рис. 3. Модуль коэффициента отражения

На рис. 5 представлена зависимость фазы от частоты обоих выходов трансформатора. Как следует из графика, разница фаз между выходами трансформатора составляет 180° .

На рис. 6 представлены зависимости дисбаланса фазы и дисбаланса амплитуды от частоты.

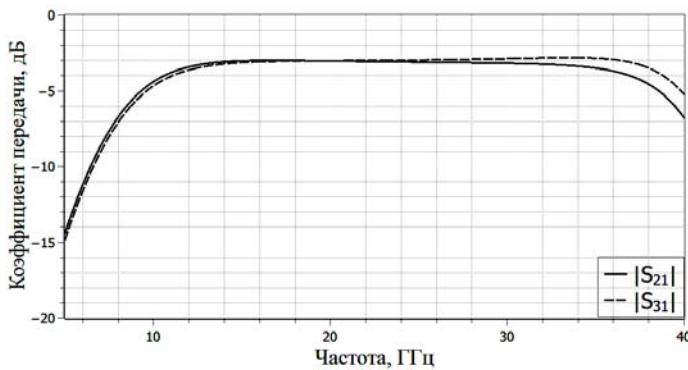


Рис. 4. Модули коэффициентов передачи

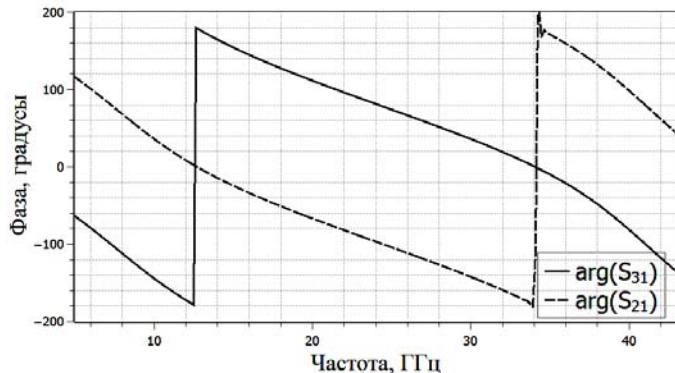


Рис. 5. Фазовые зависимости выходов трансформатора

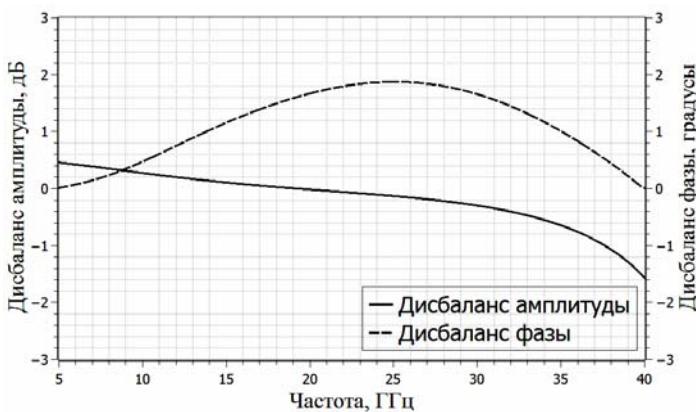


Рис. 6. Зависимость дисбаланса амплитуды и фазы от частоты

Из графика на рис. 3 видно, что полоса рабочих частот трансформатора по уровню – 15 дБ лежит в диапазоне частот от 14 до 35 ГГц, коэффициент перекрытия по частоте при этом оказывается больше октавы, что позволяет сделать вывод о широкополосности трансформатора. Из графиков на рис. 6 видно, что в диапазоне частот 14–35 ГГц дисбаланс по амплитуде не более 1 дБ, а дисбаланс фазы не превышает 2°.

Проектированный симметрирующий трансформатор будет применяться в балансном удвоителе частоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Pei-Si Wu et. al. Marchand balun with air bridge / Patents US 2007/0285189 A1, Pub. Date: Dec. 13, 2007. 13 p.*

2. *Mongia R., Bahl I. and Bhartia P. RF and Microwave Coupled-Line Circuits. Norwood, MA: Artech House, 1998. 574 p.*

СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕНИЙ ДИСТАНЦИОННОГО ИНДИКАТОРА АКТИВНЫХ ДЕФЕКТОВ (ДИАД) ПРИ НАЛИЧИИ ШУМА

*Н.А. Дашин, магистрант каф. РЗИ, ТУСУР,
В.А. Суторихин, инженер, зав. лаб. ДИАД, г. Томск
г. Томск, ТУСУР, nik_dash@mail.ru*

В некоторых случаях результат измерений не является детерминированным значением. Например, измерение скорости потока бурого раствора, находящегося под высоким давлением в трубе, можно осуществить по реализации шумовой выборки сигнала [1]. Аналогичный случай имеется и в приборе ДИАД [2] в силу его специфики работы при обнаружении активных трещин в процессе дефектоскопии. Однако на данный момент для этого прибора отсутствует обоснованная методика обработки результатов его измерений. Именно этой проблеме посвящено данное сообщение.

На выходе прибора ДИАД сигнал представляется в виде файла, записанного 16-разрядным АЦП длительностью 10 с (рис. 1).

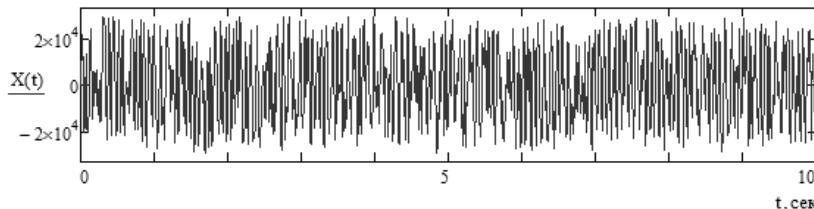


Рис. 1. Выходной сигнал прибора ДИАД

Из общего вида сигнала трудно понять, содержит ли он информацию, поскольку, судя по всему, полезный сигнал является сильно зашумлённым. Для того чтобы определить, есть ли он там на самом деле, потребуется дополнительная информация, без которой задача выделения сигнала из шумов будет сложной. Известно, что в связи с особенностями аппаратурной реализации искомый сигнал может существовать вблизи частоты 6 кГц. Кроме того, он является узкополосным. Поэтому одним из методов выделения узкополосного сигнала из шума может служить аддитивная спектральная операция. Однако для её реализации отсутствует информация о числе подобных операций, поскольку текущее отношение сигнал/шум не известно в связи со спецификой работы устройства. Для решения подобной задачи воспользуемся методом математического моделирования, содержащим узкополосный сигнал в виде гармонической составляющей и белый шум. При этом имеется возможность варьирования отношения сигнала/шум, которое отсутствует в реальном устройстве, – трещина в образце является случайным объектом. Число точек дискретного сигнала выберем таким же, как и в приборе.

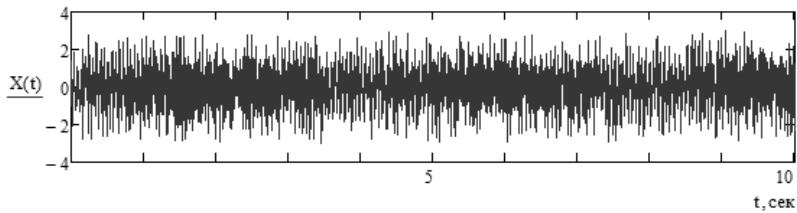


Рис. 2. Смоделированный сигнал, содержащий гармоническую составляющую с частотой 6 кГц при отношении сигнал/шум, равном 1

Далее, обрабатывая смоделированный сигнал (рис. 2) методом аддитивной спектроскопии, получим следующую зависимость, представленную на рис. 3.

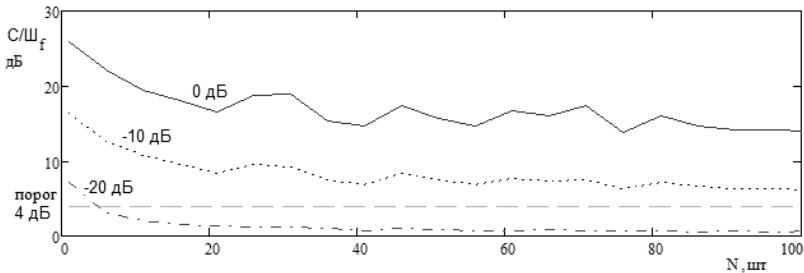


Рис. 3. Зависимость спектрального отношения сигнал/шум от числа аддитивных операций для разных временных отношений сигнал/шум

На этом рисунке хорошо видно, что аддитивная спектральная операция в данном случае не подходит для её использования – вполне достаточно брать спектр от всего сигнала один раз. Тогда для этого случая представим на рис. 4 зависимость, учитывающую соотношения шумов во временной и спектральной областях.

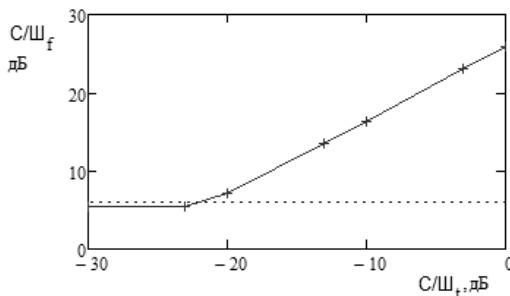


Рис. 4. Зависимость спектрального отношения сигнала/шум от временного отношения сигнала/шум

Из этого следует, что динамический диапазон выделяемого узкополосного сигнала из шумов может составлять 20 дБ по мощности.

В результате экспериментальных измерений был получен выходной спектр сигнала, представленный на рис. 5.

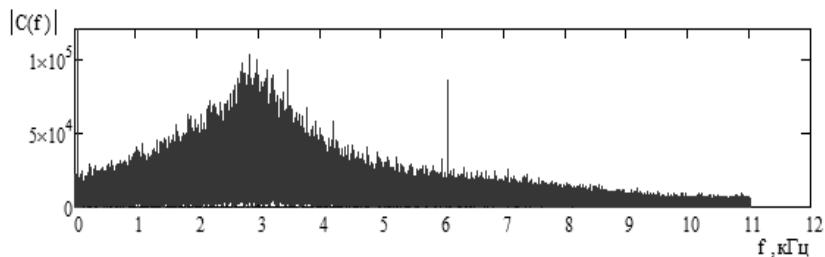


Рис. 5. Выходной спектр сигнала прибора ДИАД для отношения сигнал/шум, равного $-16,4 \text{ dB}$

Видно, что сам спектр имеет своеобразный вид, обусловленный конструкцией прибора, который был учтён при частотном расположении полезной составляющей сигнала, расположенной на частоте 6 кГц.

По рассмотренной методике были обработаны сигналы прибора ДИАД по кинетике изменения активной трещины во времени. Они представлены на рис. 6.

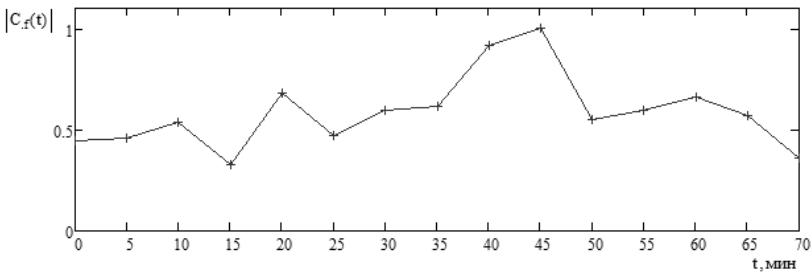


Рис. 6. Кинетика изменения отклика сигнала прибора ДИАД от активной трещины 50 мкм в тестовом образце

Таким образом, для обработки выходного сигнала прибора ДИАД можно использовать одно спектральное преобразование, которое позволяет выделить информационную составляющую от трещины в динамическом диапазоне 20 дБ. Применение аддитивной спектральной операции к обработке выходного сигнала прибора не является эффективным, что показало моделирование этого процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев С.А., Овчинников М.Н., Кандаурова Г.Ф., Мельников Н.А. Спектральная шумометрия фильтрационного потока в нагнетательных скважинах // Нефтяное хозяйство. 1992. №2. С. 40–42.
2. Горбунов В.И., Суторихин В.А. Возможность дефектоскопии металлических деталей СВЧ-полем // Электронный журнал «Техническая акустика», <http://ejta.org>. 2010. № 16.

ГаAs МИС СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО УДВОИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ С ВХОДНЫМ ДИАПАЗОНОМ 6–13 ГГц

Н.Б. Дроботун, аспирант каф. РЭТЭМ

Научный руководитель Н.Д. Малютин, профессор, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, drobotun@sibmail.com

Один из способов формирования СВЧ-сигнала – это умножение частоты. В качестве умножителей, как правило, используют пассивные удвоители частоты, созданные на основе диодов Шоттки [1–2].

Целью данной работы является разработка и производство пассивного удвоителя частоты в монолитно интегральном исполнении с входным диапазоном частот 6–13 ГГц. Удвоитель разработан и произведен по технологии GaAs диодов Шоттки (ЗАО «НПФ Микран»).

На рис. 1 представлена принципиальная схема устройства.

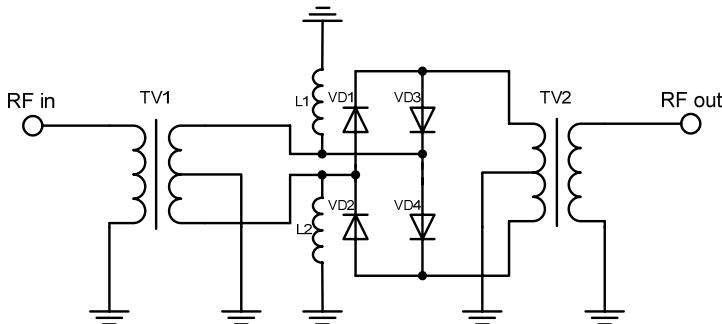


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема удвоителя

Схема собрана из пассивного кольцевого умножителя и противофазных трансформаторов на связанных линиях на входе и выходе этого кольца. Входной трансформатор TV1 согласован в диапазоне частот 6–13 ГГц, а выходной TV2 – соответственно в диапазоне 12–26 ГГц. На выход трансформатора TV1 подключены индуктивности L1 и L2, эти индуктивности являются согласующими элементами. Электромагнитное моделирование было произведено в системе ADS.

На рис. 2 представлена разработанная топология микросхемы. Топология выполнена с использованием двух слоёв металлизации. В первом слое находятся основные проводники, второй слой использован для воздушных мостиков, необходимых в местах пересечений линий. Заземления выполнены при помощи сквозных металлизированных отверстий. На рис. 3 представлена микрофотография изготовленной микросхемы.

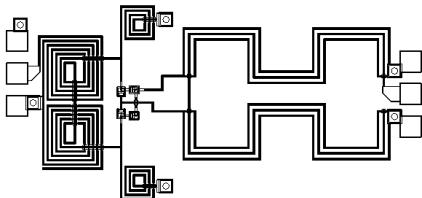


Рис. 2. Разработанная топология микросхемы удвоителя

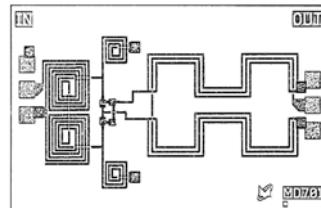


Рис. 3. Микрофотография изготовленной GaAs микросхемы

На рис. 4 представлены результаты измерений потерь преобразования при разных уровнях входной мощности (*a*) и подавления гармоник первого и высшего порядков (*б*). Подавление гармоник измерялось при мощности на входе +15 дБм, графики подавления построены относительно этого уровня.

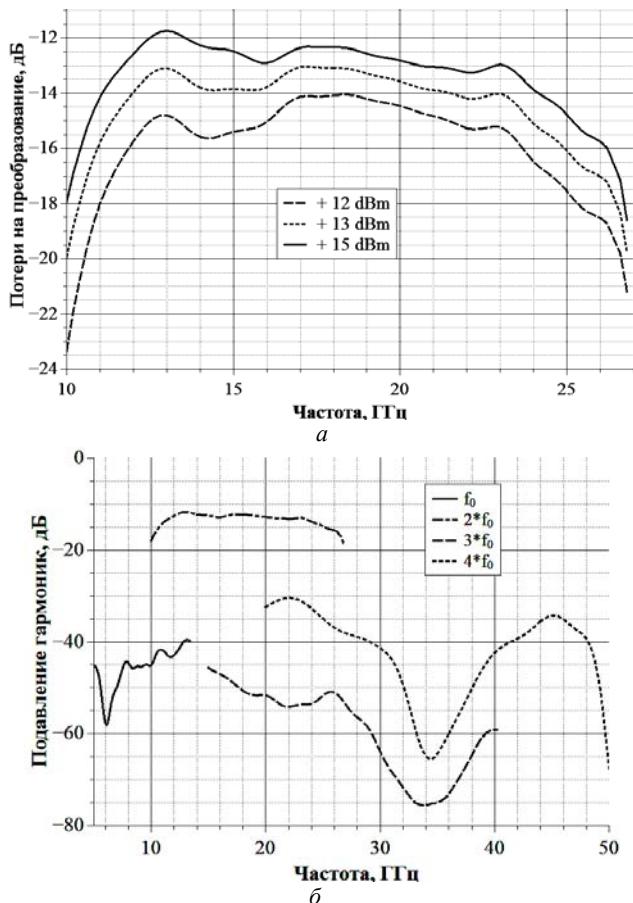


Рис. 4. Частотные зависимости потерь преобразования и уровня подавления гармоник

На рис. 5 представлены результаты измерений частотных зависимостей возвратных потерь по входу (а) и выходу (б) при разных уровнях мощности.

В результате работы были произведены образцы микросхем пассивного удвоителя частоты с входным диапазоном частот 6–13 ГГц, рассчитанного на номинальную входную мощность +15 дБм. Потери преобразования не более 16 дБ, возвратные потери по входу не более –10 дБ, возвратные потери по выходу не более –6 дБ. Подавление гармоник высшего порядка не менее 40 дБ относительно входного уровня +15 дБм.

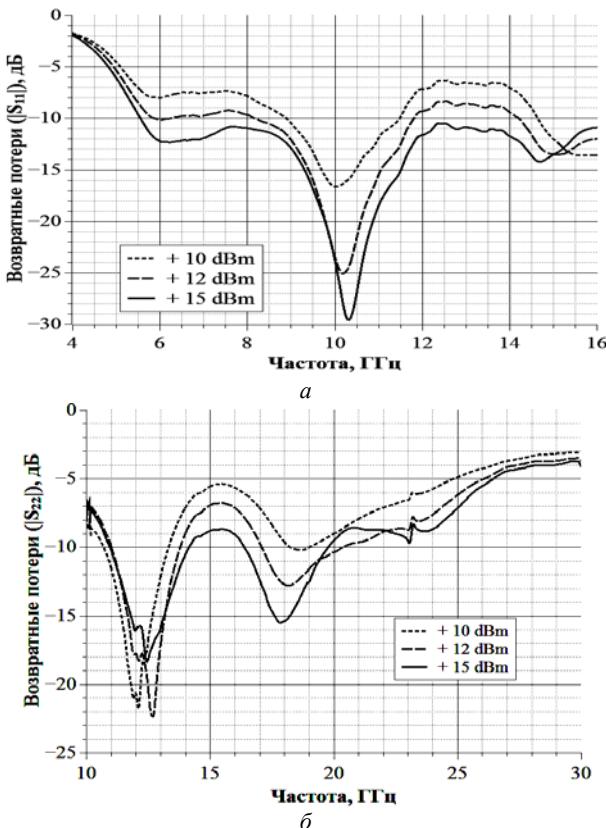


Рис. 5. Графики зависимостей возвратных потерь по входу и выходу от частоты

Основные технические характеристики разработанной микросхемы представлены в таблице.

Основные технические параметры разработанной микросхемы

Параметр	Значение
Диапазон частот входного сигнала, ГГц	6–13
Диапазон частот выходного сигнала, ГГц	12–26
Потери преобразования, дБ	16
Номинальный уровень входной мощности, дБм	+15
Возвратные потери по входу, дБ	-10
Возвратные потери по выходу, дБ	-6
Подавление гармоник высших порядков, дБ	40
Максимальный уровень входной мощности, дБм	+27

Наиболее близким функциональным аналогом является МИС HMC205 компании Hittite (на данный момент подразделение компании AnalogDevices) [3]. Разработанная микросхема превосходит HMC205 по всем основным техническим параметрам.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по договору № 02.G25.31.0091.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арыков В.С. Монолитные интегральные схемы пассивных удвоителей частоты S– и C-диапазонов на основе GaAspHEMT-технологии / В.С. Арыков, А.А. Баров, А.В. Кондратенко и др. // Электронные средства и системы управления: матер. докладов Междунар. науч.-практ. конф. (10–11 ноября 2011 г.). Томск: В-Спектр, 2011. С. 49–53.
2. Хохол Д.С. GaAs МИС широкополосного двойного балансного смесителя / Д.С. Хохол, Е.В. Дмитриченко, А.А. Баров и др. // Научная сессия ТУСУР–2011: матер. Всерос. науч.-техн. конф. Томск: В-Спектр, 2011. Ч. 2. С. 256–259.
3. Сайт компании Hittite [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный: <http://www.hittite.com/> (дата обращения: 4.03.2015).
4. Maas S.A. A broadband planar monolithic ring mixer / S.A. Maas, M. Kintis, F. Fong // Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symposium Digest. 1996. P. 51–54.

СИНТЕЗATOR ЧАСТОТЫ 1600 МГц НА МИКРОСХЕМЕ ФАПЧ ADF4113

А.Е. Ефремова, А.В. Паращинец, студенты каф. СРС

*Научный руководитель М.В. Синогин, вед. инженер-конструктор
ООО «НПК Таир»*

*г. Томск, ТУСУР, aleena.e.efremova@gmail.com,
alexandrparashchynec@gmail.com*

*Проект ГПО СРС-0802 «Исследование, моделирование
и проектирование средств мобильной радиосвязи»*

Работа радиотехнических систем основана на извлечении информации из радиосигналов с высокостабильными собственными параметрами: частотой, фазой и формой огибающей. Для достижения таких параметров необходимы как источники опорных колебаний, устойчивые к различным дестабилизирующими воздействиям, так и технические возможности управления ими. Но эти задачи противоречивы. Решаются они при помощи синтезаторов частоты (СЧ), преобразующих колебания опорного генератора, принимаемые за эталонные, в сигналы желаемого номинала частоты с незначительной потерей эталонных

свойств. Наибольший интерес разработчиков электронной аппаратуры привлекают СЧ, реализованные в виде одной или нескольких микросхем, которые могут быть встроены в новые изделия. В данном случае аппаратура реализована на микросхеме ФАПЧ ADF4113 в связи с тем, что требуемая частота для блока формирования сигналов совпадает с рабочей частотой микросхемы ADF4113, как указано в техническом описании микросхемы [1].

Известно [2], что в состав СЧ входит микросхема ФАПЧ с программируемыми делителями частоты, фазовым детектором и цепями управления, работающая совместно с внешними опорным генератором и ГУН. Такое решение обеспечивает большую гибкость при выборе параметров, особенно при широком диапазоне перестройки по частоте. Собственные шумовые свойства микросхем ФАПЧ проявляются как шумы фазового детектора (ФД), делителей частоты и схемы управления.

Для наглядности изучения принципа работы СЧ следует перейти к подробной структурной схеме (рис. 1).

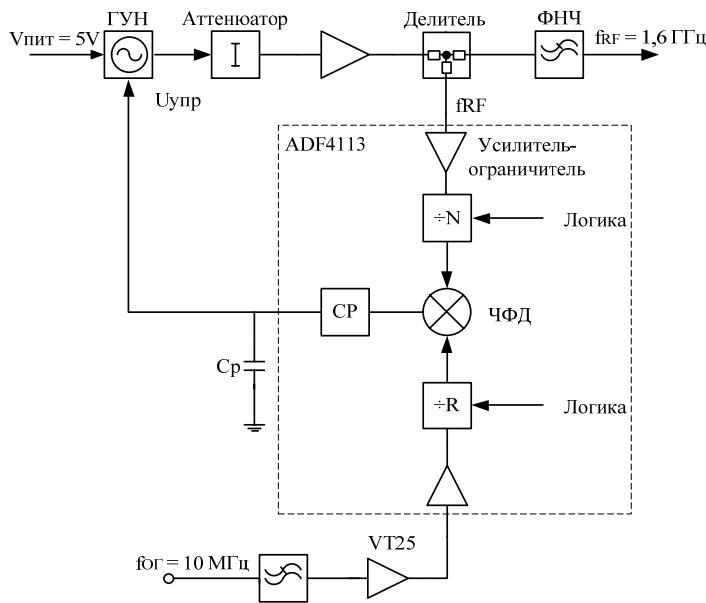


Рис. 1. Подробная структурная схема СЧ

Генератор KSV-5V1600B, управляемый напряжением, является источником сигнала высокой частоты. Его сигнал проходит через аттенюатор и усилитель, который служит для развязки выходных каскадов ГУН от дальнейшей цепи (нагрузки) и усиливает сигнал до необ-

ходимого уровня. Сигнал с выхода усилителя через делитель мощности и фильтр уходит в полезную нагрузку. Часть сигнала с помощью делителя ответвляется на вход RF микросхемы ADF4113. Ответвленный сигнал, поступивший на вход микросхемы, дополнительно усиливается настроенным усилителем и поступает на N -делитель. На основе [3] функцией N -делителя является уменьшение частоты высокочастотного сигнала с ГУН до той частоты, на которой может работать частотно-фазовый детектор (ЧФД) (рабочая частота ГУН 1600 МГц, а диапазон частот ЧФД до 55 МГц).

Опорный сигнал с частотой $f_{\text{ог}} = 10$ МГц через фильтр и усилитель на транзисторе BF909 поступает на вход опорного сигнала REFIN микросхемы ADF4113. Функцией фильтра является «подчистка» сигнала от лишних гармоник за тем, чтобы синхронизация происходила от частоты 10 МГц, а не от одной из гармоник, уровень которых достаточно большой. Сигнал опорной частоты микросхемы ADF4113 также предварительно усиливается до нужного уровня и поступает на вход R -делителя. Задача R -делителя – поделить сигнал опорной частоты до частоты, на которой будет работать СЧ. Сигнал опорной частоты после R -делителя и сигнал после N -делителя попадаются на ЧФД, и осуществляется функция фазовой автоподстройки частоты. Сигнал ошибки с ЧФД поступает на схему ChargePump (CP), которая усиливает сигнал и одновременно является драйвером ГУН. Конденсатор C_p предназначен для фильтрации напряжения выхода CP, чтобы было меньше пульсаций и помех выходного сигнала. На выходе C_p имеем напряжение $U_{\text{упр}}$, которое непосредственно поступает на вход управления ГУН и подстраивает его таким образом, чтобы частота сигнала на выходе ГУН, поделенная в N раз и умноженная на R , равнялась частоте опорного сигнала (1).

$$f_{\text{ог}} = \frac{f_{RF} \cdot R}{N}. \quad (1)$$

В микросхеме ADF4113 есть блок логики, который управляет схемами N -делителя, R -делителя, а также режимами работы ЧФД и CP. На вход логической схемы через последовательный интерфейс SPI поступают команды управления логическими схемами, они декодируются и выставляют нужный режим работы СЧ.

Синтезатор частот применяется в блоке формирования сигнала векторного анализатора цепей S2026 производства «НПК ТАИР». В составе блока синтезатор частот показал следующие характеристики:

- диапазон рабочих частот: 1600 ± 50 МГц;
- уровень выходной мощности: не менее 0 дБм;
- частота внешнего опорного генератора: 10 МГц;

– уровень спектральной плотности фазовых шумов на отстройке 10 кГц: не более –80 дБн.

В настоящее время ведётся модернизация схемы синтезатора частоты на более высокие частотные диапазоны.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Analog Devices. Semiconductor sand Signal Processing ICs* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.analog.com/ru/rfif-components/pll-synthesizersvcos/adf4113/products/product.html>, свободный (дата обращения: 10.05.2014).
2. *Рыжков А.В., Попов В.Н.* Синтезаторы частот в технике радиосвязи. М.: Радио и связь, 1991. 264 с.
3. *Левин В.А., Малиновский В.Н., Романов С.К.* Синтезаторы частот с системой импульсно-фазовой автоподстройки. М.: Радио и связь, 1989. 232 с.

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР С ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИЕЙ ЗАДЕРЖКИ: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

*А.В. Горевой, аспирант, инженер ЗАО «НПФ «Микран»,
Д.А. Конкин, ст. преп., А.А. Лукина, аспирант,*

Г.К. Толендиев, магистрант

*Научный руководитель А.С. Задорин, профессор, д.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. РЗИ, konkinda@inbox.ru*

С развитием техники связи и радиолокации высокие требования предъявляются к уровню фазовых шумов опорных автогенераторов (АГ), описываемых односторонней спектральной плотностью мощности (СПМ) шума $L(f)$ АГ при отстройке частоты f от центральной частоты автоколебаний f_0 [1]. Простейшая модель профиля СПМ $L(f)$, как известно, дается формулой Лисона [1], указывающей на зависимость $L(f)$ в окрестности f_0 , обратно пропорциональную квадрату добротности Q нагруженного резонатора АГ.

Одним из способов повышения эквивалентной добротности колебательной системы АГ СВЧ-диапазона является использование схемотехники АГ с задержанной обратной связью. При этом в качестве линий задержки (ЛЗ) в этих АГ используются оптические волокна (ОВ) [2–5]. Эквивалентная добротность Q такой линии задержки пропорциональна времени задержки τ сигнала в ОВ [1]:

$$Q = \pi f \tau, \quad (1)$$

а частоты генерации f_m , удовлетворяющие условию баланса фаз, определяются как [5]

$$f_m = mc/(nl) = m/\tau, \quad (2)$$

где n , l – показатель преломления и длина ОВ; c – скорость света; m – целое число.

Ниже представлены результаты измерений и расчетного моделирования такого оптоэлектронного генератора (ОЭГ). Структурная схема ОЭГ представлена на рис. 1.

Устройство состоит из передающего лазерного модуля (ПЛМ), обеспечивающего формирование несущего сигнала оптической частоты, электрооптического модулятора (ЭОМ), линии задержки на основе ОВ, фотоприемного модуля (ФПМ), СВЧ-усилителя (СВЧ-У), полосно-пропускающего фильтра (ППФ) и делителя мощности (ДМ).

Из (1)–(2) видно, что необходимая частота генерации может быть получена при различных длинах ОВ. При этом с увеличением l увеличивается добротность Q и снижается уровень фазового шума АГ.

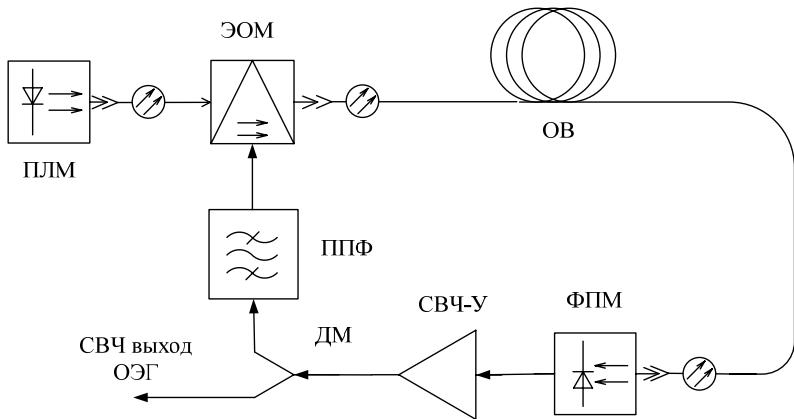


Рис. 1. Структурная схема оптоэлектронного генератора

К сожалению, одновременно с этим происходит увеличение удовлетворяющего соотношению (2) числа мод. Для их сокращения необходимо усилить меры фильтрации в ППФ.

В работе были измерены спектры генерации ОЭГ с линиями задержки длиной 3, 415, 725 и 1140 м. Спектры генерации ОЭГ представлены на рис. 2.

Из представленных на рис. 2, *a*–*г* графиков видно, что мощность основной моды АГ ~ 5 дБм. Из рис. 2 видно также, что увеличение l происходит к пропорциональному увеличению плотности паразитных мод f_m в спектре ОЭГ. Из этих графиков можно заключить, что максимальный уровень $Q \sim 2,8 \cdot 10^4$.

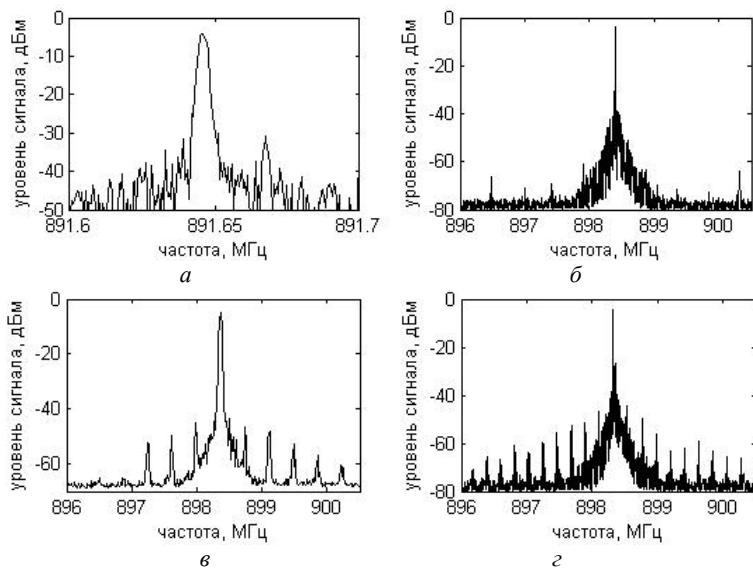


Рис. 2. Спектры сигналов оптоэлектронного генератора различной длины линии задержки

Нами было проведено также моделирование рассмотренного ОЭГ в среде Simulink. Соответствующие результаты представлены на рис. 3. На рис. 3, *a* дан спектр $L(f)$ для короткого ОВ, а на рис. 3, *б* – для 100 раз большей длины линии l . В ходе симуляции схема рис. 1 была дополнена источником белого шума.

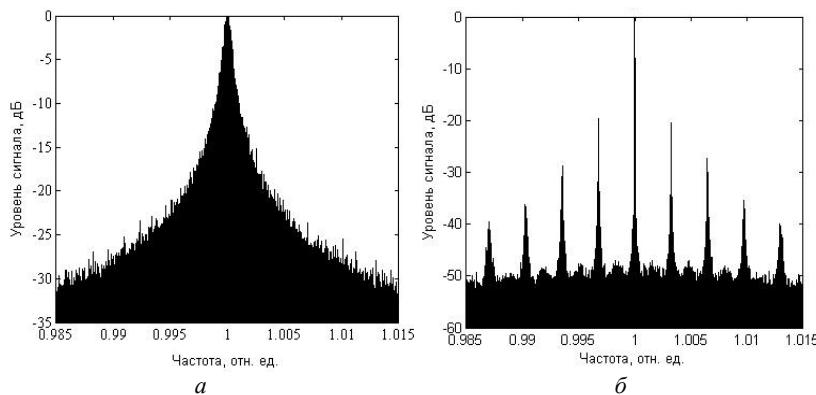


Рис. 3. Спектры сигналов ОЭГ, полученные при моделировании в пакете Simulink

Сравнение данных графиков рис. 2 и 3 показывает качественное соответствие экспериментальных результатов и математической модели ОЭГ. Так, использование в ОЭГ длинных ОВ хотя и приводит к увеличению добротности системы, однако одновременно вызывает генерацию паразитных мод, попадающих в контур усиления. Для подавления этих мод необходимо усилить частотную селекцию модового спектра f_m в ППФ на рис. 1.

Таким образом, в работе представлены результаты измерений спектров генерации ОЭГ. Было показано, что увеличение длины ОВ приводит как к увеличению добротности системы, так и к генерации паразитных частот, попадающих в контур усиления ОЭГ. На подавление этих мод будет нацелено дальнейшее исследование ОЭГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Царапкин Д.П. Методы генерирования СВЧ-колебаний с минимальным уровнем фазовых шумов: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2004. 410 с.
2. X. Steve Yao and Lute Maleki. Optoelectronic microwave oscillator // Journal of the Optical Society of America B. Vol. 13, № 8. August 1996. P. 1725–1735.
3. Maleki L. The optoelectronic oscillator // Nature Photonics. 2011. Vol. 5, № 12. P. 728–730.
4. Борцов А.А. Оптоэлектронный генератор радиочастотного диапазона с накачкой квантоворазмерным лазерным диодом: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2014. 402 с.
5. Белкин М., Лопарев А. Оптоэлектронный генератор – первое практическое устройство СВЧ-оптоэлектроники // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2010. № 6. С. 62–70.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ
РАДИОЛОКАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ**
O.Ю. Косяков, А.Е. Фильберт, магистранты
Научный руководитель А.В. Максимов, инженер
г. Томск, ТУСУР, каф. РЗИ, oleg_070@mail.ru

Существует множество устройств, обеспечивающих обнаружение дефектов трубопровода и повреждения изоляции. В основе принципа их работы лежат несколько основных методов.

1. Подсчет количества перегоняемой нефти через датчик в начале линейного участка и сравнение данных с датчика в конце участка [1, 2]. Недостатками данного метода являются: 1) известные технические решения базируются на расчетных формулах, в которых изначально известна номинальная или текущая производительность перекачки; 2) невозможность определения точного места повреждения без много-

численных замеров; 3) невозможность раннего диагностирования повреждений изоляции.

2. Ультразвуковое сканирование трубы [3]. Недостаток метода – необходимость остановки эксплуатации исследуемого участка трубы.

Предлагаемый метод исследования изоляционного слоя трубопровода посредством радиоволн исключает эти недостатки. Однако возникает задача обеспечения направленного излучения радиоволн вдоль трубы.

Для реализации целей поставленной задачи проведены исследования излучателей в виде несимметричных вибраторов.

Все эксперименты реализованы в среде CST Studio [4].

Построена модель участка трубопровода с расположенными в ее диэлектрическом слое несимметричными вибраторами (рис. 1).

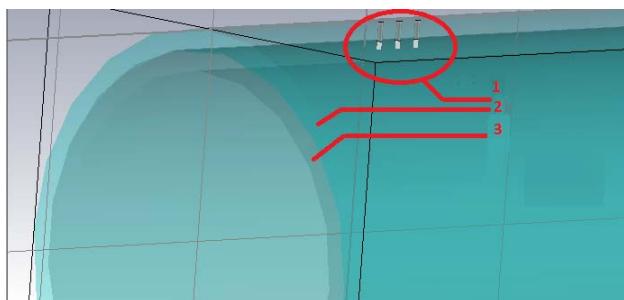


Рис. 1. Участок трубопровода: 1 – вибраторы; 2 – диэлектрический слой; 3 – металлическая труба

Результаты моделирования приведены на рис. 2, а, б.

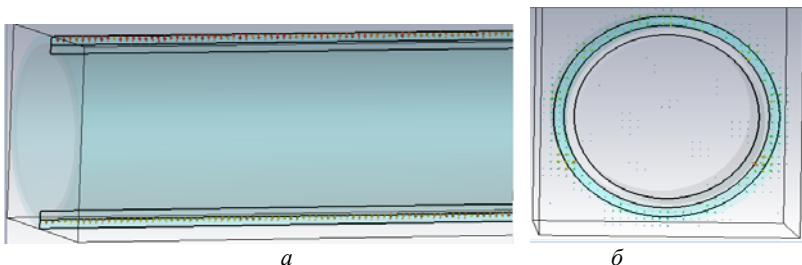


Рис. 2. Результаты моделирования для среза трубы:
а – продольного; б – поперечного

По результатам моделирования делаем вывод, что распространение электромагнитной волны происходит внутри диэлектрического

слоя. Это доказывает возможность применения радиолокационного метода исследования трубопровода на наличие в нем дефектов.

При использовании данного метода исследования экспериментальным путем выявлена закономерность: существует зависимость площади охвата трубопровода электромагнитной волной от частоты сканирующего излучения (рис. 3).



Рис. 3. График зависимости площади охвата трубопровода от частоты для трубы диаметром в 1 м

Для объективного анализа эксперимент повторен с имитацией повреждения диэлектрического слоя трубопровода. С целью уменьшения требований к вычислительным ресурсам проведены упрощения исследуемой модели путем замены трубы на металлическую пластину с диэлектрической изоляцией. Данная модель эквивалентна реальному участку трубопровода. Результаты представлены на рис. 4.

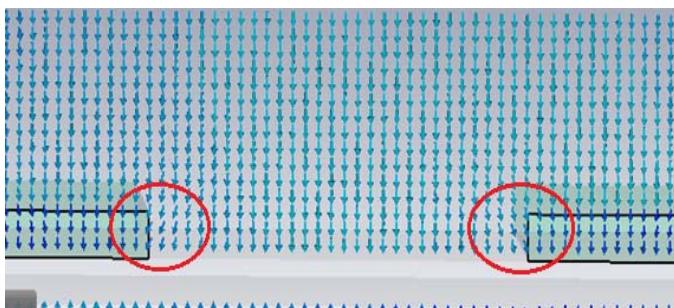


Рис. 4. Результаты моделирования с разрывом диэлектрического слоя

Результаты моделирования показывают, что вектор напряженности поля (E) изменяет пространственную ориентацию на границе разрыва изоляции. Изменение угла ориентации вектора E характеризует появление мнимой составляющей, а это в свою очередь свидетельству-

ет о наличии переотражения. Полученные данные показывают возможность обнаружения дефектов изоляционного слоя трубопровода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гумеров А.Г., Карамышев В.Г., Ким Д.Н. и др. Патент № RU 2398157 «Способ обнаружения утечек нефти или нефтепродуктов из трубопровода» / Государственное унитарное предприятие «Институт проблем транспорта энергоресурсов».
2. Лурье М.В., Макаров П.С. Гидравлическая локация отборов нефтепродукта на участке магистрального трубопровода // Транспорт и хранение нефтепродуктов. 1998. №12.
3. Тримасов Н.З., Виноградов Н.П. Способ определения дефектов стенки нефтяных и газовых трубопроводов и целостности внешней изоляции. Патент № 2121105 / Научно-исследовательский институт измерительных систем.
4. Курушин А.А., Пластиков А.Н. Проектирование СВЧ-устройств в среде CST Microwave Studio. М. Изд-во МЭИ, 2011. 155 с.

ПРИВЯЗКА ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ КООРДИНАТЫ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА К УЧАСТКУ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА

И.А. Кукало, аспирант

Научный руководитель А.С. Задорин, профессор, д.ф.-м.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. РЗИ, anatoly.zadorin@rzi.tusur.ru

Транспортировку более 92% добываемой в России нефти обеспечивает государственная трубопроводная компания ОАО «АК «Транснефть» [1]. Она располагает крупнейшей в мире системой магистральных нефтепроводов, длина которой составляет свыше 70 тыс. км [1]. Большая протяженность магистральных нефтепроводов делает актуальной проблему позиционирования персонала и подвижной техники на линейной части магистрального нефтепровода (ЛЧ МН) при проведении ремонтных, проверочных, аварийных и других видов мероприятий. Целью данной работы является разработка способа привязки географической координаты подвижного объекта к ЛЧ МН на основе данных о дискретном наборе географических координат километровых участков ЛЧ МН.

Для достижения поставленной цели необходимо решить задачу преобразования координат из географической (сферической) системы координат в линейную систему координат ЛЧ МН. Для некоторого объекта $O = (O_{lat}, O_{lng})$, где O_{lat} – широта объекта, O_{lng} – долгота объекта, требуется найти соответствующую ему точку x_O на ЛЧ МН X , представленного в виде ломаной линии $X = [x_1, \dots, x_i, \dots, x_n]$, где

$x_i = \left(x_{lat}^i, x_{lng}^i \right)$, x_i – точка ЛЧ МН; x_{lat} – широта точки; x_{lng} – долгота точки. Учитывая характеристики ЛЧ МН, линия X может быть вырожденной и не может содержать пересечений. Таким образом, в результате преобразования координат необходимо выполнить операцию $O \rightarrow x_O$, где отрезок $Ox_O = \min(Ox), x \in X$.

Процесс решения поставленной задачи разделим на два этапа.

1. Поиск вершины ломаной линии x_i^{\min} , расстояние от которой до объекта O минимально, т.е. $Ox_i^{\min} \rightarrow \min(Ox_i), x_i \in X$;
2. Поиск на прилегающих звеньях ломаной линии точки x_O , расстояние от которой до объекта O минимально, т.е. $Ox_O \rightarrow \min(Ox), x \in [x_{i-1}^{\min}, x_i^{\min}] \cup [x_i^{\min}, x_{i+1}^{\min}]$.

Для решения первой части поставленной задачи введем понятие функции ортодромии между объектом и вершиной ломаной линии X :

$$f(x_i) = Ox_i = r\Delta\sigma,$$

где r – радиус Земли, $\Delta\sigma$ – угловая длина ортодромии (в радианах).

Угловую длину ортодромии можно рассчитать с помощью теоремы косинусов из сферической геометрии, формулы Гаверсинуса, формулы Висента, основанной на представлении земной поверхности в виде сплюснутого сфериоида.

Рассчитаем значение функции $f(x_i)$ для всех $x_i \in X$. Очевидно, что функция $f(x_i)$ является непрерывной и унимодальной функцией. Тогда задача поиска x_i^{\min} сводится к решению задачи одномерной оптимизации функции $f(x_i)$. Поскольку значение функции не представлено аналитически для поиска x_i^{\min} , воспользуемся эвристическими методами прямого поиска, например методом золотого сечения.

Решение второй части поставленной задачи предполагает построение отрезков минимальной длины Ox_O^1, Ox_O^2 от объекта O к дугам большого круга, образованным отрезками $[x_{i-1}^{\min}, x_i^{\min}]$ и $[x_i^{\min}, x_{i+1}^{\min}]$. Тогда $Ox_O = \min(Ox_O^1; Ox_O^2; Ox_i^{\min})$, для $Ox_O^1 \in [x_{i-1}^{\min}, x_i^{\min}]$, $Ox_O^2 \in [x_i^{\min}, x_{i+1}^{\min}]$. Очевидно, что если последнее условие:

- 1) не выполняется, то $Ox_O = Ox_i^{\min}$;
- 2) выполняется для обоих Ox_O^1 и Ox_O^2 , то $Ox_O = \min(Ox_O^1; Ox_O^2)$;
- 3) выполняется для одного Ox_O^j , где $j=1,2$, то $Ox_O = \min(Ox_O^j)$.

Для расчета Ox_O^1 и Ox_O^2 воспользуемся формулами расчета бокового отклонения от линии заданного пути (ХТЕ) [2]. Рассмотрим алгоритм расчета Ox_O^1 для отрезка $[x_{i-1}^{\min}, x_i^{\min}]$, алгоритм расчета Ox_O^2 будет осуществляться аналогичным образом, для удобства записи заменим Ox_O^1 на d , $[x_{i-1}^{\min}, x_i^{\min}]$ на b .

Пусть $c = \max(Ox_{i-1}^{\min}; Ox_i^{\min})$, где $j=1,2$, тогда рассчитаем ХТЕ [2] по формуле

$$d = \arcsin(\sin(c)\sin(\theta_c - \theta_b)) \cdot r,$$

где θ_c – азимут дуги c , θ_b – азимут дуги b .

Азимут θ_b может быть рассчитан по формуле

$$\theta_b = \arctan 2 \begin{pmatrix} \sin((x_i^{\min})_{\text{lng}} - (x_{i-1}^{\min})_{\text{lng}}) \cos(x_i^{\min})_{\text{lat}}, \cos(x_{i-1}^{\min})_{\text{lat}} \sin(x_i^{\min})_{\text{lat}} \\ -\sin(x_{i-1}^{\min})_{\text{lat}} \cos(x_i^{\min})_{\text{lat}} \cos((x_i^{\min})_{\text{lng}} - (x_{i-1}^{\min})_{\text{lng}}) \end{pmatrix}.$$

Азимут θ_c рассчитывается аналогичным образом.

Определим b_d как расстояние от d до b , тогда по формуле дистанции по расстоянию трека (along track distance, ATD) [2]

$$b_d = \arccos\left(\frac{\cos(c)}{\cos(d)}\right) \cdot r.$$

Очевидно, что если $b_d \leq b$, то выполняется условие $Ox_O^1 \in [x_{i-1}^{\min}, x_i^{\min}]$ и $Ox_O^1 \leq Ox_i^{\min}$. Задача отображения координаты O на отрезок $[x_{i-1}^{\min}, x_i^{\min}]$ будет решена с помощью формулы

$$x_O^1 = \frac{b_d}{b} (x_i^{\min} - x_{i-1}^{\min}).$$

Проделав аналогичные расчеты для Ox_O^2 , будет решена задача поиска значения $Ox_O = \min(Ox_O^1; Ox_O^2; Ox_i^{\min})$ и отображения $O \rightarrow x_O = (x_i^{\min} \vee x_O^1 \vee x_O^2)$.

В результате авторами разработан способ привязки географической координаты подвижного объекта к ЛЧ МН на основе данных о дискретном наборе координат километровых участков ЛЧ МН. В дальнейшем планируется реализация указанного алгоритма в виде приложения для мобильных устройств, оснащенных модулями GPS/ГЛОНАСС, а также проведение анализа погрешности алгоритма при позиционировании подвижных объектов на МН «Александровское – Анжеро-Судженск».

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ финансового состояния и результатов деятельности группы ОАО «АК «Транснефть» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.transneft.ru/investors/257/> (дата обращения: 28.01.2015).
2. Aviation Formulary V1.46 [Электронный ресурс]. URL: <http://williams.best.vwh.net/avform.htm#XTE> (дата обращения: 28.01.2015).

ИЗМЕРЕНИЕ ВОЛЬТ-ФАРАДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНДЕНСАТОРА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВИДЕОИМПУЛЬСНЫМ СИГНАЛОМ

М.А. Назаров, аспирант каф. РЗИ

*Научный руководитель Э.В. Семенов, профессор каф. РЗИ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, mnaz90@mail.ru, edwardsemyonov@narod.ru*

Возможность адекватно измерять нелинейные характеристики диэлектрических материалов при воздействии на них видеоимпульсным сигналом имеет большое значение при проектировании импульсных (в том числе цифровых) устройств. Современные характеристики диэлектрических материалов (конденсаторов, диэлектрических подложек печатных плат, ВЧ-кабелей), измеренные квазистатическим методом (вольт-амперная характеристика (ВАХ), вольт-фарадная характеристика (ВФХ), тангенс угла диэлектрических потерь), часто не обеспечивают требуемой точности расчетов, если диэлектрические материалы работают в импульсных или цифровых схемах.

Например, при работе биполярных транзисторов и тиристоров в ключевом режиме при закрывании могут рассеиваться чрезмерные пики мощности. Для снижения пики рассеиваемой мощности используются демпфирующие цепи, состоящие из диода, конденсатора и резистора (RCD – демпфирующая цепь). Для хорошего демпфирования необходима большая емкость, но использование большой линейной емкости приводит к большим средним потерям в демпфирующем резисторе. Использование нелинейной емкости с высоким значением емкости при нулевом смещении и в несколько раз меньшим значением ем-

кости при максимально возможном смещении обеспечивает лучшую демпфер-защиту [1]. Важной характеристикой таких конденсаторов является вольт-фарадная характеристика.

В настоящее время нами разработан характеристиограф для измерения нелинейных вольт-фарадных (ВФХ) характеристик диэлектрических материалов, мощности релаксационных потерь и времени релаксации диэлектрика, работающего на коротких видеоимпульсах.

Цель данной работы – измерить вольт-фарадную характеристику сверхкороткоимпульсным методом и сравнить ее с модельной вольтфарадной характеристикой.

Моделирование вольт-фарадной характеристики. В работе [2] приведена модель керамического конденсатора с высокой нелинейностью на основе титаната бария (BaTiO₃), диэлектрическая проницаемость которого вычисляется выражением:

$$\varepsilon = N p \left[\frac{kT}{\bar{p}E^2} - \frac{\bar{p}}{kT} \operatorname{cosech}^2 \left(\frac{\bar{p}E}{kT} \right) \right], \quad (1)$$

где N – плотность доменов в диэлектрике; \bar{p} – средний дипольный момент одного домена; k – постоянная Больцмана; T – температура; E – напряженность электрического поля. Если представить напряженность поля известным соотношением $E = u \cdot d$; емкость – соотношением $C = \varepsilon \varepsilon_0 S(n-1)/d$ (ε_0 – диэлектрическая постоянная; d – расстояние между соседними обкладками многослойного керамического конденсатора; u – напряжение на обкладках конденсатора; S – площадь обкладок; n – число слоев многослойного конденсатора) и вынести из скобок \bar{p} , то вольт-фарадная характеристика конденсатора определяется выражением:

$$C(u) = \bar{p}^2 N \frac{\varepsilon_0 S(n-1)}{d} \left[\frac{kT}{u^2} \cdot \left(\frac{d}{\bar{p}} \right)^2 - \frac{1}{kT} \operatorname{cosech}^2 \left(\frac{u \cdot \bar{p}}{kT \cdot d} \right) \right]. \quad (2)$$

Предел функции (2) в точке $u = 0$ равен:

$$C(0) = \lim_{u \rightarrow 0} C(u) = \bar{p}^2 N \frac{\varepsilon_0 S(n-1)}{d} \cdot \frac{1}{3kT}.$$

Домножив и разделив выражение (2) на $C(0)$ и сократив одинаковые члены выражения, получим выражение для вольт-фарадной характеристики:

$$C(u) = C(0) \cdot 3kT \cdot \left[\frac{kT}{u^2} \cdot \frac{1}{q^2} - \frac{1}{kT} \operatorname{cosech}^2 \left(\frac{u \cdot q}{kT} \right) \right], \quad (3)$$

$$\text{где } q = \frac{\bar{p}}{d} = [\text{Кл}].$$

Таким образом, при моделировании ВФХ конденсатора необходимо экстрагировать два параметра: $C(0)$ и q . Параметр $C(0)$ – емкость при нулевом смещении.

Для моделирования ВФХ была выбрана последовательная схема замещения конденсатора, состоящая из емкости и эквивалентного последовательного сопротивления. Параметры схемы замещения зависят от приложенного напряжения.

Экспериментальные исследования. В качестве объекта был выбран керамический конденсатор с диэлектриком типа X7R емкостью 1,5 мкФ с номинальным напряжением 25 В типоразмера 0805. Для измерения ВФХ конденсатора сверхкороткоимпульсным методом воздействуем на него симметричным трапециoidalным видеоимпульсом амплитудой 20 В с длительностью 50 мкс (длительность фронта и спада 20 мкс, а длительность плоской вершины 10 мкс). Скважность импульса равна 1000. Результаты измерения и моделирования ВФХ конденсатора показаны на рис. 1.

При моделировании сверхкороткоимпульсным методом были экстрагированы следующие параметры: $C(0) = 1,72$ мкФ; $q = \bar{p}/d = 3,35 \cdot 10^{-22}$ Кл. Критерий сходимости измеренной и смоделированной вольт-фарадной характеристики определялся методом наименьших квадратов. Из рис. 1 видно, что экспериментальные кривые совпадают с нелинейной моделью керамического конденсатора, что говорит о правильности измерения вольт-фарадной характеристики.

Заключение. В результате работы была измерена сверхкороткоимпульсная вольтфарадная характеристика керамического конденсатора, которая сходится с физической моделью нелинейного керамического конденсатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Campbell C.K., van Wyk J.D., Holm M.F.K., Schoeman J.J. Aspects of Modeling of High Voltage Ferroelectric Nonlinear Ceramic Capacitors // Compo-

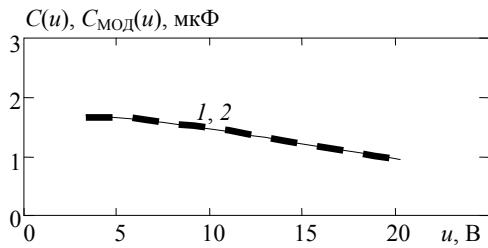


Рис. 1. ВФХ, измеренная сверхкороткоимпульсным методом $C(u)$ – кривая 1 и полученная по результатам моделирования $C_{\text{mod}}(u)$ – кривая 2

nents, Hybrids, and Manufacturing Technology // IEEE Transactions on. Vol. 15. Issue: 2. 1992. P. 245–251. DOI: 10.1109/33.142901.

2. Prinsloot J.J.R., van Wyk J.D., Swanepoelt R., Holm M.F.K., Campbell C.K. Manufacture, behaviour and Modelling of BaTiO, Nonlinear Ceramic Disc Capacitors for High-Voltage Applications // Electronic Components and Technology Conference, 1992. Proceedings, 42nd. P. 667–672. DOI: 10.1109/ECTC.1992.204275.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕТЕКТОРОВ СИГНАЛОВ СВЧ С ДВУМЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ КАСКАДАМИ

В.Г. Нечаев, студент каф. СВЧиКР

Научный руководитель А.С. Загородний, м.н.с., НИИ СЭС ТУСУРа

г. Томск, ТУСУР, ne4aev.volodya@yandex.ru

Проект ГПО СВЧиКР-1203 «Измерение параметров
мощности сигналов СВЧ»

Объектом исследования являются детекторы, преобразующие мощность СВЧ-сигнала в напряжение низкой частоты. В настоящее время для разработки измерителей мощности СВЧ- и КВЧ-диапазонов наиболее перспективными являются диодные детекторы, одной из главных особенностей которых является высокая скорость измерений. Большинство зарубежных производителей измерительной аппаратуры СВЧ активно применяют монолитные и гибридные интегральные схемы в качестве компонентов. Измерительная аппаратура отечественного производства в основном реализована на основе гибридных схем, отличающихся от МИС существенно большими габаритными размерами и меньшим диапазоном рабочих частот. Это подтверждает актуальность разработки отечественных детекторов на основе монолитных интегральных схем (МИС).

В ходе работы выполнено исследование МИС-детекторов мощности MD904 с расширенной областью квадратичного закона детектирования, изготовленных в ЗАО «НПФ «Микран» на подложке из арсенида галлия (GaAs) с использованием низкобарьерных диодов с нулевым смещением [1] (рис. 1).

Увеличение области квадратичного детектирования реализовано путём применения несимметричного делителя мощности, который обеспечивает передачу мощности на два независимых измерительных каскада с разными коэффициентами передачи [2].

В результате работы экспериментальным путём определены динамические и частотные характеристики МИС детекторов.

На рис. 2, 3 частотных характеристик для двух каскадов (ветви с большей и меньшей мощностью) можно заметить, что при увеличении

частоты происходит скачок выходного напряжения. Такая неравномерность выходного напряжения объясняется именно влиянием паразитных параметров диодов.

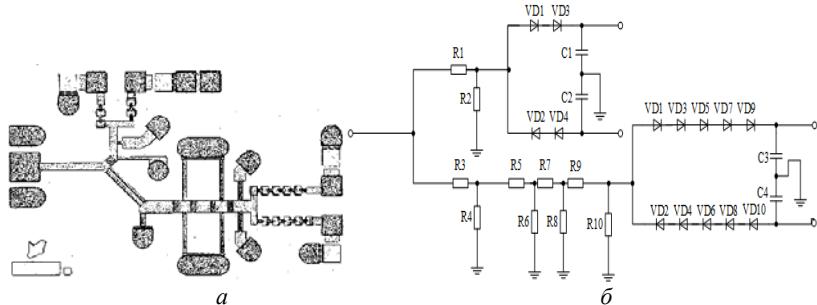


Рис. 1. Микрофотография (а) и принципиальная схема (б) детектора MD904



Рис. 2. ЧХ для ветви с наибольшей мощностью



Рис. 3. ЧХ для ветви с наименьшей мощностью

Для более точной оценки участка квадратичного детектирования определены отклонения для каждого каскада и рассчитана максимальная ошибка в участке перехода между каскадами (рис. 4).

В полосе рабочих частот от 10 МГц до 40 ГГц диапазон измеряемых мощностей составил от -50 до 20 дБм с обеспечением квадратичного участка во всем диапазоне.

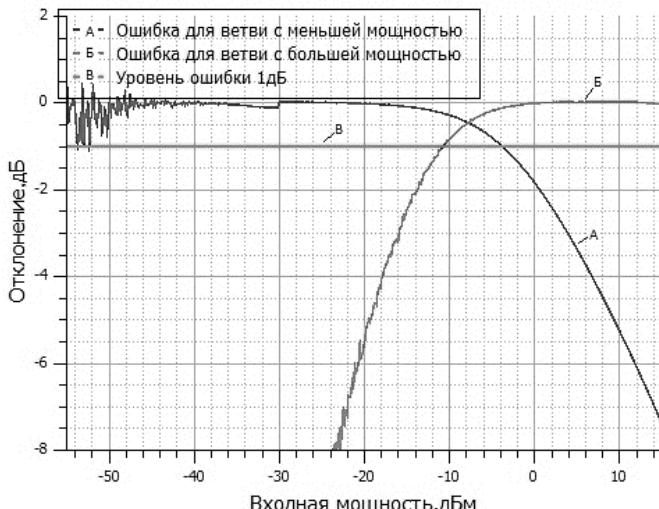


Рис. 4. График отклонения детекторных характеристик от квадратичной зависимости

В схеме детектора использовано последовательное включение тонкопленочных резисторов перед диодами, что привело к уменьшению влияния паразитных параметров диодов на частотах выше 20 ГГц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронин Н.Н. Свидетельство о государственной регистрации топологии интегральной микросхемы № 20146300104 «MD904» / Н.Н. Воронин, А.С. Загородний, В.А. Гущин, И.В. Юнусов, 2014.
2. Измерители мощности сигналов СВЧ- и КВЧ-диапазонов на основе диодных детекторов: автореф. дис. ... к.т.н. Загородний А.С. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.tusur.ru/export/sites/ru.tusur.new/ru/science/education/diss/2014/54-1.pdf>

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМАМ «ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПЕРЕКРЁСТНЫХ ИСКАЖЕНИЙ В РАДИОПРИЁМНОМ УСТРОЙСТВЕ» И «ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА БЛОКИРОВАНИЯ В РАДИОПРИЁМНОМ УСТРОЙСТВЕ»

*P.O. Ромаев, B.B. Нам, студенты РТФ, каф. СВЧиКР
Научный руководитель А.Ю. Попков, ассистент каф. СВЧиКР
г. Томск, ТУСУР, a.popkov@sibmail.com*

Широкое внедрение радиоэлектронных средств (РЭС) в различные сферы человеческой деятельности приводит к возрастанию уровня

электромагнитных полей, создаваемых ими в окружающем пространстве. Такие поля являются помехами для других подобных устройств, ухудшая условия их функционирования и снижая эффективность применения [1].

С позиции учебного процесса актуальность дисциплины «Электромагнитная совместимость РЭС» (и лабораторных работ по этой дисциплине, в частности) обусловлена тем, что она изучается на завершающем этапе и в связи с этим предполагает окончание этапа формирования профессиональных компетенций у будущих бакалавров [2].

Перед непосредственным созданием лабораторной работы был проведён обзор в поисках работ на схожую тему, на основе которых можно было бы создать свою работу. В результате поиска была найдена серия лабораторных работ по дисциплине «Электромагнитная совместимость РЭС», принадлежащая Московскому государственному техническому университету гражданской авиации (МГТУ ГА). На основе одной из них и была разработана работа под названием «Исследование эффекта перекрёстных искажений в радиоприёмном устройстве». Из методических указаний МГТУ ГА [3] были взяты только общая схема лабораторного макета и ход работы. Авторским нововведением является схема радиоприёмного устройства (РПУ), не описанная в исходных методических указаниях.

Для изучения эффекта перекрёстных искажений в РПУ применяется схема, изображённая на рис. 1. Она упрощенно имитирует взаимодействие помех на полезный сигнал в реальных условиях. ГС 1 и ГС 2 на этой схеме – источник модулированного сигнала и источник немодулированной помехи соответственно; «+» – сумматор (эквивалент антенны); РПУ – радиоприёмное устройство, принимающее и демодулирующее смесь полезного сигнала с помехой; анализатор сигнала – осциллограф и/или спектроанализатор.

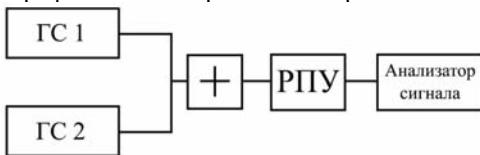


Рис. 1. Функциональная схема лабораторного макета

В лабораторной работе «Исследование эффекта перекрёстных искажений в радиоприёмном устройстве» генератор ГС 1 имитирует полезный информационный сигнал, генератор ГС 2 – помеху. И сигнал, и помеха модулируются по амплитуде: сигнал модулируется напряжением частотой 250 Гц (рис. 2), помеха модулируется напряжением частотой 200 Гц внутреннего модулятора ГС 2. В сумматоре производится

сложение полезного сигнала и помехи (рис. 3). Далее эта сумма поступает в приемник. К выходу РПУ подключен анализатор сигнала для наблюдения эффекта перекрёстных искажений.

Целью компьютерной лабораторной работы является исследование изменения коэффициента перекрестных искажений, динамического диапазона и эффективной избирательности РПУ по перекрестным искажениям в зависимости от несущей частоты помехи.

Несущая частота сигнала $f_c = 25$ кГц. Несущая частота помехи $f_n = 26$ кГц отличается от несущей частоты сигнала, но находится внутри полосы пропускания приемника. Увеличивая входное напряжение помехи (U_n), будем следить за изменением напряжения на выходе РПУ.

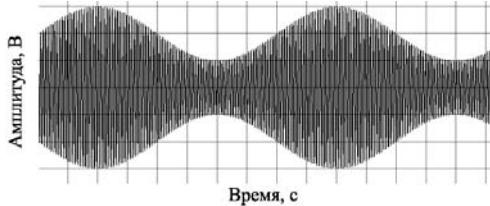


Рис. 2. Полезный амплитудно-модулированный сигнал с выхода ГС 1

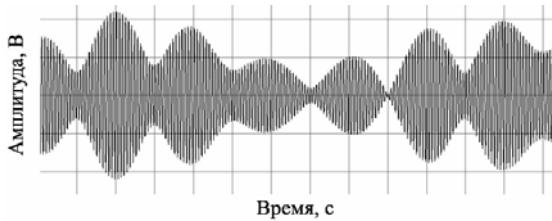


Рис. 3. Сумма полезного АМ-сигнала и АМ-помехи

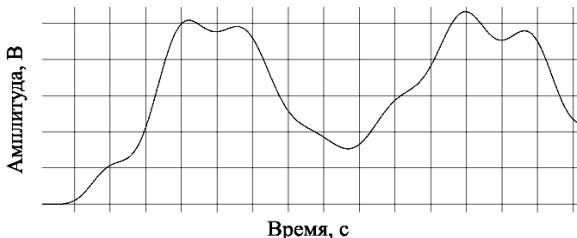


Рис. 4. Эпюры на выходе РПУ (отчётливо видны искажения сигнала)

В лабораторной работе «Исследование эффекта блокирования в радиоприёмном устройстве» сигнал модулируется по амплитуде внутренним модулятором ГС 1 (рис. 5), сигнал помехи (ГС 2) не модулирован (рис. 6). В сумматоре производится сложение сигнала с помехой, и

далее эта сумма поступает в приемник. К низкочастотному выходу приемника подключен анализатор сигнала для визуальной регистрации эффекта блокирования (рис. 7).

Цели компьютерной лабораторной работы «Исследование эффекта блокирования в радиоприёмном устройстве»:

1. Исследование эффекта блокирования РПУ помехой, которая по мощности значительно выше превышает сигнал.

2. Измерение динамического диапазона по блокированию.

3. Снятие амплитудной характеристики эффективной избирательности РПУ по блокированию.

Несущая частота сигнала $f_c = 25$ кГц. Несущая частота помехи $f_p = 25,025$ кГц отличается от несущей частоты сигнала, но находится внутри полосы пропускания приемника.

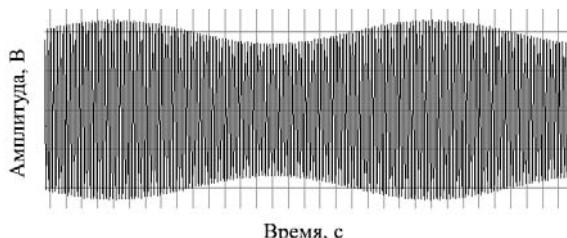


Рис. 5. Полезный АМ-сигнал с выхода ГС 1

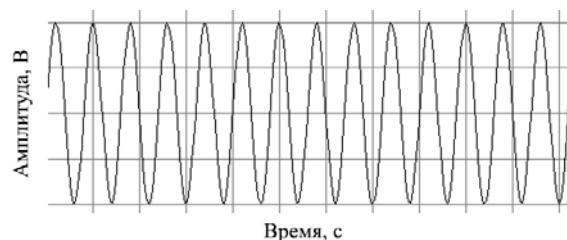


Рис. 6. Эпюра напряжения на выходе генератора помех ИС 2

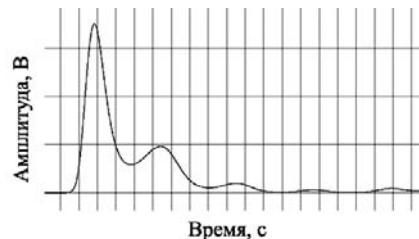


Рис. 7. Эпюра сигнала с помехой и затуханием на выходе РПУ

Описанная выше лабораторная работа планируется к введению в учебный план для студентов-бакалавров направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» профиля «Системы радиосвязи и радиодоступа». К данной работе планируется написание методического пособия с подробным описанием работы, теоретической базой, домашним заданием и указаниями по составлению отчёта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефанов В.И. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем: учебное пособие / В.И. Ефанов, А.А. Тихомиров. Томск: ТУСУР, 2012.
2. Граник В.Н. Рабочая программа учебной дисциплины «Электромагнитная совместимость радиоэлектронных систем». М.: ВГУЭС, 2013.
3. Емельянов В.Е. Теория и методы оценки электромагнитного взаимодействия РЭО: пособие по выполнению лабораторных работ / В.Е. Емельянов, М.Е. Солозобов. М.: МГТУ ГА, 2014.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ДАТЧИКОВ

Н.Б. Сабыров, магистрант каф. РЗИ

*Научный руководитель Б.И. Авдоchenko, доцент каф. РЗИ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, AvdochenkoBI@rzi.tusur.ru*

Современные радиоэлектронные системы представляют собой сложные комплексы технических средств, включающие датчики, преобразователи сигналов, устройства отображения и регистрации. Измерительный усилитель (ИУ) – одно из важнейших звеньев системы, от качества которого зависят объем информации и точность работы системы. От ИУ требуется большой коэффициент усиления, большой коэффициент ослабления синфазного сигнала, высокая стабильность характеристик, минимальный уровень шума и низкий температурный дрейф [1]. Разрабатываемый измерительный усилитель предназначен для исследования различных датчиков и должен обеспечивать высокую чувствительность, регулировку усиления (от 1 до 1000) и регулировку полосы пропускания (от 5 до 50 Гц). Для работы с малыми сигналами усилитель должен обладать низким уровнем собственных шумов [2].

Схема ИУ. Для исследования чувствительности датчиков ИУ выполнен на малошумящем операционном усилителе (ОУ) с низким температурным дрейфом. На основе проведенного обзора выпускаемых ОУ в качестве основы усилителя выбрана микросхема AD622. Преимущество этого варианта ОУ: уровень шума на частоте 1 Гц не

более 10 нВ, диапазон регулировки коэффициента усиления от 2 до 1000; широкий диапазон напряжений питания (от $\pm 2,6$ до ± 15 В), установка значения коэффициента усиления одним внешним резистором.

Схема разработанного ИУ приведена на рис. 1.

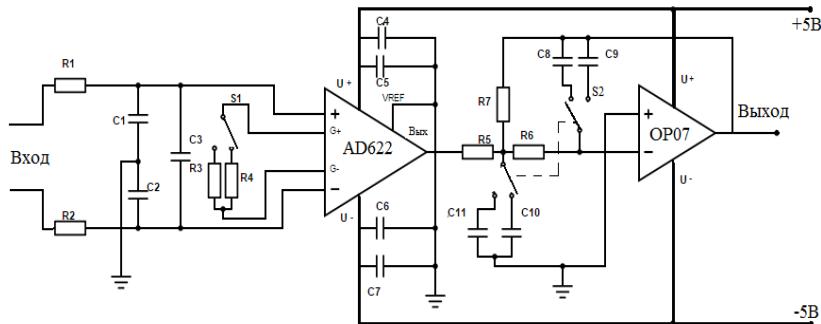


Рис. 1. Принципиальная схема ИУ. Номинальные значения элементов:

$R_1 = R_2 = 4 \text{ кОм}$; $R_3 = 511 \text{ Ом}$; $R_4 = 51 \text{ Ом}$; $R_5 = R_6 = R_7 = 3,3 \text{ кОм}$;
 $C_1 = C_2 = 0,8 \text{ мкФ}$; $C_3 = 8 \text{ мкФ}$; $C_4 = C_7 = 0,01 \text{ мкФ}$; $C_5 = C_6 = 0,33 \text{ мкФ}$;
 $C_8 = 0,3 \text{ мкФ}$; $C_9 = C_{10} = 3 \text{ мкФ}$; $C_{11} = 30 \text{ мкФ}$

Первый каскад представляет собой усилитель с регулируемым усилением, устанавливаемым резистором R_3 . На входе каскада установлен ФНЧ 1-го порядка для снижения влияния помех с верхней частотой 50 Гц. Регулировка полосы пропускания ИУ производится ФНЧ 2-го порядка на основе ОУ OP07. С помощью конденсаторов C_8 , C_{10} и C_9 полоса рабочих частот устанавливается равной 5 или 50 Гц (переключается с помощью переключателя S_2). Для питания усилителя использован стабилизированный двухполарный сетевой источник питания.

Разработка конструкции прибора. Подготовка платы к изготовлению выполнялась с использованием пакета прикладных программ для разработки и изготовления печатных плат **Sprint-Layout 5.0R**. Конструктивно инструментальный усилитель выполнен на подложке из стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. Использовался планарный монтаж с применением чип-элементов.

Экспериментальное исследование прибора. Структурная схема для исследования инструментального усилителя приведена на рис. 2.

На рис. 2 приняты следующие обозначения: Г – генератор; ФНЧ 1 – фильтр низких частот 1-го порядка; ОУ – операционный усилитель; АФ – активный фильтр; РУ – регистрирующее устройство; ИП – источник питания.

Частотные характеристики разработанного ИУ приведены на рис. 3.



Рис. 2. Структурная схема для исследования инструментального усилителя

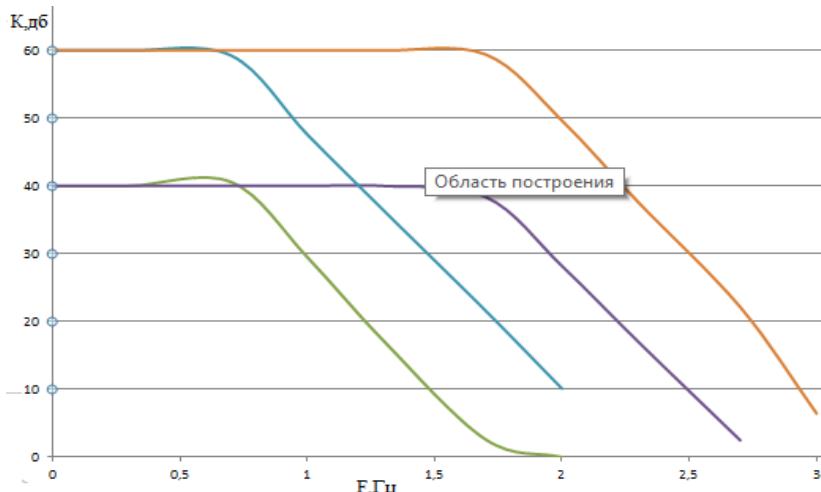


Рис. 3. Логарифмические амплитудно-частотные характеристики усилителя

Из приведенного рисунка следует, что усилитель имеет коэффициенты усиления: $K_1 = 60$ дБ; $K_2 = 40$ дБ; полоса частот 5 или 50 Гц. Спад АЧХ за полосой пропускания -40 дБ/декаду.

Экспериментальное исследование магнитного датчика с помощью ИУ. На рис. 4 приведена структурная схема датчика Холла для исследования.



Рис. 4. Структурная схема исследования датчика Холла:
 МП – магнитное поле; ДХ – датчик Холла; ФНЧ1 – фильтр низких частот 1-го порядка; ОУ – операционный усилитель; АФ – активный фильтр; РУ – регистрирующее устройство; ИП – источник питания

Результаты исследования. Зависимость напряжения на выходе ИУ от магнитного поля на входе датчика приведена на рис. 5.



Рис. 5. Зависимость напряжения на выходе ИУ от магнитного поля

Для снятия этой зависимости использовалось перемещение магнита с известной зависимостью формируемого магнитного поля от расстояния до датчика Холла.

Заключение. В результате проделанной работы был спроектирован и изготовлен измерительный усилитель с регулируемыми коэффициентом усилением и полосой пропускания. Усилитель имеет малый собственный шум и предназначен для исследования различных датчиков: давлений, температуры, магнитного поля и т.д. Усиленные слабые электрические сигналы с датчиков затем можно регистрировать различными приборами [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бараночников М.Л. Микромагнитоэлектроника: учеб. Т. 1. М.: ДМК-Пресс, 2001. 544 с.
2. Электронные приборы и устройства : учеб.-метод. комплекс / Сост. общ. ред. С.Н. Абраменко: в 2 ч. Ч. 1. Новополоцк: ПГУ, 2008. 360 с.
3. Панин В.В., Степанов Б.М. Практическая магнитометрия. М., 1978. 106 с.

ИК-ПРОЖЕКТОР ДЛЯ АКТИВНО-ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ

А.Б. Саринев, магистрант каф. РЗИ

Научный руководитель Б.И. Авдоценко, доцент каф. РЗИ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, AvdochenkoBI@rzi.tusur.ru

При ограниченной видимости из-за недостаточной освещённости объекта, пониженной прозрачности атмосферы (тумана, дымки, пыли, дождя, снегопада), воздействии интенсивных световых помех и других

экстремальных условий широко используются активно-импульсные системы наблюдения. В таких системах наблюдения для уменьшения яркостных искажений и повышения точности определения характеристик объектов требуются мощные импульсные источники инфракрасных (ИК) подсветов.

Появившиеся в последнее время мощные ИК-диоды постепенно вытесняют лазерные системы подсвета. В непрерывном режиме работы максимальная мощность излучающего диода ограничена разогревом кристалла диода, снижающего коэффициент полезного действия (КПД) диода до долей процента. В случае импульсного режима работы при большой скважности (квазихолодного режима) разогрев диода практически исключён, и пиковая мощность излучения диодов может быть увеличена в десятки и сотни раз.

Для повышения мощности оптического излучения до десятков–сотен ватт применяются прожекторы на основе однокристальных диодных решеток и оптических систем, позволяющих складывать оптические излучения отдельных диодов и формировать нужную диаграмму направленности. Для питания таких решеток, имеющих сопротивление в десятые–сотые доли ома, разработаны формирователи импульсов с наносекундными фронтами и мощностью электрического импульса до десятков киловатт [1].

Измерение импульсной мощности источников оптического излучения проводилось по методике, описанной в [2]. Максимальная амплитуда импульса питания диода, при которой отсутствует деградация его характеристики, определялась по изменению формы оптического импульса. На рис. 1 показаны изменения формы оптического импульса при изменении амплитуды импульса питания.

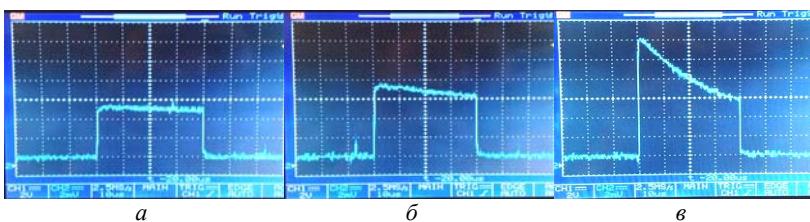
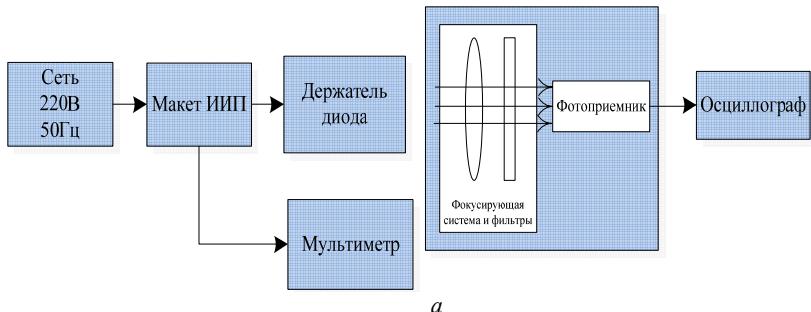
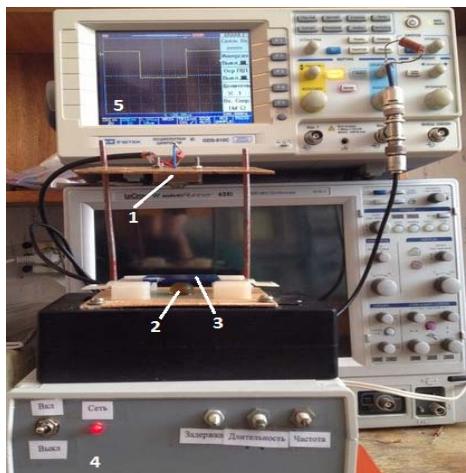


Рис. 1. Осциллограммы напряжения на выходе фотоприемника: *а* – насыщение излучающего диода отсутствует; *б* – спад вершины оптического импульса из-за нагрева излучающего диода; *в* – разогрев кристалла превышает допустимый

Установка для исследования ИК-диодов состоит из импульсного источника питания (ИИП), приемника оптического сигнала, измерительного осциллографа, сетевого блока питания. Структурная схема установки приведена на рис. 2, *а*, фотография установки – на рис. 2, *б*.



a



b

Рис. 2. Экспериментальная установка: *а* – структурная схема; *б* – фотография:
1 – исследуемый ИК-диод; *2* – фотодиод;
3 – оптический фильтр;
4 – ИИП; *5* – осциллограф

Результаты измерений вольт-амперных характеристик (ВАХ) нескольких ИК-диодов и ватт-амперная характеристика (ВТАХ) в импульсном режиме при длительности импульсов 500 нс приведены на рис. 3, *а* и *б*.

Из рисунков следует, что импульсная мощность излучения отдельного диода составляет 7 Вт при импульсном токе питания 16 А. При меньших токах питания зависимость оптической мощности от тока питания близка к линейной.

Результаты измерений импульсных характеристик линейки из пяти последовательно включенных диодов приведены на рис. 4.

Принципиальная схема излучающей части ИК-проектора на двадцати диодах приведена на рис. 5, *а*.

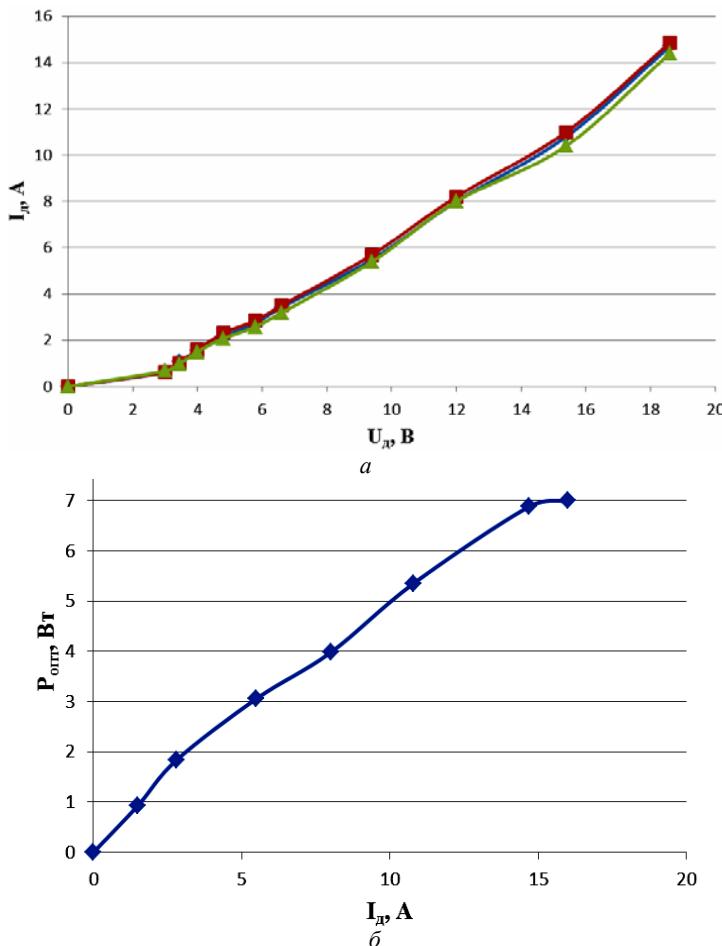


Рис. 3. ВАХ ИК-диодов – а; ВТАХ ИК-диода в импульсном режиме – б

Основной проблемой при разработке ИК- прожектора на большом количестве диодов является формирование нужной диаграммы направленности и пространственное суммирование оптической мощности от диодов. Потребовалось использование отдельных фокусирующих линз для каждого диода и тщательный подбор расстояния между линзами и диодами. Фотография оптической части ИК-прожектора приведена на рис. 5, б.

Результаты исследований прожектора в импульсном режиме приведены на рис. 6, а и б.

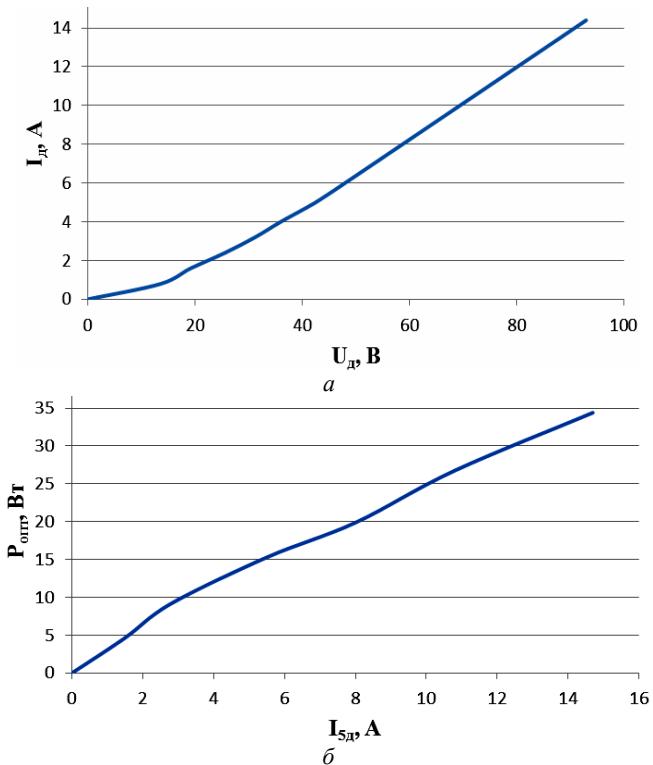


Рис. 4. Характеристика 5 последовательно подключенных диодов:
а – ВАХ; б – ВТАХ

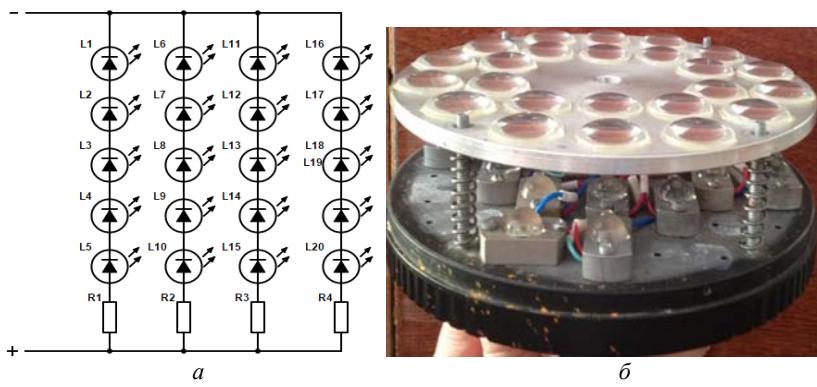


Рис. 5. ИК-прожектор: а – принципиальная схема;
б – фотография оптической части

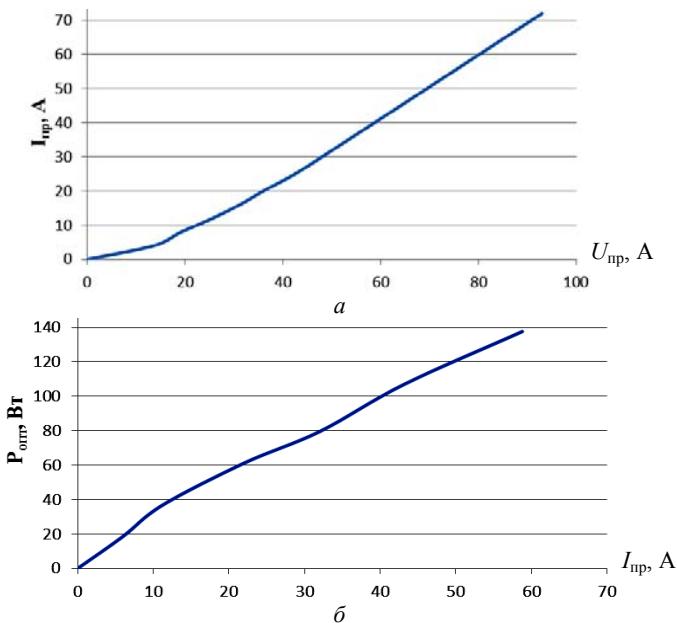


Рис. 6. Характеристики прожектора: α – ВАХ прожектора; β – ВТАХ

Как следует из рисунка, для питания прожектора необходим импульс амплитудой тока до 60 А и напряжением до 80 В. При этом мощность оптического излучаемого импульса может регулироваться для получения максимальной контрастности изображения объектов в различных условиях наблюдения.

Заключение. В результате проведенных исследований разработан ИК-прожектор для активно-импульсных систем видеонаблюдения со следующими параметрами: импульсная оптическая мощность до 140 Вт, время нарастания и спада импульса 70 нс, длительность импульса от 125 нс до 40 мкс, частота повторения до 900 Гц.

Использование разработанного прожектора в системах наблюдения позволяет существенно снизить уровень внешних оптических помех, уменьшить яркостные искажения объектов наблюдения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдоchenko B.I. Моделирование уровня инфракрасного подсвета по трассе наблюдения телевизионного датчика // Доклады ТУСУРа. 2009. №2 (20). С. 11–15.
2. Авдоchenko B.I. Источник мощных оптических импульсов на диодах инфракрасного диапазона длин волн / Б.И. Авдоchenko, А.А. Вилисов, В.П. Пушкарев и др. //Полупроводниковая светотехника. 2010. №3. С. 53–55.

ПРОГРАММИРОВАНИЕ В LABVIEW СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПО ПРИНЦИПУ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ С ПИД-РЕГУЛИРОВАНИЕМ

*К.Н. Тулеуова, магистрант, А.В. Максимов, ст. преподаватель
г. Томск, ТУСУР, каф. РЗИ, kymbattuleuova@gmail.com*

Рассматривается алгоритм работы следящей системы управления по принципу обратной связи с ПИД-регулированием. Управление системы осуществляется с помощью программного обеспечения National Instruments LabView. Среда разработки виртуальных приборов LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) используется в качестве стандартного инструмента для проведения измерений, анализа данных, управления приборами и исследуемыми объектами [1].

Принцип действия следящей системы рассматривается на примере пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора (ПИД), который используется в системах регулирования координат двигателей (скорости, положения), системах управления параметрами технологического процесса (расходом, давлением, температурой), системах слежения за объектами и т.д. В работе анализируются требования к ПИД-регулятору, предъявляемые к системе, реализация которых позволит существенно упростить решение и сократить время выполнения команды.

Возмущающее воздействие, которое регулируется, рассматривается как переменная процесса. Требуемой величиной процесса является задаваемое движение цели. ПИД-регулятор определяет значение управляющего воздействия, например, после получения очередной выборки входных данных выполняется расчет выходного управляющего воздействия и выдача его на объект управления. Объект управления задан в виде дифференциального уравнения второго порядка [2] (рис. 1).

В стандартном ПИД-регуляторе LabVIEW параметр движения (*SP*) и переменная процесса (*PV*) определяют значение рассогласования (*e*) [3]:

$$e = SP - PV. \quad (1)$$

Общая теоретическая формула расчета управляющего значения по ПИД-закону, выглядит как

$$u(t) = K_c \left(e + \frac{1}{T_i} \int_0^t edt + T_d \frac{de}{dt} \right), \quad (2)$$

где K_c – коэффициент пропорциональности регулятора; T_i – время интегрирования, а T_d – время дифференцирования.

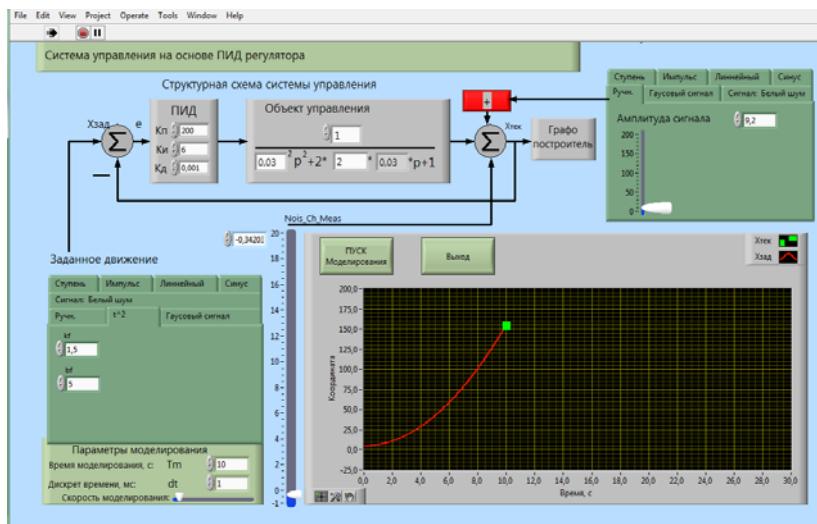


Рис. 1. Лицевая панель и структурная схема системы управления на основе ПИД-регулятора

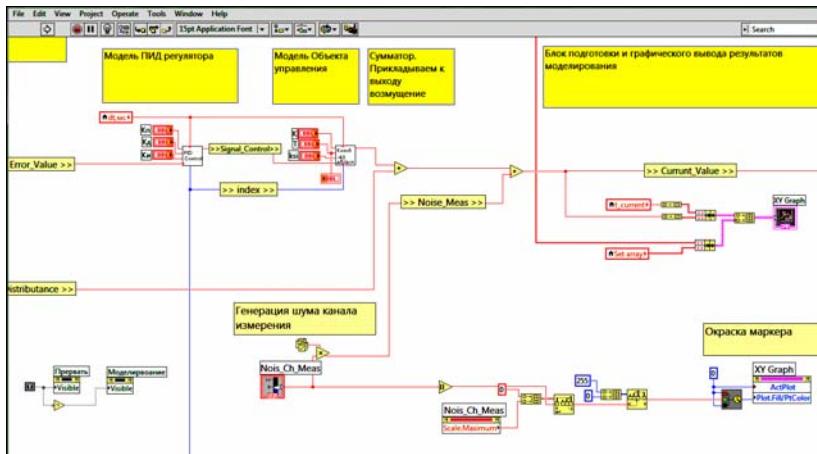


Рис. 2. Функциональная схема системы управления на основе ПИД-регулятора

Пропорциональная составляющая управляющего воздействия определяется регулятором как

$$u_p(t) = K_c e \quad (3)$$

при этом интегральная составляющая равняется

$$u_I(t) = \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e dt, \quad (4)$$

а дифференциальная составляющая

$$u_D(t) = K_c T_d \frac{de}{dt}. \quad (5)$$

Пропорциональная составляющая. В реальных системах регулирования текущие значения параметров обычно значительно превышают и носят более резкий характер, чем помехи, которые возникают как малые отклонения регулируемой величины от задания. Настройка ПИД-регулятора на высокую чувствительность часто приводит к недопустимым колебаниям регулируемой величины с возможным выходом за границу устойчивости. С другой стороны, настройка на невысокую чувствительность может приводить к замедлению реакции на возникающие помехи.

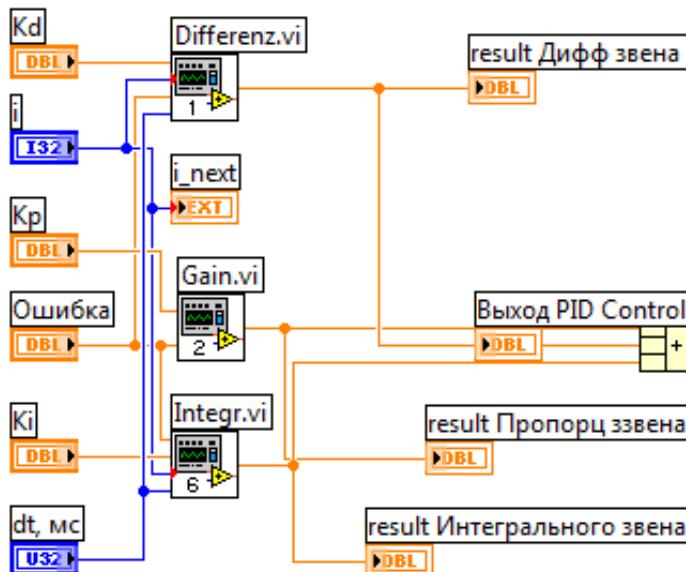


Рис. 3. Виртуальный инструмент реализации ПИД-регулирования в LabVIEW

Управляющее воздействие регулятора. Выход регулятора представляет собой сумму пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих.

$$u(k) = u_p(k) + u_I(k) + u_D(k). \quad (6)$$

Ограничение выхода. Фактическое значение управляющего воздействия ограничено диапазоном, установленным для выхода регулятора:

- если $u(k) > u_{\max}$, то $u(k) = u_{\max}$;
- если $u(k) < u_{\min}$, то $u(k) = u_{\min}$.

Вывод. Для аналитического моделирования характерно то, что алгоритм функционирования системы записывается в виде некоторых аналитических соотношений (алгебраических, интегродифференциальных, конечно-разностных и т.п.) или логических условий. При имитационном моделировании алгоритм функционирования системы воспроизводится во времени с сохранением логической структуры и последовательности протекания элементарных явлений, составляющих процесс. В настоящее время имитационное моделирование – наиболее эффективный метод исследования систем, а часто и единственный практический доступный метод получения информации о поведении системы, особенно на этапе ее проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутырин П.А., Васьковская Т.А., Карамаева В.В., Матеркин С.В. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7 / Под ред. А.П. Бутырина. М.: ДМК-Пресс, 2005. 204 с.
2. Козаченко В.Ф. Руководство по применению 16-разрядных микроконтроллеров Intel MCS-196/296 во встроенных системах управления. М.: Эком, 1997. С. 409–411.
3. Евдокимов Ю.К., Линдавль В.Р., Щербаков Г.И. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. М.: ДМК-Пресс, 2007. С. 102–106.

ПРИМЕНЕНИЕ САПР SYSTEMVUE ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВЕРИФИКАЦИИ РАДИОЧАСТОТНЫХ ТРАКТОВ

А.С. Ахметова, Б.Б. Тулубаев, магистранты каф. РЗИ

Научный руководитель А.А. Гельцер, доцент каф. ТОР, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, gaa.pochta@gmail.com

Основной целью работы является построение радиочастотного приемного и передающего тракта приемника и передатчика средствами САПР SystemVue 2013.08 компании Keysight, который входит в состав общей модели системы связи, включая модули цифрового формирования сигналов. В качестве радиочастотного тракта использован учебно-методический комплекс Dreamcatcher me 1000–200, который представляет собой приемный и передающий модули, работающие на

частоте 868 МГц и вход/выход промежуточной частоты 50 МГц. Особенностью комплекса Dreamcatcher является возможность подключиться индивидуально к каждому блоку тракта и провести измерения характеристик как одного блока, так и всего модуля в целом. Для построения модели в SystemVue были измерены характеристики каждого блока. Платформа SystemVue 2013.08SP1 позволяет существенно сократить время проектирования физического уровня систем связи и разработки архитектуры системы как в области беспроводных приложений, так и для аэрокосмической и оборонной промышленности [1]. Она представляет собой простую в использовании среду с передовыми технологиями моделирования с возможностью подключения к аппаратной части и проведения испытаний.

Были проведены измерения характеристик модулей передатчика и приемника для их дальнейшей реализации в модели. Например, для усилителей измерялись следующие параметры: OIP2, OIP3, P1dB, Psat, G, динамический диапазон и др. Ввиду ограниченности объема статьи приведем пример результатов измерения коэффициента усиления для блока усилителя мощности (УМ) Dreamcatcher, измеренные на анализаторе спектра и ту же характеристику в SystemVue. На рис. 1 изображен спектр сигнала с выхода, полученный на анализаторе спектра. На вход УМ подавался гармонический сигнал с частотой 868 МГц и уровнем -15 дБм. Как видно из рис. 1, уровень сигнала на выходе УМ равен $-0,06$ дБм, т.е. коэффициент усиления составляет 15 дБ.

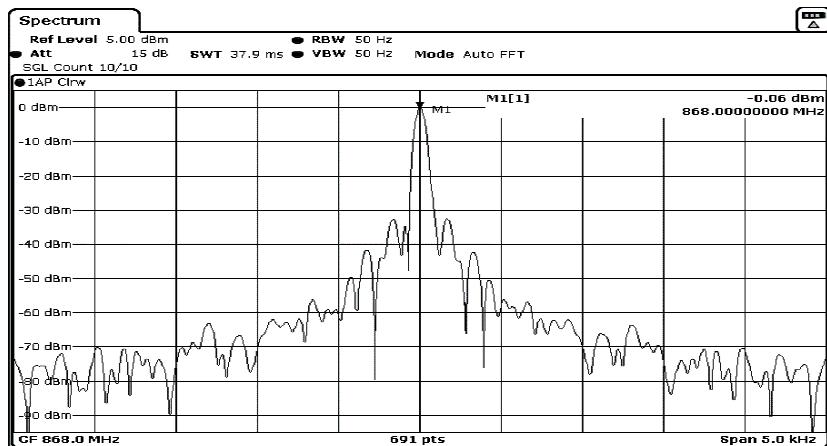


Рис. 1. Спектр выходного сигнала усилителя мощности

В результате измерений и верификации была получена модель УМ, параметры которого совпадают с реализованным в Dreamcatcher.

Рассчитав параметры в программе AppCAD, полученные данные внесены в характеристики модуля УМ [2].

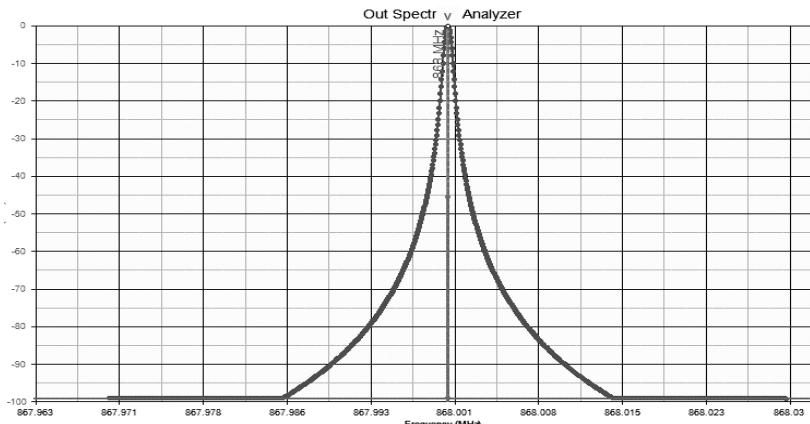


Рис. 2. Результат моделирования усилителя мощности в SystemVue

Комплект Dreamcatcher ME1000-200 состоит из двух частей: передатчик и приемник, как показано на рис. 3, а. Комплект передатчика, подключаемый по USB, управляетя с помощью программной контрольной панели, адаптированной под Windows. Программа автоматизации измерений позволяет производить снятие характеристик радиочастотного тракта. Согласно схеме подключения из рис. 3, а составлена модель приемопередающего тракта в SystemVue 2013.08SP1, изображенная на рис. 3, б.

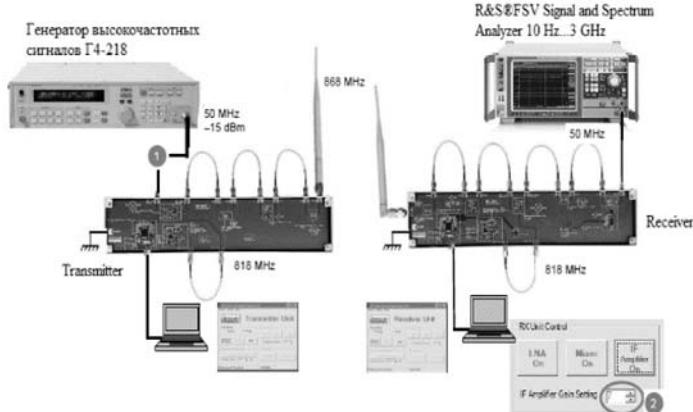
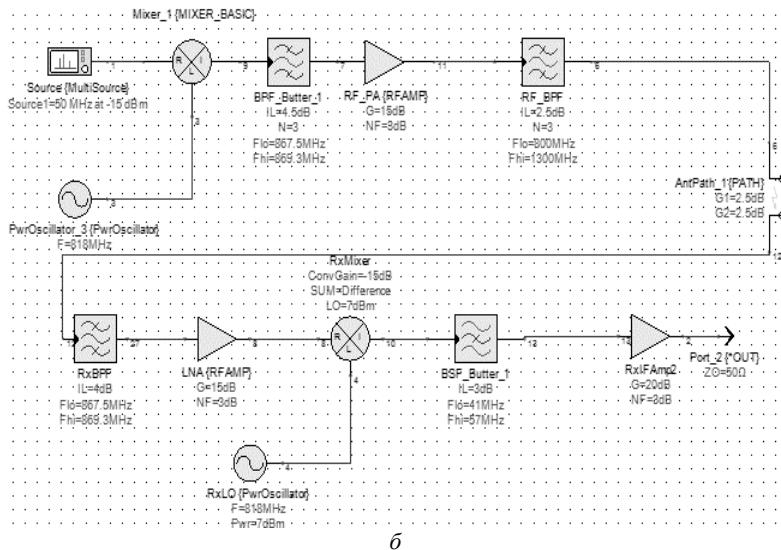


Рис. 3 (начало)



б

Рис. 3 (окончание). Схема включения Dremcatcher и его модель в SystemVue

Полученные результаты свидетельствуют о соответствии полученной в ходе измерений математической модели, а значит, подключая к нему модули формирования и обработки сигналов, сможем получить характеристики системы связи, которые будут соответствовать реальным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программное обеспечение EEsosoft EDA для проектирования и моделирования [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vstn.ru/assets/files/katal2011/Sistemy%20avtomatizirovannogo%20projektirovaniya%20.pdf> (дата обращения: 11.03.2015).
2. AppCAD [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.hp.wood-shot.com> (дата обращения: 11.03.2015).

ДЕТЕКТОРЫ ПОГЛОЩАЕМОЙ МОЩНОСТИ СИГНАЛОВ СВЧ

Д.В. Тимошин, Д.А. Тюфякин, студенты каф. СВЧиКР

Научный руководитель А.С. Загородний, м.н.с. НИИ СЭС ТУСУРа

г. Томск, ТУСУР, d.v.timoshin@mail.ru

Проект ГПО СВЧиКР-1203 «Изменение параметров мощности сигналов СВЧ»

В настоящее время множество технологий информационно-телекоммуникационных услуг работают в диапазоне сверхвысоких частот

(СВЧ). Одним из основных энергетических параметров СВЧ-сигналов является мощность. Развитие технологий радиотехнических систем влечёт за собой усложнение форм сигналов, что накладывает дополнительные требования на измерительное оборудование. В связи с этим актуальны задачи разработки специализированных измерителей и преобразователей мощности, способных оценивать энергетические параметры сложных сигналов и измерять среднюю, пиковую и импульсную мощность.

Объектом исследования являются монолитные интегральные схемы (МИС) детекторов поглощаемой мощности СВЧ-сигналов MD901 и MD903 производства ЗАО «НПФ «Микран», которые выполнены на основе технологии низкобарьерных диодов и предназначены для работы в составе гибридно-интегральных СВЧ-модулей с общей герметизацией [1].

В процессе работы были выполнены измерения частотных характеристик и зависимости выходного напряжения от входной мощности СВЧ-сигнала. Диапазон измеряемых мощностей составил от -55 дБм (от 3 нВт) до 20 дБм (100 мВт), полоса рабочих частот от 0,01 до 50 ГГц. Чувствительность по напряжению в режиме малого сигнала (менее 10 мкВт) не менее 500 мВ/мВт, видеополоса детектора может достигать 60 МГц [1].

На рис. 1 представлены динамические и частотные характеристики с узким диапазоном детектирования, детектора MD903.

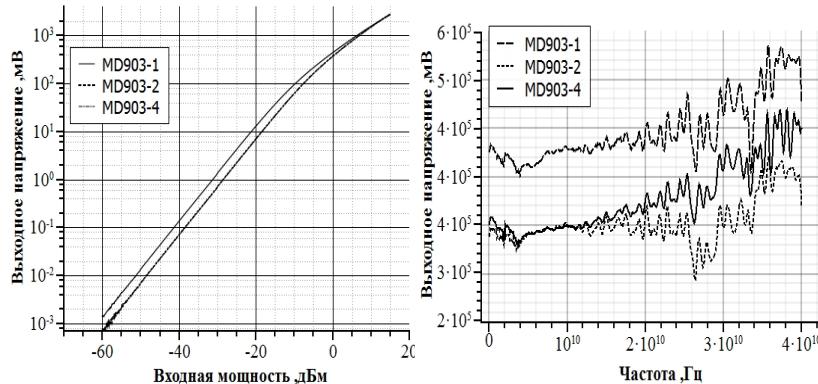


Рис. 1. Динамические и частотные характеристики

На рис. 2 и 3 представлены характеристики детектора MD901, но уже с расширенным диапазоном за счет добавления еще одного каскада, на который мощность приходит с ослаблением благодаря аттенюатору. Также в цепь были подключены дополнительные диоды [2].

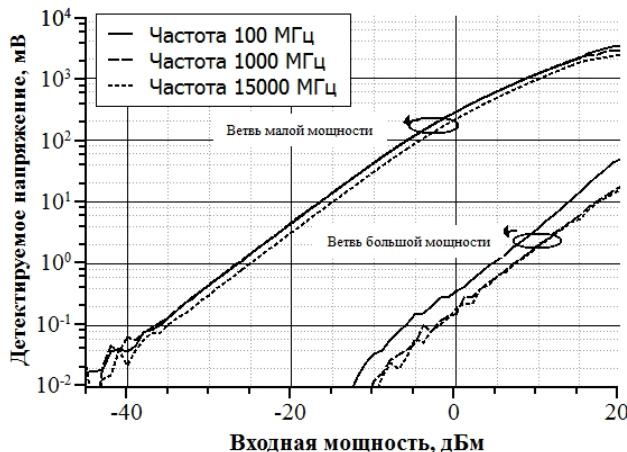


Рис. 2. Динамическая характеристика

Нелинейность частотной характеристики обусловливается внесением паразитических свойств диодами [2].

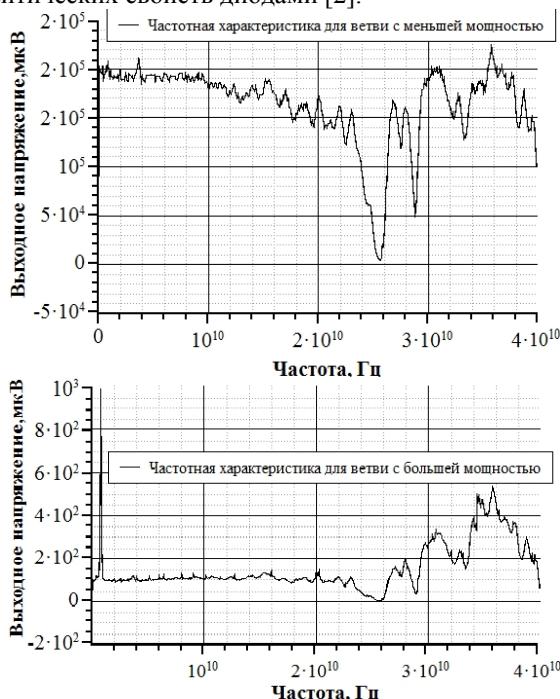


Рис. 3. Частотные характеристики

Заключение. Измеренные значения видеополосы, частотных и динамических характеристик МИС детекторов свидетельствуют о возможности их применения в измерительной аппаратуре СВЧ-диапазона различного назначения. После исследований основных характеристик можно сделать следующий вывод: для измерения сигналов сложной формы необходимо расширять динамический диапазон и видеополосу детекторов. Одним из способов решения такой проблемы является добавление дополнительного каскада в детектирующую цепь. Также для расширения динамического диапазона можно использовать последовательное включение нескольких диодов, подключение корректирующих цепей и делителей мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *GaAs МИС* детектора поглощаемой мощности [Электронный ресурс] // Сайт ЗАО «НПФ «Микран». URL: http://www.micran.ru/sites/micran_ru/data/User File/File/ microelectronics/MD903.pdf (дата обращения: 1.03.2015).
2. *Agilent Fundamentals of RF and Microwave Power Measurements (Part 1)* Application Note 1449-1.

СВЧ-УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ВХОДНЫХ КАСКАДОВ ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

Р.Р. Вишняков, студент каф. РЗИ

Научный руководитель Д.В. Федоров, инженер I кат. ДСВЧЭ

ЗАО «НПФ «Микран»

г. Томск, ТУСУР vishn9-r@yandex.ru

Приведено описание разработанного устройства защиты входных каскадов, которое может быть использовано в устройствах приема и обработки сигналов радиолокационных станций.

Целью настоящего проекта является разработка устройства защиты входных каскадов приемных устройств.

Обычно первыми каскадами в приемных устройствах являются МШУ. Их максимально допустимые значения мощности сигналов на входе составляют 20–22 дБм, в то время как уровни эфирных помех могут достигать 30–40 дБм и более. Чтобы предотвратить выход из строя первых каскадов приемников рационально использовать устройство защиты.

Практическая значимость разрабатываемого радиотехнического устройства также очевидна: оно обеспечит защиту от мощных сигналов приемные устройства, например, такие, как радиолокационные.

Перед автором ставилась задача разработки устройства защиты последующего каскада – МШУ, также разработанного ранее автором [1], от сигналов мощностью до +40 дБм, с минимальным временем

включения/выключения. Максимальный уровень мощности входного сигнала для МШУ составляет +20 дБм. Наиболее простым решением задачи с точки зрения миниатюризации для интегрального исполнения, работоспособности в СВЧ-диапазоне является использование специально разработанных pin-диодов. Из наиболее доступных и обладающих наилучшими качествами был выбран pin-диод CLA4607-085LF, имеющий следующие основные параметры: при уровнях мощности входного сигнала меньше 10 дБм потери меньше 0,1 дБ, низкое удельное термическое сопротивление (55 °C/Вт).

Максимальная мощность, рассеиваемая этим диодом, составляет [2]:

$$P = \frac{175 - T_{\text{окр.ср}}}{\theta} = \frac{175 - 25}{55} = 2,72 \text{ Вт},$$

где 175 °C – макс. допустимая температура перехода; $T_{\text{окр.ср}}$ – температура окружающей среды, °C; θ – тепловое сопротивление, °C/Вт.

При этом максимальная входная мощность может составлять [2]:

$$P_{\text{вх макс}}(R_s) = \frac{(Z_0 + 2R_s)^2}{4R_s Z_0} \cdot P. \quad (1)$$

Очевидно, что чем меньше эквивалентное сопротивление диода (R_s), тем большая входная мощность может быть выдержана диодом. Однако при малых входных мощностях сигнала, потери, согласно техническому описанию, составляют порядка 4–5 дБ, что по результатам моделирования в программе AWRDE [3] соответствует $R_s = 30$ –50 Ом. Диод становится полностью или частично согласованным и выходит из строя за счет рассеивания всей мощности на нем. Действительно, при $R_s = 50$ по формуле (1):

$$P_{\text{вх макс}}(50 \text{ Ом}) = 6,12 \text{ Вт}, \quad P_{\text{вх макс}}(10 \text{ Ом}) = 36,7 \text{ Вт}.$$

Для того чтобы избежать этого, была разработана и промоделирована схема принудительного смешения, позволяющая снизить эквивалентное сопротивление R_s при малых значениях входной мощности до единиц ом.

Моделированием в программе AWR DE получена амплитудно-частотная характеристика и методами параметрической оптимизации достигнута наилучшая. Расхождения результатов моделирования и опытных измерений составили порядка 0,2 дБ КП, а также порядка 5 дБ КО, что объясняется неидеальным поведением элементов и множеством неучтенных паразитных явлений.

Проведены измерения амплитудной характеристики, максимальной входной мощности сигнала, временных характеристик. Поставленная задача решена в полном объеме.

Результатом работы является опытный образец радиотехнического СВЧ-устройства защиты, имеющего следующие параметры:

- максимальная импульсная мощность 45 дБм;
- время включения: не более 25 нс;
- время восстановления: не более 50 нс.

Коэффициент передачи в малоизгнанном режиме (в диапазоне частот от 2 до 2,7 ГГц) не меньше –0,1 дБ.

Подавление сигнала в режиме большого сигнала не менее 25 дБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вишняков Р.Р. Разработка малошумящего СВЧ-усилителя: Интернет-конференция участников ГПО–2014 ТУСУРа. Томск, 10 ноября – 3 декабря 2014 г. Томск: ТУСУР, 2014.

2. Application note: Design with pin diodes [Электронный ресурс]. http://www.skyworksinc.com/uploads/documents/Design_With_PIN_Diodes_200312D.pdf

3. Разевиг В.Д. Проектирование СВЧ-устройств с помощью MicrowaveOffice / В.Д. Разевиг, Ю.В. Потапов, А.А. Курушин / Под ред. В.Д. Разевига. М.: СОЛОН-Пресс, 2003. 496 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СХЕМЫ КОРРЕКЦИИ СИГНАЛА ЛЧМ-РАДАРА

A.А. Залевский, студент, Ж.Т. Эрдынеев, аспирант

*Научный руководитель А.А. Гельцер, доцент
г. Томск, ТУСУР, каф. TOP, nhbx@mail.ru*

В радарах с линейной частотной модуляцией на выходе смесителя формируется сигнал биений. Амплитуда этого сигнала имеет резкую зависимость от расстояния до объекта. И чем дальше объект, тем шире динамический диапазон входного сигнала, который подается на аналого-цифровой преобразователь для дальнейшей обработки. Так как динамический диапазон у АЦП ограничен, то невозможно выделить сигналы из шума, амплитуда которых меньше шага квантования АЦП. Целью данной работы является проектировка схемы для компенсации составляющих сигнала, которые ослабли из-за потерь распространения сигнала до цели и обратно.

В радарах с ЛЧМ модуляцией отраженный и опорный сигналы подаются на смеситель, на выходе которого формируется низкочастотный сигнал биений, частота и амплитуда которого зависят от радиальной скорости цели и её дальности. Для того чтобы обрабатывать сигналы от объектов, находящихся на разных расстояниях, необходимо, чтобы их амплитудные параметры входили в динамический диапазон

зон АЦП. На рис. 1 показана зависимость потерь ($20 \cdot \log(U_{\text{опр}}/U_{\text{опор}})$) при распространении сигнала до цели от расстояния до нее. Характер зависимости гиперболический и обратно пропорционален расстоянию в четвертой степени. Из рис. 1 видно, что обнаружение дальних объектов приводит к увеличению входного динамического диапазона анализирующей системы.

В спектре сигнала биения присутствуют гармоники от ближних целей и от дальних. Для того чтобы обрабатывать такой сигнал, необходимо усиливать те составляющие спектра которые ослабеваают из-за потерь при распространениях на большие расстояния. Зависимость между расстоянием до цели и частотой биения прямо пропорциональна. Исходя из этого, можно пересчитать зависимость затухания от расстояния в частотную зависимость. На рис. 2 показана обратная величина затуханию, то есть усиление в логарифмическом масштабе по частоте. Если корректировать входной сигнала по такой зависимости, то распределение максимумов в спектре сигналов станет одинаковым.

Параметры коррекции будем считать для реального радара, параметры которого приведены в таблице. Из рис. 2 определим необходимый коэффициент усиления, он составляет 40 дБ/дек. Так как дальность действия радара соответствует 36 м, что соответствует частоте сигнала биения в 30 кГц, то необходимо обеспечить на этой частоте максимальное усиление в 40 дБ. Зная частоту дискретизации АЦП и рабочую полосу сигнала, можно найти частоту среза для устранения алиасинга. Рабочая частота до 30 кГц и частота АЦП 200 кГц, значит, выше частоты 170 кГц спектр входного сигнала необходимо подавить не менее чем на 20 дБ.

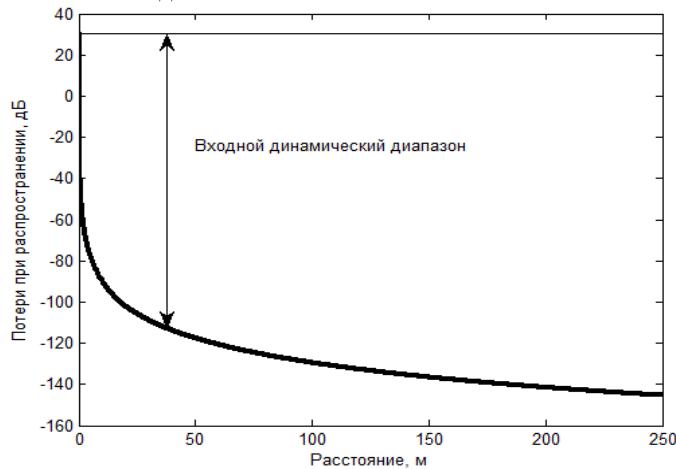


Рис. 1. Потери при распространении

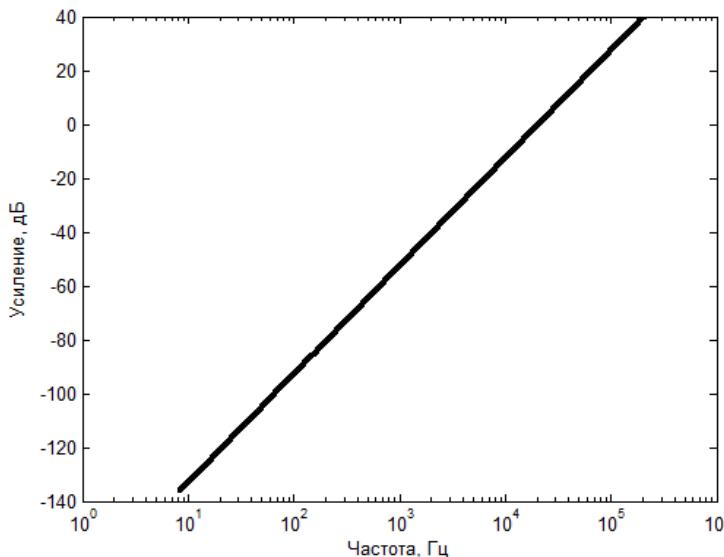
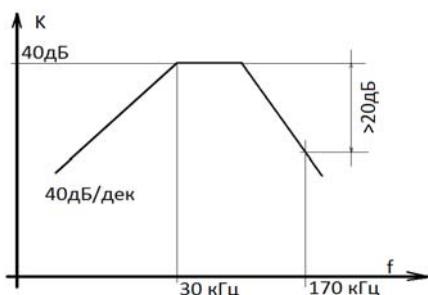


Рис. 2. Требуемое усиление

Параметры ЛЧМ радара

Девиация частоты	40 МГц
Период излучения	320 мкс
Частота дискретизации АЦП	200 кГц
Дальность действия	36 м

но согласно максимальному сигналу и преходящие гармоники от дальних целей будут потеряны. В связи с тем, что устройство должно быть компактное, и с большим коэффициентом усиления, то использование операционных усилителей оптимально.



На рис. 3 приведена требуемая амплитудно-частотная характеристика, которую нужно получить в соответствии с рассчитанными требованиями. Применение усилителя с АРУ не подходит, так как при наличии большого и малого (более высокочастотного) сигнала на входе усиление будет выбрано

Рис. 3. Требуемая АЧХ

Данную характеристику можно получить при использовании ФНЧ и ФВЧ. Фильтр первого порядка обеспечивает крутизну в 20 дБ/дек, поэтому ФВЧ должен быть второго порядка [1].

Заключение. Получение передаточных функций для звеньев осуществлялось методом узловых потенциалов. В программу Mathcad заносилась матрица проводимости, дальше по методу Крамера находилась функция отношения узловых напряжений [2]. Данный освоенный метод полностью совпадает с результатами, полученными из симулирующих сред проектирования электрических схем (использовался Multisim).

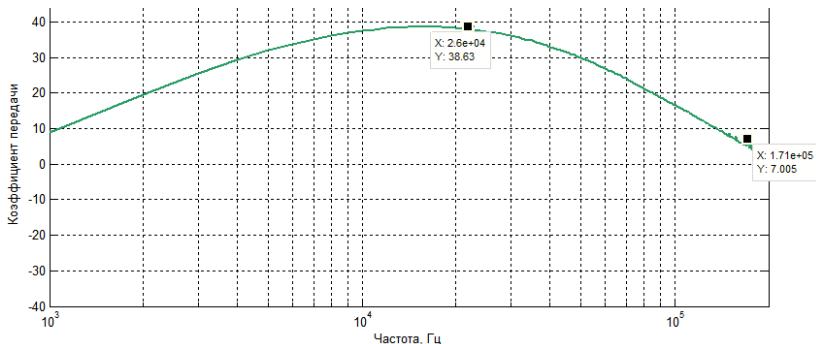


Рис. 4. Измеренная АЧХ рассчитанного фильтра

По спроектированным схемным решениям был собран прототип. На рис. 4 показана измеренная АЧХ активного фильтра. Разница между полученными результатами и рассчитанными обусловлена неидеальностью ОУ и измерительным оборудованием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайт Findpatent [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/206/2060514.html>
2. Кологрилов В.А. Моделирование и анализ линейных устройств на основе операционных усилителей: учеб.-метод. пособие. 2012. 71 с.

ИЗМЕРЕНИЕ ШУМОВЫХ ПАРАМЕТРОВ СВЧ-АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*А.Б. Тулегенов, магистрант РЗИ, ТУСУРа,
Н.В. Жаренко, магистрант ТПУ*

*Научный руководитель М.Ю. Покровский, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, tulegenov_artur@mail.ru*

Зависимость коэффициента шума (КШ) активного четырехполюсника (ЧП) от коэффициента отражения источника сигнала Γ_s описывается выражением

$$F = F_m + Q_n \cdot \frac{|\Gamma_s - \Gamma_{sn}|^2}{1 - |\Gamma_s|^2}, \quad (1)$$

где F_m – минимальный КШ; Γ_{sn} – коэффициент отражения источника сигнала, при котором достигается минимальный КШ; Q_n – коэффициент, характеризующий крутизну увеличения КШ при отклонении Γ_s от Γ_{sn} . Шумовые параметры F_m , Q_n и Γ_{sn} , полностью характеризующие шумовые свойства четырехполюсника, обычно находят из решения системы уравнений, получаемой подстановкой в (1) измеренных значений Γ_{si} и F_i ($i = 1, \dots, 4$) [2]. Недостатком такой методики является большая трудоемкость и погрешность измерения коэффициента отражения источника сигнала, обусловленная неточностью установки опорной плоскости отсчета. Предлагаемая ниже методика позволяет устранить указанный недостаток.

Описание методики измерения. Реализуемый коэффициент передачи по мощности активного ЧП со стандартной нагрузкой ($\Gamma_L = 0$) определяется выражением

$$G = |S_{21}|^2 \frac{(1 - |\Gamma_s|^2)}{|1 - s_{11} \cdot \Gamma_s|^2}, \quad (2)$$

где s_{ij} ($i, j = 1, 2$) – параметры рассеяния ЧП. Из выражений (1) и (2) можно получить соотношения для F и G при различных коэффициентах отражения источника сигнала:

$$a) \Gamma_s = \Gamma_{sn}; \quad F = F_m; \quad (3) \quad G_{sn} = |s_{21}|^2 \cdot \frac{(1 - |\Gamma_{sn}|^2)}{|1 - s_{11} \cdot \Gamma_{sn}|^2}, \quad (4)$$

$$\delta) \Gamma_s = 0; \quad G_{50} = |s_{21}|^2; \quad (5) \quad F_{50} = F_m + Q_n \cdot |\Gamma_{sn}|^2 \quad (6)$$

$$e) \Gamma_s = s_{11}^*; \quad G_{s11^*} = \frac{|s_{21}|^2}{1 - |s_{11}|^2} \quad (7) \quad F_{s11^*} = F_m + Q_n \cdot \frac{|s_{11}^* - \Gamma_{sn}|^2}{1 - |s_{11}|^2}. \quad (8)$$

Систему уравнений (4), (6) и (8) можно решить относительно неизвестных шумовых параметров (ШП) Γ_{sn} , Q_n .

$$|\Gamma_{sn}| = \sqrt{\frac{|s_{11}|^2 + \frac{G_{50}}{G_{sn}} - 1}{|s_{11}|^2 + \frac{G_{50}}{G_{sn}} - \frac{G_{50}}{G_{s11^*}} \frac{F_m - F_{s11^*}}{F_{50} - F_m} - 1}}; \quad (9)$$

$$\arg(\Gamma_{sn}) = -\arccos\left(\frac{\left(|s_{11}|^2 + \frac{G_{50}}{G_{sn}}\right)|\Gamma_{sn}|^2 + |s_{11}|^2}{2 \cdot |\Gamma_{sn}| \cdot |s_{11}|}\right) - \arg(s_{11}); \quad (10)$$

$$\Gamma_{sn} = |\Gamma_{sn}| \cdot e^{j \cdot \arg(\Gamma_{sn})}; \quad (11)$$

$$Q_n = \frac{F_{50} - F_m}{|\Gamma_{sn}|^2}. \quad (12)$$

Величины F_m , G_{sn} , F_{50} , G_{50} , F_{s11^*} и G_{s11^*} могут быть измерены с помощью измерителя КШ по стандартной методике. При известных значениях указанных величин системы уравнений (4), (6) и (8) описывают на комплексной плоскости Γ_{sn} окружности с координатами центров (O_3 , R_3), (O_2 , R_2) и (O_1 , R_1) соответственно (рис. 2) [3].

Корректность предлагаемой методики измерения ШП. Для измерения мы взяли транзистор с известными шумовыми параметрами.

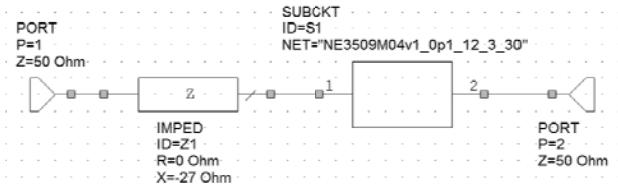


Рис. 1/ Эквивалентная схема измеряемой цепи

Меняя значения входного трансформатора сопротивлений, мы получили следующие значения (таблица):

Измерение КШ, КУ при различных настройках входной цепи

Частота, ГГц	F_{50} , дБ	G_{50} , дБ	F_m , дБ	G_{sn} , дБ	G_{s11*} , дБ	F_{s11*} , дБ
5	0,6003	13,258	0,45	12,9	13,42	0,5162

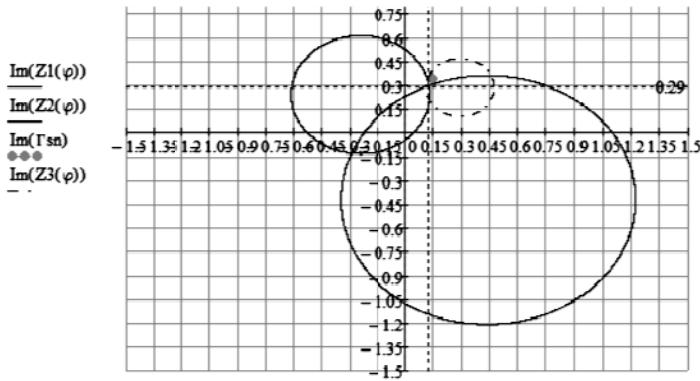


Рис. 2. Коэффициент отражения источника сигнала

Значения ШП вычислены по формулам (9)–(12) при измеренных величинах: F_m , G_{sn} , F_{50} , G_{50} , F_{s11*} , и G_{s11*} .

$$|\Gamma_{sn}| = 0,374; \quad \Gamma_{sn} = 1,136 + 0,348 i; \quad Q_n = 0,279.$$

Заключение. Для проверки корректности методики был использован полевой транзистор NE3509M04v1 с известными параметрами рассеяния и шумовыми параметрами. Величины F_m , G_{sn} , F_{50} , F_{s11*} , и G_{s11*} были измерены в программной среде AWR Microwave Office. В результате измерений по формулам (9)–(12) были построены три

окружности в системе Mathcad, пересекающиеся в одной точке (см. рис. 2).

Таким образом, описанная методика позволяет измерить шумовые параметры СВЧ-транзисторов с приемлемой точностью при существенном упрощении процесса измерения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Покровский М.Ю. Декомпозиционный структурный синтез малошумящих широкополосных транзисторных УВЧ- и СВЧ-усилителей: дис. ... к.т.н. Томск: ТУСУР, 1993. 235 с.
2. Keysight Technologies. Основы измерения коэффициента шума в радиочастотном и микроволновом диапазонах [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5952-8255RURU.pdf>
3. Maxim Integrated. Low-Noise Amplifier (LNA) Matching Techniques for Optimizing Noise Figures [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN3169.pdf>

МАКЕТ ОПТОЭЛЕКТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНЕЙ ЗАДЕРЖКИ

*А.В. Горевой, аспирант, инженер АО «Микран»;
Г.К. Толендиев, Д.Е. Бадырова, М.Г. Шарипова, магистранты;
А.А. Лукина, аспирант; Д.А. Конкин, ст. преподаватель каф. РЗИ
Научный руководитель А.С. Задорин, проф. каф. РЗИ, д.ф.-м. н.
г. Томск, ТУСУР, РТФ, каф. РЗИ, gkt7@bk.ru*

Описан экспериментальный макет оптоэлектронного генератора (ОЭГ) с линией задержки на основе оптического волокна (ОВ), работающий на частоте 900 МГц.

Одним из перспективных схемотехнических приемов построения СВЧ-генераторов, формирующих колебания с высокой спектральной чистотой и малым уровнем фазовых шумов, в настоящее время является архитектура оптоэлектронного автогенератора (ОЭГ), в котором в качестве физического носителя энергии формируемой волны СВЧ-поля используется пучок фотонов, взаимодействующий с СВЧ-полем через соответствующие медиаконвертеры – фотоприемный модуль (ФПУ) и оптоэлектронный модулятор (ОЭМ) [1–4].

Целью настоящей работы является описание экспериментального макета такого рода ОЭГ, в качестве резонансной структуры в котором использована линия задержки на основе ОВ. Схема макета приведена на рис. 1.

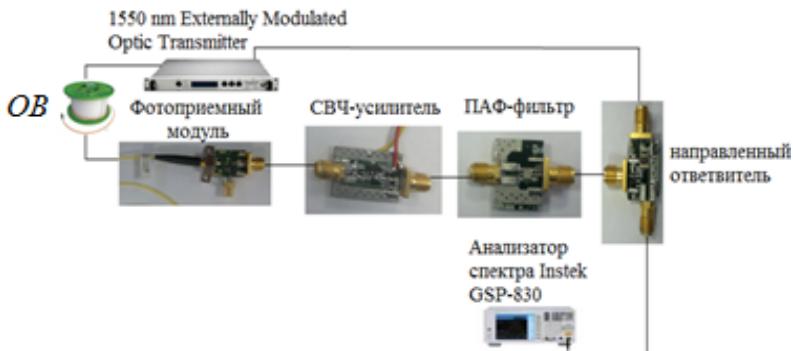


Рис. 1. Схема макета оптоэлектронного автогенератора с линией задержки

Макет ОЭГ был построен на основе серийного блока Externally Modulated Optic Transmitter производства Hangzhou Huatai Optic Tech., Китай ($P = 3$ дБм, $RIN = -160$ дБм/Гц) с встроенным ОЭМ, работающим в окне прозрачности ОВ, на длине волнны 1550 нм.

В качестве оптического резонатора ОЭГ использовались линии задержки, составленные из нескольких переключаемых отрезков стандартного одномодового ОВ длиной 2,7, 415 и 725 м.

Фотоприемный модуль был изготовлен на основе быстродействующего фотодетектора FRM5J141GW фирмы Fujitsu, с полосой пропускания 11 ГГц. и чувствительностью 19 дБм. Потери ФПУ, связанные с преобразованием оптического поля в электрический сигнал составили 27 дБ.

Общие петлевые потери в разработанном ОЭГ, связанные в том числе и с отводом -10 дБ СВЧ-мощности в направленном ответвителе (НО) из цепи обратной связи ОЭГ на его выход, компенсировались в тракте широкополосного СВЧ-усиления с общим коэффициентом усиления 30 дБ.

Указанная частотная зависимость петлевого усиления ОЭГ при разомкнутой петле обратной связи ОЭГ, измеренная векторным анализатором цепей Р4М, приведена на рис. 2.

Для обеспечения условий генерации ОЭГ только на узком участке АЧХ (рис. 2) и фильтрации спектра паразитных мод применялась серийная микросхема узкополосного ПАВ-фильтра, настроенного на центральную частоту 900 МГц. с полосой пропускания 30 МГц. На рис. 3 приведена соответствующая АЧХ фильтра, измеренная с помощью векторного анализатора цепей Р4М.

В проведенных нами экспериментах представленная на рис. 1 схема ОЭГ обеспечивала генерацию гармонического сигнала мощностью -5 дБм на частоте 900 МГц.

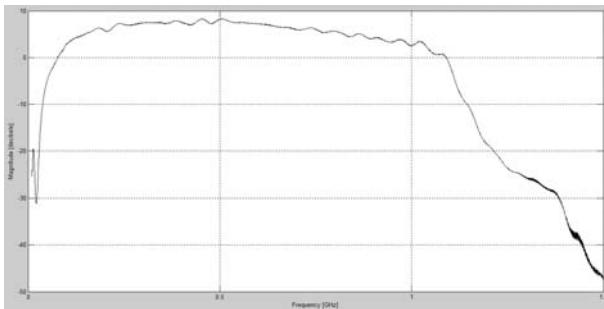


Рис. 2. Частотная зависимость петлевого усиления ОЭГ

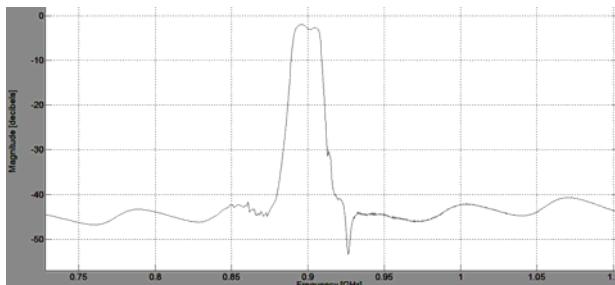


Рис. 3. АЧХ ПАВ-фильтра

В [5] представлено более подробное описание полученных нами экспериментальных результатов, измерения односторонней спектральной плотностью мощности шума $L(f)$, полученные с помощью описанного выше макета ОЭГ, а также экспериментов по снижению уровня фазовых шумов $L(f)$ за счет увеличения длины волоконно-оптического тракта ОЭГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борцов А.А. Оптоэлектронный генератор радиочастотного диапазона с накачкой квантоворазмерным лазерным диодом: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2014. 402 с.
2. Steve X. Yao and Maleki L. Optoelectronic microwave oscillator // Journal of the Optical Society of America B. Vol. 13, № 8. August 1996. P. 1725–1735.
3. Maleki L. The optoelectronic oscillator // Nature Photonics. 2011. Vol. 5. № 12. P. 728–730.
4. Белкин М., Лопарев А. Оптоэлектронный генератор – первое практическое устройство СВЧ-оптоэлектроники // Электроника: наука, технология, бизнес. 2010. № 6. С. 62–70.
5. Горевой А.В., Конкин Д.А., Лукина А.А., Толендиев Г.К. Оптоэлектронный генератор на основе волоконно-оптических линий задержки: численное моделирование и экспериментальное исследование (наст. сборник).

СЕКЦИЯ 8

ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАНОФОТОНИКА И ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

*Председатель секции – Шарангович Сергей Николаевич,
проф., зав. каф. СВЧиКР, к.ф.-м.н.;
зам. председателя – Буримов Николай Иванович,
зав. УНЛ каф. ЭП НИЧ, к.т.н.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНОФОРОВ ДЛЯ СВЕТОДИОДОВ БЕЛОГО ЦВЕТА СВЕЧЕНИЯ

*Т.И. Богомякова, А.М. Ситдиков, студенты каф. РЭТЭМ,
Ю.В. Ряполова, магистрантка каф. ЭП,
В.С. Солдаткин, ст. преподаватель каф. РЭТЭМ, к.т.н.
Научный руководитель В.И. Туев, заведующий каф. РЭТЭМ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, tvi_retem@mail.tusur.ru
Проект ГПО РЭТЭМ-1202 «Светодиод белого цвета
с эффективностью 160 лм на ватт»*

Полупроводниковый диод белого свечения – перспективный элемент в области электроники и светотехники. Он позволяет значительно понизить потребление электрической энергии, используемой на освещение, следовательно, такой диод является энергетически эффективным устройством [1].

В конструкции светодиода используются светодиодные кристаллы синего цвета свечения, покрытые люминофорной композицией, которая преобразует энергию излучения синих светодиодов в белый цвет.

Целью работы является проведение исследований и выбор наиболее эффективного люминофора по световой отдаче, который предназначен для использования в технологическом процессе герметизации светодиодов белого цвета свечения.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) определить световой поток и световую отдачу в светодиоде с люминофором;
- 2) оценить цветовые координаты исследуемых образцов.

Для исследования были взяты два образца люминофоров: №1 – производство Тайвань, №2 – производство Россия (г. Новосибирск). А также 3 кристалла для каждого светодиода с характеристиками:

$\lambda = 460$ нм (длина волны); $P_o = 20$ мВт (оптическая мощность); $\Phi_v = 2,45$ лм (световой поток трех кристаллов).

Определение цветовых координат (колориметрический анализ) исследуемых образцов люминофоров проводилось непосредственно освещением чувствительного элемента спектроколориметра светодиода. Напряжение питания, поданное на светодиод, составило 3 В, а потребляемый ток 0,06 А.

В результате исследования были определены значения светового потока (Φ_v) и цветовые координаты для светодиодов с образцами люминофора №1 и №2. Световая отдача (η) светодиодов рассчитана по формуле

$$\eta = \Phi_v / P_o, (\text{лм/Вт}). \quad (1)$$

Полученные значения представлены в таблице.

Полученные параметры образцов люминофоров.

Люминофор	P_o , Вт	Φ_v , лм	η , лм/Вт	Цветовые координаты
Образец №1	0,18	14,40	80	$x = 0,306,$ $y = 0,290$
Образец №2	0,18	8,44	46	$x = 0,365,$ $y = 0,395$

В результате работы, сравнивая полученные значения светового потока, световой отдачи и цветовых координат двух образцов люминофоров, был определен наиболее эффективный из них, это образец №1, используемый в дальнейшем в качестве основной композиции. Координаты цветности данных люминофоров соответствуют белому цвету свечения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проекта RFMEF157714X0061.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шуберт Ф. Светодиоды / пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. 2-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.
2. Izotov S., Situdikov A., Soldatkin V., Tuev V., Olisovets A. Study of Phosphors for White LEDsInternational workshop on Innovations in Information and Communication Science and Technology. IICST 2014, 3–5 September 2014. Warsaw, Poland. Procedia Technology. Vol. 18. 2014. P. 14–18. Doi: 10.1016/j.protcy.2014.11.005.

ЗАВИСИМОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА НАПРЯЖЕНИЯ ОТ КОЛИЧЕСТВА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ПОДКЛЮЧЕННЫХ СВЕТОДИОДОВ

А.М. Ситдиков, студент каф. РЭТЭМ,

Ю.В. Ряполова, магистрантка каф. ЭП,

В.С. Солдаткин, ст. преподаватель каф. РЭТЭМ, к.т.н.

Научный руководитель В.И. Туев, зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, tvi_retem@mail.tusur.ru

Проект ГПО РЭТЭМ-1202 «Светодиод белого цвета

с эффективностью 160 Лм на Ватт»

Целью работы является выявление зависимости температурного коэффициента напряжения для светодиодов от количества последовательно подключенных кристаллов.

В ходе работы были получены зависимости напряжения от температуры, при стабилизированном токе, для индикаторных светодиодов с различным количеством кристаллов при стабилизированном постоянном токе. Зависимость напряжения от температуры светодиодной линейки с 27 последовательно подключенными кристаллами, при токе 0,1 мА, показана на рис. 1.

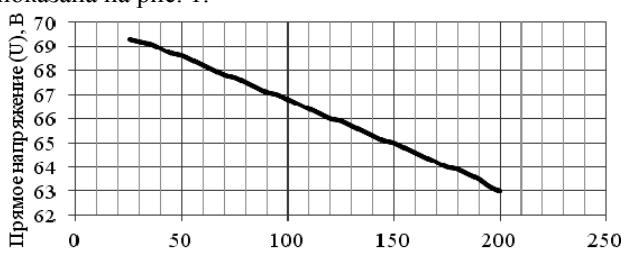


Рис. 1. Диаграмма зависимости напряжения от температуры для светодиода с 27 последовательно подключенными кристаллами

Зависимость напряжения от температуры светодиода с одним кристаллом при токе 0,1 мА показана на рис. 2.

Рассчитаем температурный коэффициент напряжения (ТКН) для обоих вариантов исследования. Температурный коэффициент напряжения рассчитывается по формуле

$$\varepsilon = \Delta U / \Delta T ,$$

где ΔU – изменение напряжения; ΔT – изменение температуры.

Для светодиода с 27 последовательно подключенными кристаллами, приведенный к одному светодиоду ТКН будет равен

$$\varepsilon = \Delta U / \Delta T = 5,5 / 150 \cdot 27 = 0,0013 \text{ В/}^{\circ}\text{C}.$$

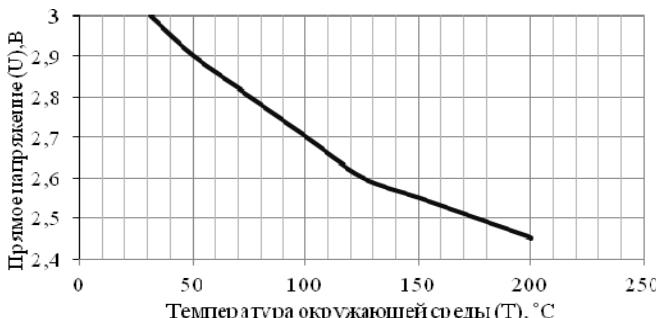


Рис. 2. Диаграмма зависимости напряжения от температуры для светодиода с одним кристаллом

Для светодиода с одним кристаллом ТКН будет равен

$$\varepsilon = \Delta U / \Delta T = 0,45 / 150 = 0,003 \text{ В/}^{\circ}\text{C}.$$

В результате работы было выяснено, что светодиод с 27 последовательно подключенными кристаллами имеет в 2,3 раза меньшее значение приведенного температурного коэффициента напряжения, чем светодиод с одним аналогичным кристаллом, что, по мнению авторов, связано с неравномерным распределением напряжения на отдельных кристаллах многокристального светодиода.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проекта RFMEF157714X0061.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шуберт Ф. Светодиоды / пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. 2-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. С. 496.
2. Вилисов А., Калугин К., Солдаткин В., Перминова Е. Белые светодиоды // Полупроводниковая светотехника. 2012. Т. 4, № 18. С. 14–17.

ДИНАМИКА ТЕРМОИНДУЦИРОВАННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В КРИСТАЛЛЕ $\text{Bi}_{12}\text{MeO}_{20}:\text{Al}$

В.Г. Дю, магистрант, Е.С. Худякова, аспирант

*Научный руководитель С.М. Шандаров, профессор каф. ЭП, д.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ЭП valeriya.dyu@gmail.com*

Кристаллы со структурой силленита $\text{Bi}_{12}\text{MeO}_{20}$ (где M = Si, Ge, Ti), обладающие фотопроводящими, фотохромными и фоторефрактивными свойствами, характеризуются высокой светочувствительностью в видимой области спектра, что делает их перспективными для использования в устройствах динамической голограмии и оптической

обработки информации [1–3]. При разработке оптических устройств прикладного назначения, способных работать в широком температурном диапазоне, необходим учет влияния температуры на их характеристики.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований динамики изменения оптического поглощения на длине волны 532 нм в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Al}$, одновременно подвергнутом процедурам нагрева и охлаждения.

В экспериментах использовался легированный алюминием монокристаллический образец титаната висмута ($\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Al}$), выращенный TSSG-методом. Он имел оптически полированные грани и толщину $d = 6,6$ мм вдоль кристаллографического направления.

Нагрев кристалла проводился в воздушной атмосфере с помощью элемента Пельтье до температуры 50 °C со скоростью 2,5 °C/мин (рис. 1, участки *б*, *д*). После достижения заданной температуры исследуемый образец выдерживался при ней в течение 30 мин (рис. 1, участки *в* и *е*), а затем охлаждался до комнатной температуры как естественным путем (рис. 1, участок *г*), так и со скоростью 10^{-2} °C/мин (рис. 1, участок *ж*), задаваемой изменением тока через элемент Пельтье. Измерения изменений $\Delta\alpha(t)$ для коэффициента оптического поглощения кристалла $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Al}$ проводились по известной методике [4] на длине волны 532 нм в отсутствие другой внешней засветки кристалла. Плотность потока используемого лазерного излучения на входной грани кристалла составляла 200 мВт/см².

Как видно из рис. 1, при облучении кристалла $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Al}$ в указанных условиях происходят изменения в оптическом поглощении на используемой длине волны 532 нм, зависящие от температуры и от режима её изменения. Нагрев образца сопровождается наиболее быстрым увеличением поглощения, однако и при его выдерживании при температуре 50 °C наблюдается его медленный рост. Скорость про-

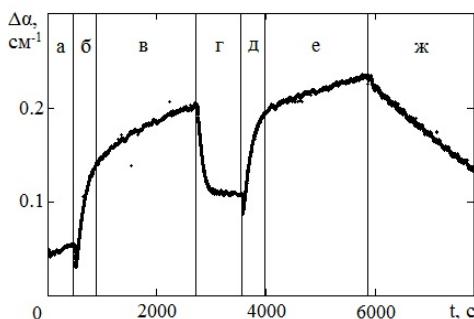


Рис. 1. Динамика изменения оптического поглощения в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Al}$ на длине волны 532 нм: *а* – при комнатной температуре; *б*, *д* – при нагреве образца до температуры 50 °C; *в*, *е* – при выдержке при 50°C; *г* – при охлаждении естественным путем; *ж* – для контролируемого охлаждения

светления кристалла при его охлаждении также зависит от скорости уменьшения температуры, как следует из анализа поведения $\Delta\alpha(t)$ на участках g и jc (см. рис. 1).

Таким образом, в настоящей работе экспериментально обнаружены изменения оптического поглощения в легированном алюминием кристалле титаната висмута при засветке непрерывным лазерным излучением с длиной волны 532 нм, связанные с вариациями температуры от комнатной до 50 °С.

Работа выполнена в рамках задания Минобрнауки РФ № 2014/225 (проект № 2491) и НИР по проектной части госзадания № 3.878.2014/ИК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шандаров С.М., Шандаров В.М., Мандель А.Е., Буримов Н.И. Фото-рефрактивные эффекты в электрооптических кристаллах. Томск: ТУСУР, 2007. 242 с.
2. Кульчин Ю.Н., Витрик О.Б., Камишин А.А., Ромашко Р.В. Адаптивные методы обработки спекл-модулированных оптических полей. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 288 с.
3. Stepanov S.I. Applications of photorefractive crystals // Repts. Progr. Phys. 1994. Vol. 57. P. 39–116.
4. Худякова Е.С., Кистенева М.Г., Шандаров С.М. и др. Динамика изменений поглощения света в кристалле силиката висмута, индуцированных лазерной засветкой видимого диапазона длин волн // Изв. вузов. Радиофизика. 2014. Т. 57, № 8–9. С. 660–665.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛЯ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА НА ВЫХОДНОЙ ГРАНИ КРИСТАЛЛА НИОБАТА ЛИТИЯ

И.Д. Гермогентов, Е.А. Дмитриев, С.Б. Козлов, студенты,

Б.Ю. Рябченок, аспирант

*Научный руководитель В.М. Шандаров, профессор каф. СВЧиКР,
д.ф.-м.н.*

г. Томск, ТУСУР, van_158@mail.ru

*Проект ГПО СВЧиКР-1502 «Нелинейно-оптические волноводные
элементы на основе электрооптических и лазерных кристаллов»*

Задачей данной работы является исследование изменения профиля распределения интенсивности лазерного пучка после прохождения через образец кристалла ниобата лития, легированного ионами железа по объему.

Схема экспериментальной установки включает в себя (рис. 1): твердотельный YAG:Nd³⁺ лазер (1) с длиной волны излучения $\lambda = 532$ нм и диаметром выходного пучка ~ 1 мм; светоделительный кубик (2); микрообъектив (3) с увеличением $10\times$; исследуемый образец ниобата лития [1] (4), легированный ионами железа по объему, с геометрическими размерами $11 \times 10 \times 5$ мм по осям $X \times Y \times Z$ соответственно.

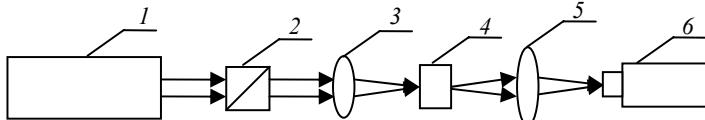


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Диаметр сфокусированного светового пучка на входной плоскости образца составлял ~ 16 мкм.

При проведении эксперимента картина светового поля после прохождения через образец регистрируется анализатором лазерных пучков (6), который подключен к персональному компьютеру. Картинны светового поля, соответствующие разным моментам времени при мощности излучения 10 мВт, представлены на рис. 2.

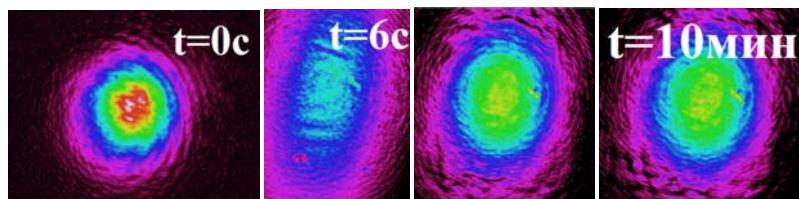


Рис. 2. Картинны светового поля в различные моменты экспонирования

Из рис. 2 видно, что на начальном этапе экспонирования наблюдается уширение светового пятна в направлении вдоль оптической оси кристалла. Через некоторое время его форма и размеры возвращаются к почти исходному состоянию. Уширение пучка объясняется индуцированием в освещенной области кристалла нелинейной фоторефрактивной линзы [2–3]. Последующая стадия может быть объяснена возникновением пироэлектрического поля в освещенной области вследствие поглощения света с данной длиной волны в материале [3].

Для оценки влияния фоторефрактивного и пироэлектрического эффектов на показатель преломления проводилось измерение пиковой плотности мощности на выходной грани кристалла. Аппроксимирующие временные зависимости пиковой плотности мощности пучка при разной мощности лазерного излучения приведены на рис. 3.

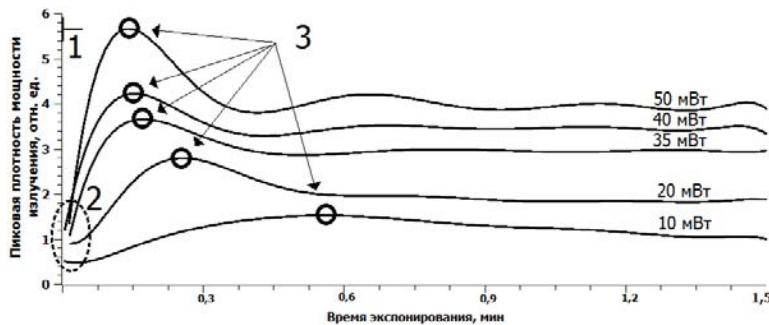


Рис. 3. Зависимости пиковой плотности мощности пучка от времени после прохождения через образец при разной мощности лазерного излучения

При больших мощностях фоторефрактивный эффект проявляется практически мгновенно, поэтому начальные участки зависимостей на рис. 3 отсутствуют.

Наблюдаемые в экспериментах результаты можно условно разделить на 3 этапа:

1. На первом этапе прошедший через образец пучок с коэффициентом эллиптичности, близким к 1, претерпевает дефокусировку в направлении, параллельном оптической оси кристалла вследствие фоторефрактивного эффекта в экспонируемой области [4] (рис. 2, 1, 2; рис. 3, 1, 2).

2. На втором этапе в изменение распределения интенсивности пучка вносит вклад пироэлектрический эффект, вызванный локальным нагревом вследствие поглощения излучения в образце. При этом наблюдается компенсация дефокусировки пучка. Пиковая плотность мощности в сечении пучка при этом возрастает (рис. 2, 2, 3; рис. 3, 2, 3).

3. Последний этап характеризуется достижением равновесного состояния между фоторефрактивным и пироэлектрическим эффектами, когда влияние на поле пространственного заряда в образце взаимно компенсируется данными эффектами. При этом плотность мощности прошедшего пучка уменьшается при незначительном уширении пучка с сохранением коэффициента эллиптичности (рис. 2, 3, 4; рис. 3, 3 и далее).

По полученным экспериментальным результатам можно сделать вывод о том, что при высокой плотности мощности в образцах ниобата лития в первые моменты времени преобладает фоторефрактивный эффект, имеющий более быстрый отклик среды на воздействие света, в результате чего дифракционная расходимость пучка в направлении вдоль оптической оси кристалла возрастает.

Поглощение света в экспонируемой области приводит к нагреву материала, вследствие которого возникает пироэлектрическое поле, частично компенсирующее наведенную вследствие фоторефрактивного эффекта нелинейную линзу. После того как градиент температур в образце достигает стационарного состояния, поля фоторефрактивного и пироэлектрического эффектов достигают равновесных значений, что приводит к относительно стационарному состоянию прошедшего пучка.

Работа выполнена в рамках проектной части Госзадания Минобрнауки РФ (проект №3.878.2014/К).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Петров М.П. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике / М.П. Петров, С.И. Степанов, А.В. Хоменко. М.: Наука, 1992. 315 с.*
2. *Ярив А. Оптические волны в кристаллах / А. Ярив, П. Юх. М.: Мир, 1987. 616 с.*
3. *Делоне Н.Б. Нелинейная оптика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 64 с.*
4. *Рябченок В.Ю., Безпалый А.Д., Верхотуров А.О. и др. Исследование воздействия интенсивного лазерного излучения на свойства ниобата лития в волноводном слое // III Всерос. конф. по фотонике и информационной оптике: сб. науч. тр. М.: НИЯУ МИФИ, 2015.*

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ УСИЛЕНИЯ ВЫНУЖДЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ТОНКИХ СЛОЯХ ЛАЗЕРНОГО КРАСИТЕЛЯ С НАНОЧАСТИЦАМИ РАЗЛИЧНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ

*А.Ю. Искандаров, студент, В.А. Харенков, аспирант каф. ОЭСиДЗ,
М.М. Зиновьев, А.В. Трифонова, студенты*

*Научный руководитель Ал.А. Землянов, доцент каф. ОЭСиДЗ, к.ф.-м.н.
г. Томск, НИ ТГУ, 13lord alias@mail.ru*

В настоящее время исследование свойств наночастиц и материалов, содержащих наночастицы, вызывает интерес у множества исследователей. Интерес представляют как свойства наночастиц, так и явления, происходящие в материалах с наночастицами различной физической природы.

Во многих теоретических работах были рассмотрены различные механизмы усиления вынужденного излучения в активных нанодисперсных средах. Физическая природа наночастиц является определяющим фактором, влияющим на механизм усиления вынужденного излучения. Из теоретических работ нам известно, что использование диэлектрических наночастиц в растворах лазерного красителя приводит к увеличению интенсивности свечения в основном за счет много-

кратного рассеяния на этих частицах, это так называемое явление random laser [1]. Использование в качестве усиливающей среды раствора красителя с металлическими наноструктурами обеспечивает значительное усиление в большей степени за счет эффектов плазмонного резонанса и наличия локальных полей вблизи наночастиц [2, 3]. Действие всех этих эффектов в активной среде разделить на практике является невозможным, однако есть возможность практически оценить степень влияния того или иного процесса усиления.

Для проведения экспериментов были отобраны наночастицы металлов и диэлектриков одинаковой морфологии. Исследование растворов лазерного красителя R6G с наночастицами, обладающими различными свойствами, показало, что в зависимости от того, какие наночастицы используются, меняется как интенсивность свечения, так и длина волны максимума интенсивности. Это объясняется различными механизмами усиления лазерного излучения в активных средах с наноструктурами.

В качестве рабочей кюветы была выбрана кювета толщиной 2 мм, при такой толщине рабочего слоя активны все вышеперечисленные механизмы усиления. В результате экспериментов были построены зависимости длины волны максимума свечения от энергии накачки.

На рис. 1 продемонстрированы полученные зависимости длины волны излучения от энергии накачки. Из данного рисунка можем сказать, что кривые 2–4 лежат в коротковолновой области относительно кривой 1, которая характеризует поведение чистого красителя R6G с концентрацией 10^{-3} моль/л, в кювете толщиной 2 мм [4]. Также на рисунке мы видим кривую 5, которая характеризует поведение чистого красителя R6G, но уже в кювете толщиной 20 мкм, что соответствует истинному свечению данного лазерного красителя. Кривые 2–4 смещены относительно кривой 1, так как введение в раствор наночастиц приводит к тому, что основная часть фотонов вынужденного излучения рождается в объеме меньшей толщины. Однако мы видим, что кривые 2 и 3 незначительно смещены в коротковолновую область относительно кривой 4 для раствора с агломерированными наночастицами Al. Это объясняется тем, что наночастицы TiO_2 и Al_2O_3 в растворах имеют диэлектрическую природу. А работы других авторов говорят нам о том, что на диэлектрических частицах усиление формируется по модели random laser [1]. Это также подтверждается тем, что в сильно рассеивающих средах значительно проявляется эффект реабсорбции, за счет которого длина волны суперленинесценции сдвигается в сторону длинных волн. В случае же с агломерированными наночастицами алюминия эффект реабсорбции проявляется незначительно, так как излучение, зародившееся в самом переднем слое 2-миллиметровой

куветы, имеет значительно большие интенсивности за счет наличия в этой среде наночастиц, обладающих мощными локальными полями.

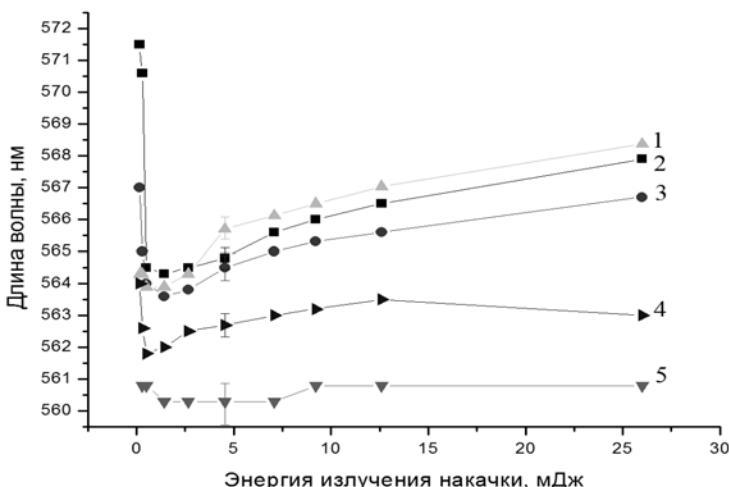


Рис. 1. Зависимости длины волны максимума свечения от энергии излучения накачки: 1 – R6G с концентрацией 10^{-3} в кювете 2 мм; 2 – R6G с наночастицами TiO_2 в кювете 2 мм; 3 – R6G с наночастицами Al_2O_3 в кювете 2 мм; 4 – R6G с наночастицами Al в кювете 2 мм; 5 – истинное свечение R6G с концентрацией 10^{-3} в кювете 20 мкм

Представленные на рис. 2 зависимости показывают в первую очередь то, что пороговые энергии излучения накачки для таких растворов имеют практически неотличимые значения, но при этом интенсивность свечения при фиксированной накачке 4,5 мДж (4,5 мДж – энергия накачки в запороговом режиме для всех исследуемых растворов) значительно больше для растворов с металлическимиnanoструктурами приблизительно в 3 раза. На вставке справа к рис. 2 продемонстрировано, что порог генерации для всех растворов неразличим.

Исходя из этого, мы можем сказать, что использование растворов лазерного красителя с металлическими наночастицами с механизмом усиления, основанным на наличии у таковых локальных полей, является более целесообразным для тонких слоёв. Однако если в работе более важно длительное время работы раствора, то наилучшим вариантом будет использовать наночастицы диэлектрической природы, так как это приводит к увеличению рабочего диапазона, потому что в растворах с металлами при более высоких значениях интенсивности происходит вскипание раствора, что приводит к быстрой его деградации.

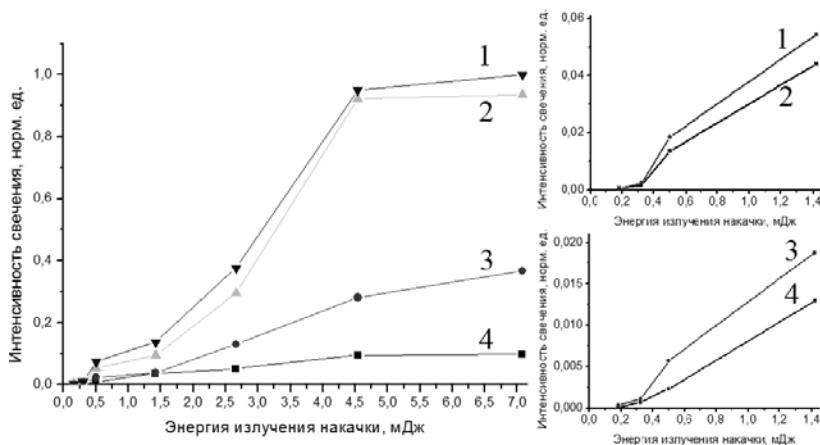


Рис. 2. Спектрально-энергетические характеристики рабочих растворов:

- 1 – R6G с наночастицами Al; 2 – R6G с наночастицами Ag;
3 – R6G с наночастицами Al_2O_3 ; 4 – R6G с наночастицами TiO_2

ЛИТЕРАТУРА

1. Diederik S. Wiersma. The physics and applications of random lasers с Nature Physics // Anal. Chem. 2008. Vol. 4. P. 359–367.
2. Олейников В.А., Первов Н.В., Мчедлишвили Б.В. // Критические технологии. Мембранны. 2004. № 4 (24). Р. 17–28.
3. Донченко В.А., Землянов Ал.А., Кривошеев Н.С., Харенков В.А. Влияние локальных полей вблизи агломерированных наночастиц на эффективность суперлюминесценции в растворах органического красителя // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, №11. С. 999–1002.
4. Fan Shuzhen, Zhang Xingyu, Wang Qingpu, Zhang Chen, Wang Zhengping and Lan Ruijun. Inflection point of the spectral shifts of the random lasing in dye solution with TiO_2 nanoscorerers // J. Phys. D: Appl. Phys. 2008 Vol. 42, №1. P. 42–47.

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА НА ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ, ОБРАЗОВАННОЙ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ДОМЕНАМИ В КРИСТАЛЛАХ LiNbO_3

*Д.К. Кажекенов, Е.В. Осиновская, студенты каф. СВЧиКР;
М.В. Бородин, ст. преподаватель, Т.М. Акылбаев, магистрант, каф. ЭП
г. Томск, ТУСУР, MandelAE@svch.rk.tusur.ru
Проект ГПО СВЧиКР-1505 «Исследование периодических доменных структур в электрооптических кристаллах»*

Периодические доменные структуры в электрооптических кристаллах представляют интерес для реализации эффектов квазисин-

хронного нелинейно оптического взаимодействия и управления параметрами лазерного излучения [1–3]. Дифракция света на такой доменной структуре в линейном режиме является информативным методом испытания ее качества.

В данной работе мы приводим результаты экспериментального исследования дифракции света на периодической доменной структуре в кристалле ниобата лития. Исследуемый кристалл ниобата лития, легированный MgO (LiNbO_3 ; 5% MgO) Z-резца с периодическим чередованием доменных стенок вдоль оси X , был разработан в ООО ЛАБФЕР и предназначен для генерации второй гармоники в лазерах с длиной волны излучения 1064 нм. Период доменной структуры составлял 6,89 мкм. Кристалл имел размеры $10 \times 3 \times 1$ мм вдоль осей X, Y, Z соответственно.

Мы экспериментально исследовали дифракцию световых пучков с длиной волны 655 нм. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

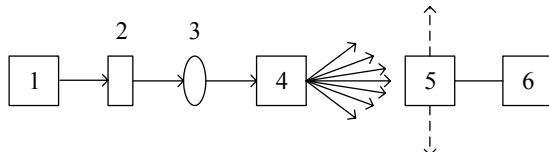


Рис. 1. Схема установки для измерения интенсивности дифракционных порядков: 1 – полупроводниковый лазер ($\lambda_{\text{изл}} = 655$ мкм); 2 – поляроид; 3 – цилиндрическая линза; 4 – кристалл LiNbO_3 ; 5 – передвигающийся фотодиод; 6 – микроамперметр

Излучение лазера формировалось цилиндрической линзой (3) и направлялось вдоль оси Z кристалла LiNbO_3 (4). Поляризация падающего на кристалл излучения задавалась поляроидом (2). Интенсивность света в дифракционных максимумах регистрировалась с помощью фотодиода (5) и подключенному к нему микроамперметру (6).

В экспериментах наблюдалась брэгговская изотропная дифракция со многими максимумами. Результаты измерений интенсивности в дифракционных максимумах для 9 порядков дифракции приведены на рис. 2, 3.

Измеренные углы дифракционных максимумов составляли $5,6^\circ$, $11,2^\circ$, $16,8^\circ$ для первого, второго и третьего дифракционных максимумов соответственно. Это соответствует периоду сформированной в кристалле доменной решетки.

Наличие брэгговских дифракционных порядков выше первого свидетельствует о несинусоидальном профиле решетки [4], созданной в кристалле ниобата лития.

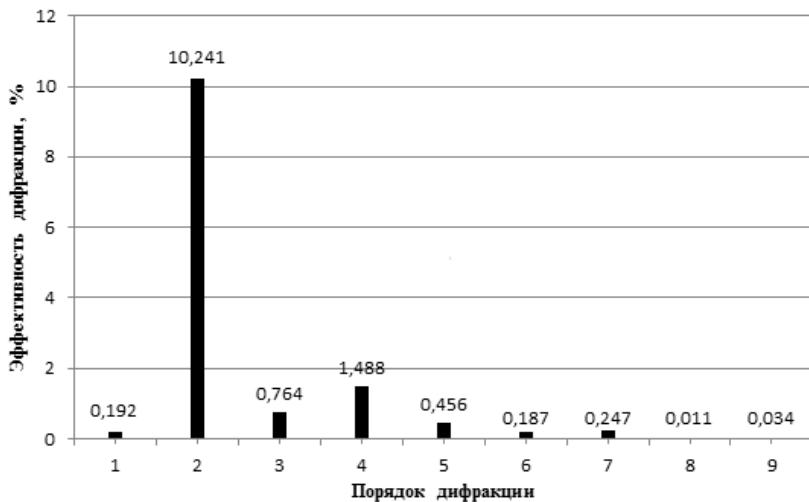


Рис. 2. Распределение эффективности света в дифракционных максимумах.
Свет поляризован вдоль оси X кристалла

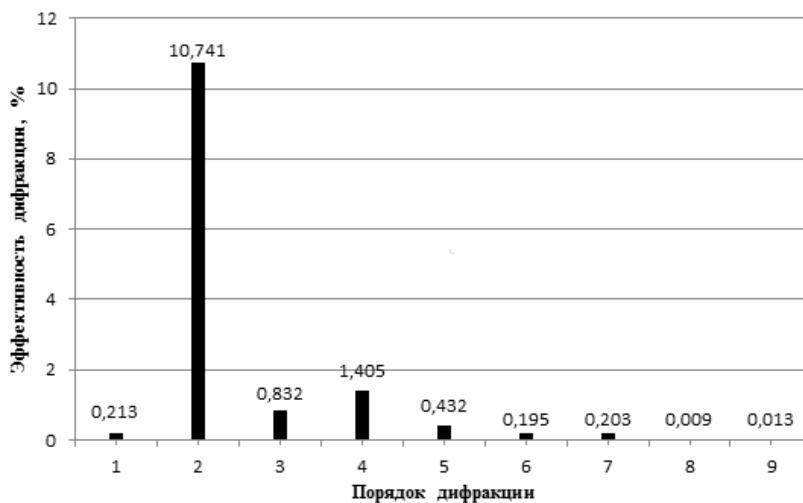


Рис. 3. Распределение эффективности света в дифракционных максимумах.
Свет поляризован вдоль оси Y кристалла

Работа выполнена в рамках проектной части Госзадания Министерства образования и науки РФ на 2015 г. (проект № 878).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Byer R.L.* Quasi-phase-matched nonlinear interactions and devices // *J. Nonlinear Opt. Phys. Mater.* 1997. № 6. 549 p.
2. *Houe M., Townsend P.D.* An introduction to methods of periodic poling for second-harmonic generation // *J. Phys. D: Appl. Phys.* 1995. № 28. P. 1747.
3. *Myers L.I., Eckardt R.C., Fejer C.C. et al.* Quasi-phase-matched optical parametric oscillators in bulk periodically poled LiNbO₃ // *J. Opt. Soc. Am. B.* 1995. № 12. P. 2102.
4. *Александровский А.Л., Глико О.А., Наумова И.И., Прялкин В.И.* Линейная и нелинейная дифракционные решетки в монокристаллах ниобата лития с периодической доменной структурой // Квантовая электроника. 1996. №7. 657 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ ПОСТРОЕНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРА И МОНИТОРИНГА УТЕЧЕК НЕФТЕГАЗОТРУБОПРОВОДОВ

А. С. Киселев, П.А. Рыскаленко, студенты

*Научный руководитель В.И. Ефанов, профессор каф. СВЧиКР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, evi@main.tusur.ru*

Для обеспечения передачи большого объема информации и устойчивой связи вдоль трассы нефтегазотрубопровода в настоящее время широко используются волоконно-оптическая линии связи (ВОЛС). В то же время актуальна задача экологической безопасной эксплуатации трубопроводного транспорта и защиты от несанкционированного доступа (врезок).

Следовательно, необходима надежная инфраструктура непрерывного дистанционного контроля технического состояния трубопроводов с системой обнаружения утечек (СОУ) и охраны, при этом перспективным является использование волоконно-оптических распределённых датчиков.

Целью работы является описание физических принципов работы устройств охраны периметра и СОУ, расчет их основных технических характеристик. Это актуально, так как существует потребность в подготовке высококвалифицированных специалистов для АК «ТРАНСНЕФТЬ» и ОАО «ГАЗПРОМ».

При возникновении утечки происходит образование «теплового пятна», сопровождающегося изменением температуры под действием постоянного перепада давлений. Это явление называется эффектом Джоуля–Томпсона. Скорость и величина изменения напрямую зависят от типа транспортируемой жидкости или газа и объема утечки [1].

Оптическое волокно работоспособно в широком диапазоне температур (от -50 до $+80$ °C), выдерживает напряжение на разрыв выше 75 МПа. Это свойство волокна особенно удобно для измерения температуры.

На рис. 1 схематично представлен спектр рассеянного излучения при прохождении по ОВ узкополосного оптического сигнала [1]. Изменение температуры волокна влияет на спектральные компоненты как Рамановского, так и Бриллюэновского рассеяния в нем.

Полученные данные о величине частотного Бриллюэновского сдвига, несущего информацию о температуре и напряжении в точке рассеяния.

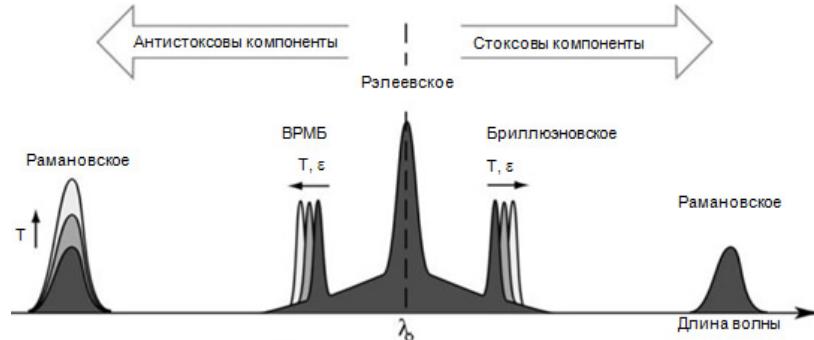


Рис. 1. Компоненты сигнала обратного рассеяния света, генерируемые в процессе распространения в ОВ импульса накачки с длиной волны λ_0

Непрерывное измерение распределения температуры и напряжений вдоль ОК проводится с помощью рефлектометра путем серии измерений. При этом получаем информацию как об амплитуде рассеянного излучения, так и о величине частотного сдвига.

Проведены расчеты величины частотного сдвига в соответствии с [2], при длине волны $\lambda = 1550$ и 1310 нм, для стандартного ООВ (типа SMF28).

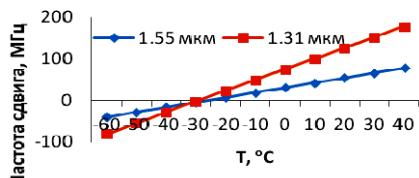


Рис. 2. Сдвиг Бриллюэновской частоты от изменения температуры

Охрана периметра осуществляется с помощью сенсорных свойств ОВ, которые обусловлены тем, что структура световой волны в волокне чрезвычайно восприимчива к внешним воздействиям, которые мо-

гут модулировать амплитуду, фазу, модовый состав (спектр-структуре) или поляризацию волн. В волоконно-оптических сенсорных системах происходит анализ этих характеристик и получение в результате демодуляции и обработки сигнала данных о воздействии на ОВ. Сенсор обнаруживает изменения давления. Важнейшая характеристика таким системам – это дальность обнаружения злоумышленников, определяемая чувствительностью системы.

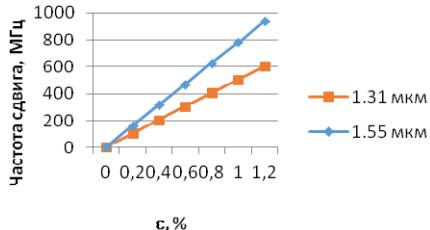


Рис. 3. Сдвиг Бриллюэновской частоты пропорционален изменению натяжения

Нами рассчитано значение относительных потерь мощности излучения (0,27 дБ) от приложенного давления, возникающих из-за изменения геометрии ОВ под действием акустической волны в секторе длиной 1 км. Для идущего человека массой 70 кг и ростом 180 см оказываемое на грунт давление составляет 5 кПа, что вызывает дополнительную временную задержку распространения импульса по ОВ порядка 97 пс.

Таким образом, система позволяет обнаруживать нарушителя.

Подобные сигнальные системы для обнаружения нарушителя могут использоваться для охраны периметров таких объектов как нефтегазотрубопроводы, аэропорты, ядерные реакторы, электростанции, и другие объекты.

Прокладка оптического кабеля в качестве чувствительного элемента возле трубопровода намного проще и дешевле по сравнению с установкой большого количества точечных датчиков, и позволяет реализовать системы обнаружения утечек и осуществлять охрану объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://eee.gubkin.ru/LECTURES_RF_files/LEAKAGE_DETECTION.pdf
2. Цуканов В.Н., Яковлев М.Я. Волоконно-оптическая техника: практическое руководство. М.: Инфра-Инженерия, 2014. 304 с.
3. Введенский Б.С. Волоконно-оптические сенсоры в системах охраны периметра // Мир и безопасность. 2006. №4–5.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА БАЗЕ ОПТИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ КТР

Д.В. Кулаков, магистрант, К.П. Мельник
г. Томск, ТУСУР, каф. ЭП, *Dimcool7@gmail.com*

В лаборатории ТУСУРа, под руководством доцента кафедры ЭП В.И. Быкова разработан и собран комплекс установок по определению оптических параметров, а также дефектов оптических элементов на базе кристаллов КТР. Данный комплекс в итоге позволит составлять технический паспорт для оптических элементов на базе кристаллов. Он проверен на работоспособность и используется для проведения лабораторных работ у студентов кафедры. Стоит отметить, что до конца комплекс еще не отложен, все операции, и процессы на нем проводятся и регистрируются вручную. Данная статья посвящена автоматизации измерительного учебно-исследовательского комплекса.

Комплекс состоит из двух установок, использующих интерферометры Жамена, одна из которых предназначена для определения электрооптического коэффициента оптических элементов, а вторая – для определения дефектов в оптических элементах.

Автоматизация заключается в управлении процессами комплекса, регистрации, обработке, расчете, визуализации экспериментальных данных при помощи ПК. Простой и понятный для рядового пользователя интерфейс. Важной задачей является корректное сохранение данных и описание эксперимента. Также важно впоследствии иметь возможность открыть сохраненные ранее данные для редактирования и последующей работы.

Программное обеспечение (рис. 1) для ПК реализовано на языке программирования Delphi.

На данный момент достигнуты следующие результаты:

- Организовано сопряжение комплекса с ПК.
- Организован удобный и понятный интерфейс.
- Организовано сохранение данных, полученных из проведенных экспериментов.
- Организовано корректное отображение сохраненных ранее данных.
- Реализована визуализация экспериментальных данных.
- Введена расчетная часть экспериментов.

В заключение можно сказать, что на данный момент комплекс в совокупности с программным обеспечением позволяет проводить эксперименты, получать результаты и набирать базу таких экспериментов

для статистики. Стоит отметить, что работа над автоматизацией комплекса продолжается.

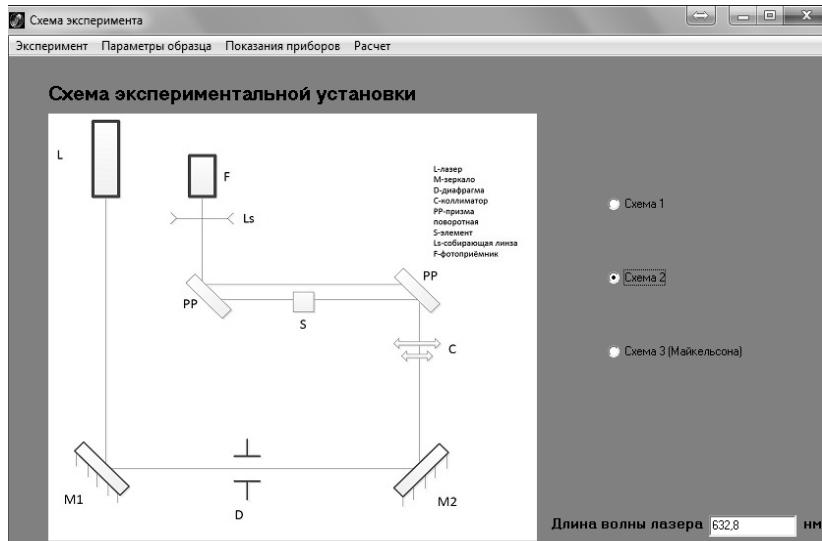


Рис. 1. Главное окно программы по работе с комплексом

ЛИТЕРАТУРА

1. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976.
2. Блистанов А.А. Кристаллы квантовой и нелинейной оптики: учеб. пособие для вузов. М.: МИСИС, 2000. 432 с.
3. Фленов М. Библия Делфи. СПб.: БВХ-Петербург, 2011.

РАСЧЕТ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГЕТЕРОСТРУКТУР С МКЯ В ОПТО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКЕ

А.Н. Моргунов, студент, каф.ЭП

Научный руководитель В.Н. Давыдов, д.ф.-м.н.

г. Томск, ТУСУР, toruk010994@gmail.com

Производство и совершенствование оптоэлектронных приборов на основе гетероструктур (ГС), содержащих множественные квантовые ямы (МКЯ), стимулирует развитие методов их контроля.

Целью данной работы является получение аналитических выражений для определения элементов эквивалентной схемы ГС.

Расчет эквивалентных параметров. Для определения условий, при которых возможно корректное измерение емкостных и резистивных свойств ГС с низкоразмерными объектами, необходима эквивалентная схема (ЭС), на основе которой рассчитывают эквивалентные емкость и сопротивление гетероструктуры с МКЯ. На рис. 1, *a* приведена энергетическая диаграмма ГС с МКЯ. Ее электрические свойства можно описать ЭС, показанной на рис. 1, *б*.

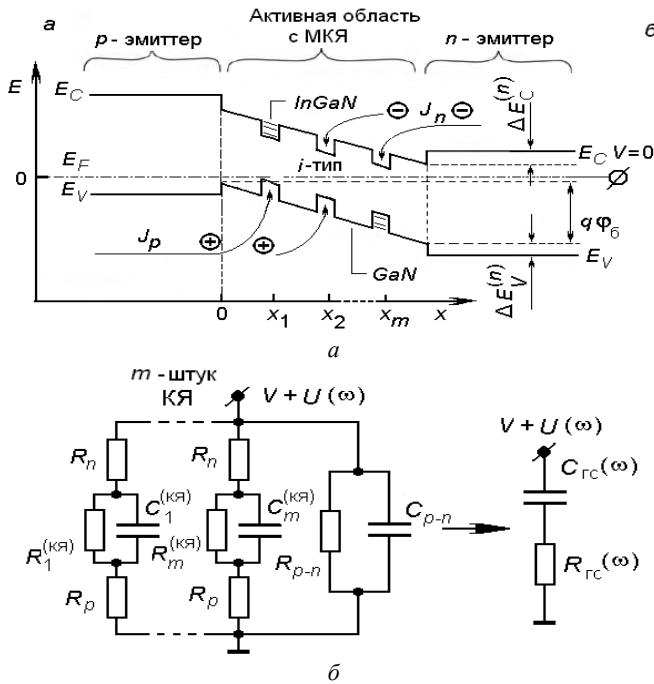


Рис. 1. Энергетическая диаграмма ГС с МКЯ – *а*, и ее ЭС – *б*

Здесь электрические свойства *p-n*-перехода описываются параллельно соединенными емкостью C_{p-n} и сопротивлением R_{p-n} . Свойства и параметры отдельной КЯ описываются параллельными $R_{(КЯ)}C_{(КЯ)}$ -цепями, число которых m равно числу КЯ. Поставка электронов и дырок в КЯ из эмиттеров, изготовленных из широкозонного материала, отражена сопротивлениями R_n и R_p . Пересчет этой эквивалентной схемы в последовательную $R_{rc}C_{rc}$ -цепь, представляющую собой схему замещения импеданса измеряемого двухполюсника, показывает, что эквивалентные емкость и сопротивление ГС будут представлены в виде

$$C_{\Gamma C} = \left[C_{p-n}(V) + C'_{MKY} \right] \cdot \left(\frac{1 + \omega^2 \tau'_{p-n}^2}{\omega^2 \tau'_{p-n}^2} \right),$$

$$R_{\Gamma C} = \begin{cases} R_{p-n} \cdot R'_{MKY} \left[1 + \omega^2 (\tau_{KYa} + \tau_{tj})^2 \right] \\ R_{p-n} + R'_{MKY} \left[1 + \omega^2 (\tau_{KYa} + \tau_{tj})^2 \right] \end{cases} \cdot \left(\frac{1}{1 + \omega^2 \tau'_{p-n}^2} \right). \quad (1)$$

На низких частотах при прямых смещениях с известной точностью полное сопротивление ГС можно рассматривать как параллельно соединенные сопротивления $p-n$ -перехода и КЯ:

$$\frac{1}{R_{\Gamma C}(V)} \approx \frac{1}{R_{p-n}(V)} + \sum_{j=1}^m \left(\frac{1}{R_j^{(KYa)}(V)} \right). \quad (2)$$

Интерпретируя сопротивление ГС как омическое, получим

$$\frac{1}{R_{\Gamma C}(V)} = q\mu_n^{(6)} n_{\Gamma C}^{(R)}(x) \frac{S}{L}, \quad n_{\Gamma C}^{(R)}(x) = \frac{1}{q\mu_n^{(6)}} \frac{L}{S} \cdot \left[\left(\frac{1}{R_{p-n}} \right) + \sum_{j=1}^m \left(\frac{1}{R_j^{(KYa)}} \right) \right]. \quad (3)$$

По идеологии метода профилирования для нахождения профиля параметра необходимо пошаговое изменение напряжения и измерение изменений проводимости ГС. Тогда профиль концентрации носителей заряда будет описываться выражением

$$n_{\Gamma C}^{(R)}(x) = \frac{1}{q\mu_n^{(6)}} \frac{L}{S} \times \left\{ \frac{d}{dV} \left(\frac{1}{R_{p-n}(V)} \right) + \sum_{j=1}^m \left[\frac{q^2 g_s N_c^{(KYa)} S \cdot l_j^{(KYa)}}{kT \tau_l^{(i)}} \cdot \frac{q}{kT} \left(1 + \frac{W-x_j}{W} \right) \cdot \sum_{k=1}^N \left[f_{kj}^{(KYa)} \cdot (1 - f_{kj}^{(KYa)}) \right] \right] \right\}. \quad (4)$$

Выражение (4) показывает, что с помощью резистивного профилирования возможно определение концентрации носителей заряда в ГС с МКЯ. В то же время известен метод емкостного профилирования, для которого необходимы высокочастотные измерения емкости ГС. На высоких частотах вклад в измеряемый параметр дают процессы, протекающие быстрее, чем период тестовых колебаний. Для высоких частот эквивалентная емкость ГС будет равна

$$C_{\Gamma C}(\infty) \approx C_{p-n}(V) + \sum_{j=1}^m C_j^{(KYa)}(V, x_j). \quad (5)$$

Согласно методике емкостной спектроскопии, измерив на высокой частоте емкость ГС с МКЯ $C_{\Gamma C}(V)$, находят профиль концентрации

носителей заряда. Вычислив производные и проведя преобразования, получим, что измеряемый данным методом профиль концентрации носителей заряда $n_{\Gamma C}^{(C)}(x)$ определяется выражением

$$n_{\Gamma C}^{(C)}(x) = \frac{N_d \left[1 + \sum_{j=1}^m \frac{C_j^{(\text{КЯ})}(V)}{C_{p-n}(V)} \right]^3}{1 - \frac{2C_{\max}^{(\text{КЯ})}}{C_{p-n}(V)} \cdot \frac{q(\varphi_0 + V)}{kT} \sum_{j=1}^m \left\{ \left[1 + \frac{W(V) - x_j}{W(V)} \right] \cdot \sum_{k=1}^N \left[f_{kj}^{(\text{КЯ})}(V) \left(1 - f_{kj}^{(\text{КЯ})}(V) \right) \right] \right\}}. \quad (6)$$

Из выражения (6) видно, что концентрация носителей заряда состоит из двух слагаемых: концентрации, обусловленной легированием $p-n$ -перехода, и концентрации в КЯ. Последняя составляющая, ввиду экстремального характера зависимости произведения функций Ферми-Дираха для электронов и дырок, имеет вид пиков в местах нахождения КЯ.

Таким образом, для определения профиля концентрации носителей заряда в ГС с МКЯ можно использовать как результаты низкочастотного измерения эквивалентного сопротивления ГС, так и высокочастотных измерений ее эквивалентной емкости.

Заключение. На основании рассмотрения физических процессов, протекающих в ГС с МКЯ, получены аналитические выражения для элементов, входящих в ЭС гетероструктуры. Показано, что профиль концентрации носителей заряда может быть определен как из емкостных, так и из резистивных свойств ГС с МКЯ. При этом информативность резистивного метода исследования гетероструктур превосходит возможности емкостного метода в силу различных механизмов формирования указанных свойств. Однако измерение и интерпретация резистивных зависимостей ГС оказываются сложнее, чем результатов емкостных измерений.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСИИ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКАНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

Л.М. Назаренко, студентка

*Научный руководитель В.И. Ефанов, профессор каф. СВЧиКР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, evi@mail.tusur.ru*

Волоконно-оптические линии связи – это магистральный путь развития телекоммуникаций на сегодняшний день. Исследования уче-

ных и разработчиков во всем мире направлены на улучшение параметров передаточных характеристик оптических волокон (ОВ).

Возрастание требований к широкополосности и пропускной способности сетей связи приводит к необходимости увеличения скорости передачи с 10 до 100 Гбит/с и выше. Если при малых скоростях передачи на длину участка регенерации определяющим фактором был параметр затухания α (до 6 Гбит/с), то с 10 Гбит/с и выше длину участка регенерации ограничивает хроматическая $D(\lambda)$ и поляризационно-модовая дисперсии.

В настоящее время в мире существует 5 основных фирм: Corning, Fujikura, OFS, Alcatel, Sumitomo, где получены результаты с минимальным затуханием, которое практически достигло теоретических пределов. Примером этого является достижение фирмы Corning – волокно SMF-28® Ultra, имеющее коэффициент затухания $\alpha = 0,156$ Дб/км.

Однако вопросы дисперсии, характеризуемой значением коэффициента хроматической $D(\lambda)$ и поляризационно-модовой дисперсии, при больших скоростях передачи исследованы недостаточно [2].

Цель работы: исследование материальной дисперсии в зависимости от химического состава ОВ и поиск химического состава, обеспечивающий наилучший результат по скорости передачи.

Проведен сравнительный анализ достижений по передаточным характеристикам ОВ последних разработок в соответствии с рек. ITU-T G652-G655, для выявления минимальных значений затухания и хроматической дисперсии. Составлена таблица наилучших достижений основных технических характеристик ОВ (α , $D(\lambda)$) различных фирм-изготовителей.

Хроматическая дисперсия $D(\lambda)$ состоит из материальной $M(\lambda)$ и волноводной составляющих $B(\lambda)$ [1].

Материальная дисперсия обусловлена зависимостью показателя преломления волокна n_1 от длины волны λ , при этом коэффициент материальной дисперсии может быть как положительным, так и отрицательным.

Многие были проведены расчеты величины $M(\lambda)$ (например, рис. 1) в соответствии с дисперсионной формулой Селмейера, которая характеризует спектральную зависимость показателя преломления сердцевины в диапазоне 0,6–2 мкм от различных примесей [2].

В соответствии с результатами расчета всех известных коэффициентов Селмейера сделан выбор материалов, которые могут обеспечивать необходимые значения $M(\lambda)$.

На основе этих данных проведен расчет максимальной скорости передачи на дальности в 100 км и требуемый при этом энергетический

потенциал при заданном значении ширины полосы источника излучения.

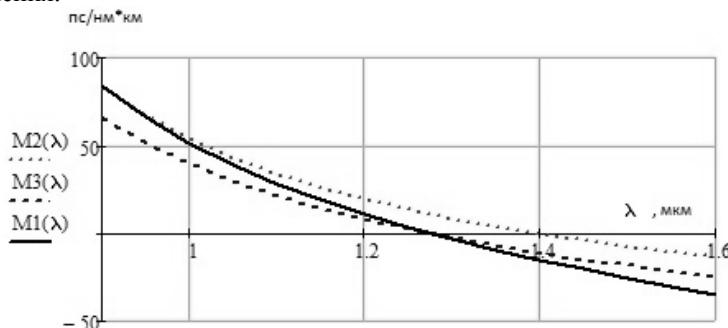


Рис. 1. Зависимости $M(\lambda)$: М3 – чистый кварц;
М2 – с примесью германия; М1 – с примесью бора

Составлена таблица с результатами исследований.

Результаты работы будут внедрены в учебный процесс по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по профилю «Оптические сети и системы связи», по курсу «Оптические направляющие среды» кафедры СВЧиКР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефанов В.И. Оптические и электрические направляющие среды: учеб. пособие / В.И. Ефанов. Томск: Эль Контент, 2013. 306 с.
2. Григорьян А.К. Влияние дисперсионной длины на определение допустимой длины усиительного участка // Т-Comm-телекоммуникации и транспорт. 2012.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРОВ НИОБАТА ЛИТИЯ В ИК-ОБЛАСТИ

Е. Пантелеев, студент

*Научный руководитель В.Д. Паранин,
ассистент каф. наноинженерии, к. ф.-м. н.*

г. Самара, СГАУ им. акад. С.П. Королева (НИУ), mekachiku-san@mail.ru

Целью работы была разработка методики исследования и измерения поглощения, пропускания и отражения в кристалле LiNbO₃ в ИК-диапазоне [1].

В рамках данной работы проводился спектрометрический анализ конгруэнтных кристаллов ниобата лития с x -срезами Санкт-Петербургской фирмы Элан+ толщиной 1,06 мм с размерами 15×15 мм.

Исследования проводились на спектрофотометре японского производителя Shimadzu UV-2450. Прибор позволяет получать спектры пропускания и отражения.

Для эксперимента была выбрана следующая методика: спектр пропускания должен быть получен со спектрофотометра, а интенсивность поглощения и отражения рассчитаны формульно [1].

При отсутствии интерференции в кристалле интенсивность отражения равна

$$R(\lambda) \leq (1 - 2n(\lambda)/(n(\lambda)2+1)) \times 100\%, \quad (1)$$

где $n(\lambda)$ – показатель преломления кристалла. Указанное неравенство получено из условия сложения на фотоприемнике отраженного в кристалле излучения по интенсивности.

Поглощение находится из формулы

$$A(\lambda) = 100\% - R(\lambda) - T(\lambda). \quad (2)$$

Показатель преломления для x - и z -поляризации различные и изменяются согласно формулам:

$$n_z(\lambda) = \sqrt{4,9048 + \frac{0,11768}{\lambda^2 - 0,04750} - 0,027169\lambda^2} \quad (3)$$

для z -поляризации;

$$n_x(\lambda) = \sqrt{4,5820 + \frac{0,099169}{\lambda^2 - 0,04443} - 0,021950\lambda^2} \quad (4)$$

для x -поляризации, где длина волны λ задается в мкм. Поэтому спектральная характеристика снималась для двух случаев поляризации.

Для правильного ориентирования кристалла относительно осей поляризации и устранения интерференции кювет спектрофотометра Shimadzu UV-2450 оснастили поляризаторами, работающими на длине волны 0,4–0,75 мкм. Дальнейшие эксперименты проводились в этом диапазоне длин волн.

Условия эксперимента следующие: скорость сканирования «очень медленная», интервал измерения 0,2 нм, щель 0,5 нм.

В результате эксперимента получили следующее: интенсивность пропускания для случая z -поляризации составляет 72,9–77,53% в измеряемом диапазоне длин волн. В случае x -поляризации интенсивность несколько меньше и составляет 71,8–76,8% в том же диапазоне.

Согласно формулам (1), (3) и (4) были рассчитаны интенсивность отражения для обоих случаев поляризации. При z -поляризации интенсивность отражения в кристалле менялась в диапазоне 29,7–26% и 27,6–24% для обычного показателя преломления.

Используя полученные показатели пропускания и расчетные показатели отражения, по формуле (2) было найдено поглощение в ис-

следуемых кристаллах ниобата лития. Для обоих случаев поглощение получилось некорректным, а именно суммарная интенсивность пропускания и отражения оказалась больше 100%.

Полученные результаты можно объяснить следующим образом.

Во-первых, расчетная формула для отражения не учитывает падение света под некоторым углом. В спектрофотометре Shimadzu UV-2450 свет падает не параллельно, а под некоторым неизвестным углом. Отсюда полученная интенсивность отражения несколько завышена.

Во-вторых, для проверки правдивости показаний спектрофотометра формульно были рассчитаны интенсивности пропускания для 2 показателей преломления. В сравнении с полученными экспериментально они оказались меньше, другими словами, измеренные показатели интенсивности тоже завышены. Возможно, это влияние сходящегося пучка или недостаточного разогрева лампы спектрометра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блистанов А.А. Кристаллы квантовой и нелинейной оптики. М.: МИСИС, 2000. 432 с.

ФОТОПРОВОДИМОСТЬ И ШУМЫ БИНАРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ФОНОВОЙ ЗАСВЕТКИ

А.К. Петрова, студентка каф. ЭП

*Научный руководитель В.Н. Давыдов, профессор каф. ЭП, д.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, akpet25@gmail.com*

*Проект ГПО ЭП-1401 «Фотоиндуцированные изменения свойств
полупроводниковых соединений Al_{II}B_{VI}»
mailto:akpet25@gmail.com*

В настоящее время основное внимание к полупроводниковым соединениям Al_{II}B_{VI} связано с их люминесцентными свойствами и высокой чувствительностью к оптическому излучению. Однако их широкое использование в опто- и наноэлектронике сдерживается слабой изученностью их свойств, в том числе электрических и структурных. Полупроводники Al_{II}B_{VI} имеют специфическую структуру и проявляют нестабильность свойств при их освещении, а бинарность приводит к большому разнообразию физических явлений и свойств. В работе [1] обнаружено резкое уменьшение шумового напряжения фоторезисторов из CdSe при определённом сочетании напряжения смещения и мощности фоновой засветки P_Φ , что представляется весьма полезным как для понимания механизмов формирования свойств соединений

$A^{II}B^{VI}$, так и практического его использования. В данной работе приводится расчет сигнала фотопроводимости $U_{\text{фп}}(V, P_{\text{cb}}, P_{\phi})$ и шумового напряжения $U_{\text{фп}}(V, P_{\text{cb}})$ фоторезистора применительно к бинарным соединениям $A^{II}B^{VI}$ при действии напряжении смещения и фоновой засветки с целью выяснения их роли в формировании электрических свойств фоторезисторов на их основе.

Расчет напряжения фотопроводимости. Рассматривается стандартная схема включения фоторезистора, в которой фоторезистор подключен к источнику постоянного напряжения смещения V через сопротивление нагрузки r . Кроме тестового излучения P_{cb} , на фоторезистор воздействует постоянная засветка мощностью P_{ϕ} . В рамках дифференциального подхода к определению фотоэлектрических и шумовых характеристик наличие фоновой засветки фоторезистора сводится к наличию дополнительного слагаемого в выражении для сигнала фотопроводимости $U_{\text{фп}}$ в отсутствие фона $U_{\text{фп}}(V, P_{\text{cb}})$:

$$U_{\text{фп}}(V, P_{\text{cb}}, P_{\phi}) = U_{\text{фп}}(V, P_{\text{cb}}) + \Delta U_{\text{фп}}(V, P_{\text{cb}}, P_{\phi}), \quad (1)$$

$$\begin{aligned} U_{\text{фп}}(V, P_{\text{cb}}) &= V \cdot \left(\frac{R^0}{R^0 + r} \right)^2 \cdot \left(\frac{\tau_{n,p}}{1 + \omega^2 \tau_{n,p}^2} \right) \cdot A \cdot P_{\text{cb}}, \\ A &= \left(\frac{q\mu_n + q\mu_n}{q\mu_n n_0 + q\mu_p p_0} \right) \cdot \eta_{\text{cb}} \cdot \alpha_{\text{cb}} \cdot T_{\text{cb}} \cdot \frac{\lambda_{\text{cb}}}{Shc}, \end{aligned}$$

где R^0 – темновое сопротивление; A – множитель, учитывающий параметры тестового излучения; $\tau_{n,p}$ – время жизни электронно-дырочной пары. Второе слагаемое в выражении (1) $\Delta U_{\text{фп}}(V, P_{\text{cb}}, P_{\phi})$ есть полный дифференциал напряжения фотопроводимости при действии засветки. Произведя необходимые преобразования с учетом малого уровня фоновой инжекции, получим выражение для $U_{\text{фп}}$ на входе схемы регистрации напряжения фотопроводимости:

$$U_{\text{фп}}(V, P_{\text{cb}}, P_{\phi}) = V \cdot \left(\frac{R^0}{R^0 + r} \right)^2 \cdot \left(\frac{\tau_{n,p}}{1 + \omega^2 \tau_{n,p}^2} \right) \cdot \left[1 - \left(1 + \frac{2R^0}{R^0 + r} \right) \cdot A \cdot B \cdot P_{\phi} \right] \cdot A \cdot P_{\text{cb}}, \quad (2)$$

где B – множитель, учитывающий параметры фонового излучения.

Выражение (2) показывает, что влияние фоновой засветки на сигнал $U_{\text{фп}}$ определяется соотношением сопротивления нагрузки и темнового сопротивления фоторезистора. Основной эффект от засветки –

снижение величины сигнала $U_{\text{ФП}}$ пропорционально мощности засветки. Данное выражение хорошо описывает экспериментально наблюдаемые изменения сигнала $U_{\text{ФП}}$ при действии засветки, позволяя рассчитать напряжение фотопроводимости при заданных условиях освещения как тестовым изучением, так и фоном. Важно, что оно также свидетельствует о сохранении этой зависимости при любых условиях засветки.

Расчет шумового напряжения. При расчете шумового напряжения фоторезистора $U_{\text{ш}}(V, P_{\Phi})$ учитывается, что флуктуация числа носителей заряда вызвана прилипанием и тепловой генерацией–рекомбинацией по Шокли – Риду через примесно-дефектные уровни, а также рекомбинацией неравновесных электронов и дырок, сгенерированных фоновой засветкой. Первая составляющая шумового напряжения, связанная с тепловой генерацией–рекомбинацией носителей заряда может быть найдена вычислением автокорреляционной функцией случайного процесса $U_{\text{ш}}(V, P_{\Phi})$. Воспользовавшись теоремой Винера–Хинчина в рамках модели Мотта–Дэвиса о распределении дефектно-примесных уровней по запрещенной зоне полупроводника, найдем спектральную плотность напряжения шума в виде:

$$U_{\text{ш}}(V, P_{\Phi}) = V \cdot \left(\frac{R^0}{R^0 + r} \right)^2 \left[1 - \left(1 + \frac{2R^0}{R^0 + r} \right) \cdot A \cdot B \cdot P_{\Phi} \right] \times \\ \times \sqrt{\int_0^{\Delta E_g} dE \int_0^{V_0} \left(\frac{4\tau_{n,p}(E)}{1 + \omega^2 \tau_{n,p}^2(E)} \right) \frac{\mu_n^2 \overline{\delta N^2(E)} + \mu_p^2 \overline{\delta P^2(E)}}{\mu_n^2 N_0^2} dV}. \quad (3)$$

С учетом теоремы Лэкса о дисперсии флуктуации полного числа носителей заряда спектральная плотность полного шума фоторезистора в условиях фоновой засветки будет

$$U_{\text{ш}}(V, P_{\Phi}) = \sqrt{U_{\text{ш_др}}(V, P_{\Phi})^2 + 2U_{\text{ш}}^{(1)}(V, P_{\Phi})^2} = \\ = \sqrt{2q^2(\mu_n + \mu_p) \eta \frac{4\sqrt{\varepsilon_S}}{(1 + \sqrt{\varepsilon_S})^2} \frac{\lambda_{\Phi}}{hc L \cdot S} P_{\Phi} + V^2 \cdot \left(\frac{R^0}{R^0 + r} \right)^4 \left[1 - \left(\frac{3R^0 + r}{R^0 + r} \right) A \cdot B \cdot P_{\Phi} \right]^2 \times \\ \times \int_0^{\Delta E_g} dE \int_0^{V_0} \left(\frac{4\tau_{n,p}(E)}{1 + \omega^2 \tau_{n,p}^2(E)} \right) 2 \frac{N_l(E) f_n(1 - f_n)}{N_0^2} \left(\frac{\mu_n^2 + \mu_p^2}{\mu_n^2} \right) dV}. \quad (4)$$

Данное выражение корректно описывает полевую зависимость спектральной плотности шума, но не предсказывает наличие глубоко-го минимума при определенных значениях напряжения смещения и мощности фоновой засветки.

Таким образом, в данной работе получены аналитические выражения для определения напряжения фотопроводимости и спектральной плотности шумового напряжения полупроводникового фоторезистора в условиях совместного действия постоянного напряжения и постоянной фоновой засветки. Из сопоставления аналитических выражений напряжения фотопроводимости и шума при объяснении экспериментально обнаруженного уменьшения шумового напряжения фоторезистора на основе CdSe выдвинута рабочая гипотеза. Центральная идея данной гипотезы заключается в предположении о фотоиндуцированном изменении примесно-дефектных центров (являющихся шумовыми центрами) за счет протекания электрохимических реакций, сопровождающихся разрывом ковалентной связи халькогена и шумового центра за счет захвата неравновесной дырки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Георгобиани А.Н. Физика соединений $A^{II}B^{VI}$ / А.Н. Георгобиани, М.К. Шейкман. М.: Наука, 1986. 320 с.
2. Давыдов В.Н., Мусина И.М., Гребенников А.С. Шумовые свойства фоторезисторов на основе селенида кадмия при фоновой засветке // Изв. вузов. Физика. 2012. Т. 55, №3. С. 90–96.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОПРОПУСКАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ В ВИДИМОМ ДИАПАЗОНЕ

А.В. Пустозеров, студент каф. СВЧиКР

Научный руководитель В.М. Шандаров,

в.н.с. лаб. квантовой радиоэлектроники, д.ф.-м.н.

г. Томск, ТУСУР, extomsk@gmail.com

Исследование светопропускания жидкостей является важной составляющей для анализа состава и чистоты жидкостей в аналитической химии, а также в области охраны окружающей среды и санитарно-эпидемического контроля.

Целью данной работы является исследование амплитудных зависимостей рассеяния света в веществе на макроскопических частицах в различных областях видимого диапазона.

Эксперимент по измерению светопропускания различных жидкостей проводился с помощью экспериментальной установки, представленной на рис. 1.

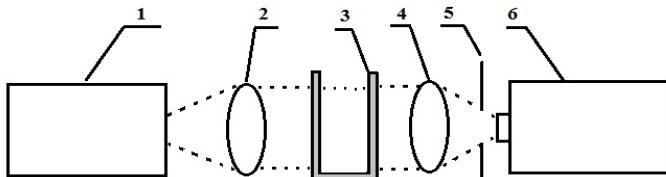


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки: 1 – светодиоды с различными спектрами излучения; 2 – линза-коллиматор; 3 – кювета для исследуемой жидкости; 4 – собирающая линза; 5 – диафрагма; 6 – фотоприемник

В ходе эксперимента выбирается светодиод с необходимой длиной волны и пропускается через оптическую систему, где прошедший свет поступает на фотодиод. В результате эксперимента была получена зависимость тока фотодиода от различных типов жидкости. На рис. 2 показаны нормированные зависимости тока фотодиода от прохождения света в различных условиях.

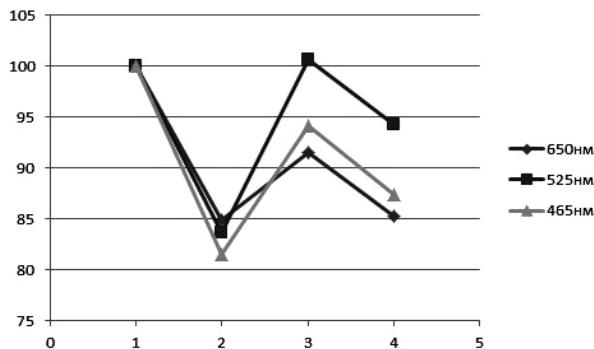


Рис. 2. Нормированный график зависимости тока фотодиода: 1 – без кюветы; 2 – пустая кювета; 3 – чистая вода; 4 – вода с частицами пыли; 5 – слабо окрашенная вода

Из рис. 2 видна зависимость тока фотодиода от длины волны падающего излучения, которая говорит о возможном применении различных областей излучаемого света для различных жидкостей.

Также можно заметить высокую зависимость изменения тока фотодиода от смены среды, через который проходит свет. Это позволяет говорить о возможности изучения данной задачи для газообразных и твердых сред. Широкая область приложения может служить для изучения атмосферно-климатических явлений (оптика облаков, туманов, дождей) [1].

ЛИТЕРАТУРА

- Шифрин К.С. Рассеяние света в мутной среде. Л.: Государственное изд-во научно-технической литературы, 1951. 276 с.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ В НЕЛЕГИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛАХ $\text{Bi}_{12}\text{GEO}_{20}$, ПОДВЕРГНУТЫХ ОТЖИГУ В ВОЗДУШНОЙ АТМОСФЕРЕ

Д.В. Ралко, студентка, Е.С. Худякова, аспирант

*Научный руководитель М.Г. Кистенева, к.ф.-м.н., каф. ЭП ТУСУРа
г. Томск, ТУСУР, каф.ЭП, dari-23@mail.ru*

Проект ГПО ЭП-1203 «Исследование термоиндуцированных явлений в кристаллах силленитов»

Фоторефрактивные и фоточувствительные кристаллы германата $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ и силиката $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ висмута представляют интерес для исследований эффектов динамической голограмии [1]. В работе [2] показано, что отжиг кристаллов $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ в атмосфере воздуха, также как и воздействие излучением из ближнего ИК-диапазона при комнатных температурах, приводят к обратному уменьшению оптического поглощения в четырех широких полосах с максимумами при 570, 700, 760 и 830 нм.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований спектральных зависимостей оптического поглощения в нелегированных кристаллах $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ (BGO), подвергнутых отжигу в воздушной атмосфере при температуре $T_{\text{отж}} = 370$ °C.

В экспериментах использовались образцы нелегированного кристалла BGO с толщиной $d_1 = 10,5$ мм и $d_2 = 1,8$ мм. В ходе эксперимента образцы подвергались нагреву в воздушной атмосфере со скоростью $\sim 1,7$ К/мин до температуры $T_{\text{отж}} = 370$ °C. После достижения заданной температуры кристаллы выдерживались при ней в течение 60 минут, а затем охлаждались естественным образом до комнатной температуры.

Исследования спектральной зависимости оптического пропускания для образца BGO с толщиной $d_1 = 1,8$ мм были проведены на спектрофотометре СФ-2000 в диапазоне 381–600 нм, а для образца BGO с толщиной $d_1 = 10,5$ мм – на спектрофотометре СФ-56 в диапазоне 450–1100 нм. Спектры оптического пропускания для кристаллов BGO регистрировались непосредственно до и после воздействия на кристалл.

На рис. 1 представлены экспериментальные спектральные зависимости коэффициента поглощения $k(\lambda)$ в кристалле BGO с толщиной $d_1 = 1,8$ мм (кривая 1) и в кристалле BGO с толщиной $d_1 = 10,5$ мм (кривая 2). Как видно из рис. 1, в диапазоне длин волн 494–502 нм значения коэффициентов оптического поглощения для обоих образцов BGO имеют близкие значения. Это позволило нам произвести «сшивку» спектральных зависимостей коэффициентов поглощения на длине

волны 496 нм и получить спектральную зависимость коэффициента поглощения в кристалле BGO в спектральном диапазоне 381–1100 нм.

Затем был проведен отжиг кристаллов BGO толщиной 1,8 и 10,5 мм в воздушной атмосфере при температуре $T_{\text{отж}} = 370^{\circ}\text{C}$. Исследование спектральных зависимостей оптического поглощения в отожженных образцах показало, что в диапазоне длин волн 470–500 нм значения коэффициентов поглощения для обоих образцов BGO также имеют близкие значения.

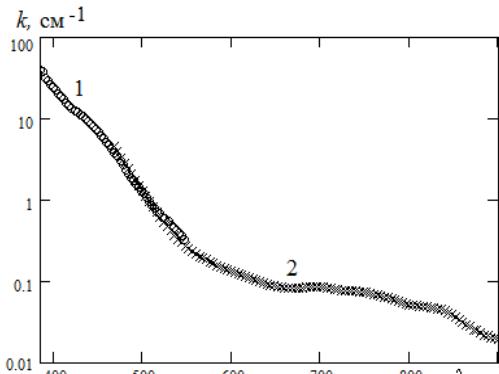


Рис. 1. Спектральные зависимости оптического поглощения в нелегированных кристаллах $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$: 1 – BGO ($d_2 = 1,8$ мм) для спектрофотометра СФ-2000; 2 – BGO ($d_1 = 10,5$ мм) для спектрофотометра СФ-56

«Сшивка» спектральных зависимостей оптического поглощения отожженных образцов была проведена на длине волны 500 нм.

Получено, что отжиг кристалла BGO

приводит к его просветлению в спектральной области $\lambda = 465\text{--}1000$ нм. На рис. 2 представлена спектральная зависимость наведенных изменений в поглощении $\Delta k(\lambda)$, полученная вычитанием из коэффициента поглощения кристалла в исходном состоянии его значений после отжига. Вычитание проводилось для «сшитых» зависимостей коэффициента поглощения. Эта зависимость имеет резонансный характер. В этом спектре можно выделить четыре полосы с экстремумами при $\lambda_e = 560, 700, 750$ и 830 нм, проявляющиеся в результате отжига. Максимальное изменение оптического поглощения Δk_m при температуре отжига 370°C , зафиксированное на длине волн 560 нм, составило $\sim 0,09 \text{ см}^{-1}$. Значение коэффициента поглощения до отжига на этой длине волны имело величину $\sim 0,21 \text{ см}^{-1}$.

Спектральные зависимости оптического поглощения были аппроксимированы в рамках модели, учитывающей вклад в примесное поглощение как процессов фотовозбуждения электронов в зону проводимости с глубоких донорных центров с нормальным законом распределения концентраций по энергии ионизации [3], так и внутрицентровых переходов со спектральными характеристиками в виде функций Гаусса [2].

При расчетах учитывались пять внутрицентровых переходов, с максимумами при энергиях кванта, равных 1,50; 1,60; 1,76; 2,12 и 2,40 эВ, а также переходы электронов в зону проводимости с четырех глубоких донорных центров со средними энергиями ионизации 1,13; 1,43; 1,96 и 2,77 эВ. Рассчитанная в результате подгонки под экспериментальные данные спектральная зависимость $\Delta k(\lambda)$ для кристалла $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ представлена сплошной кривой на рис. 2.

Согласно численной аппроксимации получено, что отжиг в воздушной атмосфере приводит к уменьшению вклада всех внутрицентровых переходов и уменьшению заполнения электронами центров с энергией ионизации 1,13 и 1,96 эВ.

Работа выполнена в рамках задания Минобрнауки РФ № 2014/225 (проект № 2491) и НИР по проектной части госзадания № 3.878.2014/ИК.

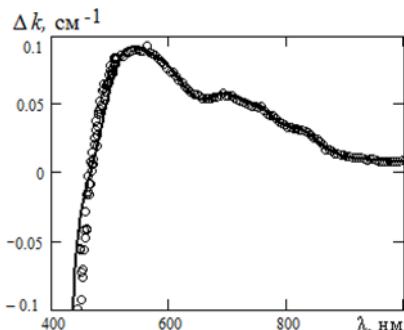


Рис. 2. Экспериментальные и расчетные спектральные зависимости изменений в оптическом поглощении в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ после отжига в воздушной атмосфере при температуре 370 °C. Кружки – экспериментальные данные, сплошные линии – расчетная зависимость

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. СПб.: Наука, 1992. 320 с.
2. Kisteneva M.G., Akrestina A.S., Shandarov S.M. et al. // J. Holography and Speckle. 2009. Vol. 5, №3. P. 280–285.
3. Толстик А.Л., Матусевич А.Ю., Кистенева М.Г. и др. // Квантовая электроника. 2007. Т. 37, № 11. С. 1027–1032.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ И СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП

Ю.В. Ряполова, магистрантка каф.ЭП,

К.Н. Афонин, студент каф. РЭТЭМ,

В.С. Солдаткин, ст. преподаватель каф. РЭТЭМ, к.т.н.

Научный руководитель В.И. Туев, зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, tvi_retem@mail.tusur.ru

В производстве полупроводниковых приборов никак не обойтись без создания электрических соединений между различными элементами.

ми. Трудоемкость операций формирования межсоединений остается определяющей в процессе производства изделий микроэлектроники и составляет от 30 до 60% всей трудоемкости сборки [1]. Наиболее распространенный на сегодняшний день способ соединения микрокомпонентов – это микросварка.

Целью данной работы является определение метода микросварки и определение оптимальных режимов разварки нитридных кристаллов для светодиодного излучающего элемента. Из цели вытекают следующие задачи:

- а) исследование метода выполнения микросварного соединения;
- б) выполнение соединений электрических контактов нитридных кристаллов с контактами основания при разных режимах сварки;
- в) проверка сварных соединений на прочность;
- г) оценка влияния выбранных режимов сварки на нитридный кристалл.

В работе рассмотрены три основных метода микросварки: термокомпрессионная (ТКС), термозвуковая (ТЗС), ультразвуковая (УЗС), а также 2 способа соединения – «шарик-клип» и «клип-клип».

При использовании ТКС происходит одновременное воздействие температуры и давления. Контактная площадка нагревается приблизительно до 300 °C, тем самым увеличивая пластичность металла при соприкосновении электрода с площадкой. УЗС происходит без дополнительного нагрева, при помощи ультразвуковой энергии, которая нарушает кристаллическую структуру металла, вследствие чего он деформируется при низком усилии прижима, временно становится мягким и пластичным, обеспечивая соединение. Процесс ТЗС проходит под совместным действием температуры, давления и ультразвуковых (УЗ) колебаний. Рабочая область нагревается в среднем от 100 до 150 °C, время образования сварного соединения лежит в пределах 20–200 мс. Особенно эффективно применение ТЗС для приварки проволоки к контактным площадкам разного металла [2].

Наибольшее распространение среди методов соединения микропроводников получили ТЗС и УЗС проволокой диаметром 20–75 мкм. Это связано с большей производительностью этих методов и, в сравнении с ТКС, использованием более низких температур нагрева рабочей области. На данном этапе было принято решение использовать ТЗС с образованием шарика. Получающиеся контакты пластичны, обладают хорошей тепло- и электропроводностью и низким омическим сопротивлением при контакте с металлическими пленками. Диаметр проволоки составляет 30 мкм. Такой размер был выбран исходя из того, что размер соединения не должен превышать $\frac{3}{4}$ площади контакт-

ной площадки кристалла (100 мкм). При этом размер образующегося шарика приблизительно равен 2–3 диаметрам проволоки.

Выполнение исследований производилось на установке iBond5000 Dual фирмы Kulicke&Soffa. Такая установка позволяет выполнять соединения проволочных выводов типа «шарик-клип» и «клип-клип». Нами была выполнена разварка «шарик-клип» на нитридных кристаллах синего свечения.

Качественная проверка сварных соединений осуществлялась визуально и методом натяжения. Визуально соединения проверялись на отсутствие трещин и отслоений. По методу натяжения проволока натягивалась с помощью граммометра. Прочность сварного соединения на отрыв составила не менее 3 г, что соответствует рекомендациям ОСТ 11 073.013–83 [3].

Для нитридных кристаллов важно подобрать оптимальный режим сварки, так как УЗ ускоряет процесс появления безызлучательной рекомбинации, что приводит к потере до 50% светового потока после 10–15 тыс. часов наработки [4]. Поэтому правильно выбранный режим сдвигает процессы рекомбинации к 25–30 тыс. часов наработки и характеристики кристаллов будут соответствовать заявленным.

Исследование влияний различных режимов сварки на нитридные кристаллы проводилось с помощью измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ). Среднее значение результатов измерений для кристаллов представлено на графике (рис. 1).

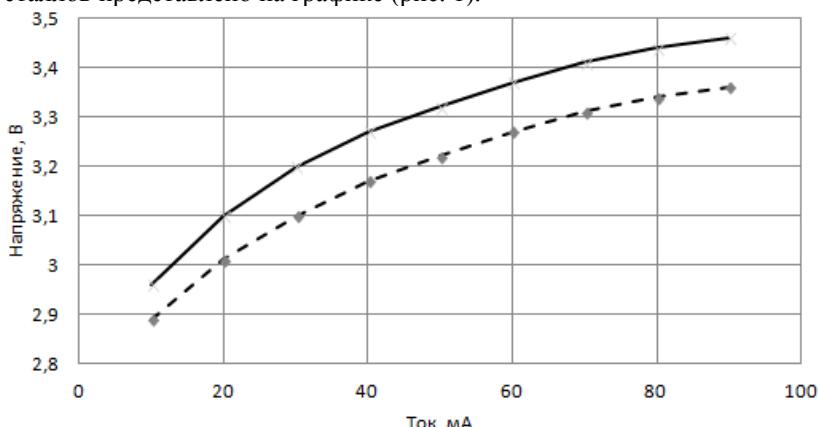


Рис. 1. ВАХ нитридного кристалла

Определялось изменение характеристик до (пунктир на графике) и после проведения термозвуковой сварки. Они показывают, каким образом параметры сварки, а именно мощность ультразвука, время и

усиление прижима сварного инструмента (капилляра), изменили ВАХ кристалла. Например, при одинаковом токе в некоторых случаях увеличилось напряжение на кристалле после процесса микросварки.

Таким образом, в результате проделанной работы был выбран метод создания электрических соединений для микрокомпонентов, выбраны оптимальные параметры сварки: мощность ультразвука, время и усилие прижима сварного инструмента. Дальнейшим шагом в нашей работе станет отработка режимов при параметрах, наименее изменяющих характеристики кристалла.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проекта RFMEF157714X0061.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ланин В., Петухов И., Швецов В. Ультразвуковое оборудование для сварки микропроводников // Компоненты и технологии. 2009. №8. С. 124–128.
2. Кудряшов И. Технология микросварки проволочных выводов // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. 2007. №5. С. 1–6.
3. Шмаков М., Теплякова Е., Паршин В. Технология термозвуковой микросварки методом «шарик-клин-шарик» и контроль микросварных соединений // Технологии в электронной промышленности. 2007. №7. С. 70–72.
4. Никифоров С. Г., Архипов А.Л. Метод исследования деградации излучающих свойств материалов на основе InGaN с помощью прецизионных измерений светового потока // Нитриды галлия, индия и алюминия – структуры и приборы. СПб., 2008. 104 с.

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЛАЗЕРНОГО ГАЗОАНАЛИЗА МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

С.А. Садовников, магистрант каф. ЭП,

С.В. Яковлев, н.с. каф. ПЛМ, ИОА СО РАН, к.ф.-м.н.

Научный руководитель О.А. Романовский, заведующий НОЦ, д.ф.-м.н.

г. Томск, Институт оптики атмосферы СО РАН,

Томский государственный университет, roa@iao.ru

Дистанционный лазерный газоанализ является неотъемлемой частью комплексного подхода по контролю состояния окружающей среды, в частности – газовых загрязнений атмосферы. Метод дифференциального поглощения (МДП) состоит в том, что информация о концентрации исследуемого газа атмосферы извлекается из сравнения двух регистрируемых лазерных сигналов в достаточно узком спек-

тральном диапазоне длин волн, одна из которых расположена в полосе поглощения газа, а вторая лежит в области или слабого, или полного отсутствия поглощения [1].

Необходимость разработки автоматизированной системы моделирования обусловлена следующими проблемами: высокая трудоёмкость расчётов, большие временные затраты на проведение моделирования, человеческий фактор.

На сегодняшний день проводятся исследования возможностей криогенного обертонного СО-лазера [2] применительно к лидарному газоанализу методом дифференциального поглощения [3]. Используя функционал программного модуля можно решать следующие (актуальные в свете указанных выше исследований) задачи: моделирование квадрата пропускания для отдельных газовых составляющих атмосферы на основе базы данных HITRAN, расчёт эффективного коэффициента поглощения для лазерных источников с Гауссовым распределением интенсивности излучения в пучке, поиск информативных для газоанализа линий лазерного излучения (рис. 1).

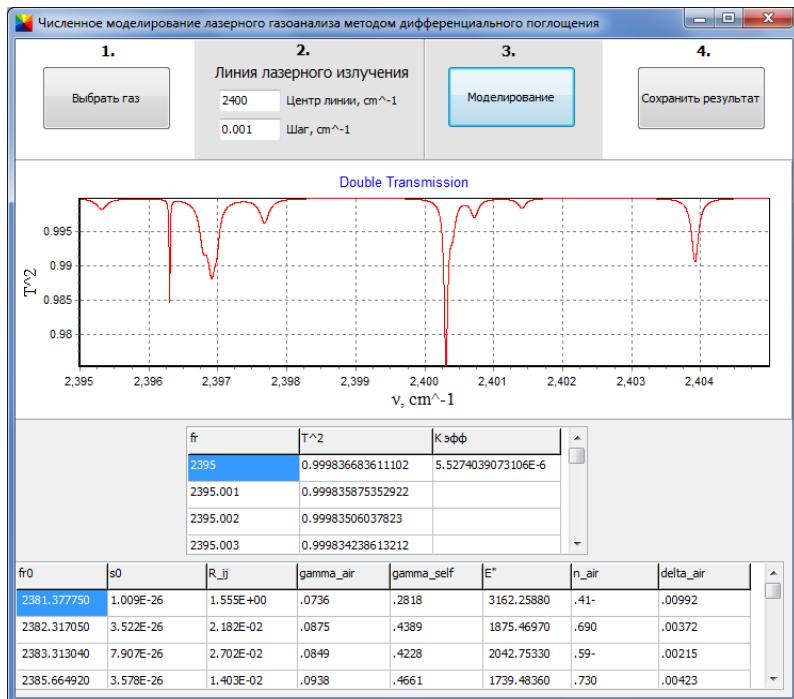


Рис. 1. Внешний вид программного модуля

В настоящее время проводятся работы по расширению функциональных возможностей программного модуля: моделирование пропускания газовых смесей и лидарных эхо-сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козинцев В.И., Орлов В.М., Белов М.Л. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды: учеб. пособие для вузов. Под ред. В.Н. Рождествина. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. С. 70–71.
2. Басов Н.Г., Ионин А.А., Котков А.А. и др. Импульсный лазер на первом колебательном обертоне молекулы CO, действующий в спектральном диапазоне 2,5–4,2 мкм // Квантовая электроника. 2000. Т. 30, № 9. С. 771–782.
3. Ionin A.A., Klimachev Yu.M., Kozlov A.Yu. et al. Remote Sensing of Nitrous Oxide and Methane Using Emission Lines of a CO Overtone Laser // Journal of applied spectroscopy. 2014. Vol. 81. №. 2. С. 309–312.

ВЛИЯНИЕ ПЛАВНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ УПРАВЛЯЮЩЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ДИФРАКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОННЫХ ФПМ-ЖК СТРУКТУР

К.В. Волченко, В.О. Долгирев, А.В. Куркин, студенты,

А.О. Семкин, аспирант каф. СВЧиКР

*Научный руководитель С.Н. Шаранович, к.ф.-м.н., зав. каф. СВЧиКР
г. Томск, ТУСУР, a.o.semkin@gmail.com*

Голографические фотонные структуры (ГФС), сформированные в фотополимерно-жидкокристаллических (ФПМ-ЖК) материалах, в настоящее время представляют большой практический интерес.

Их формирование обусловлено фотоиндуцированным разделением жидкокристаллической и фотополимерной составляющих композиции вследствие фотополимеризационного и диффузионного процессов [1–3]. При этом оптическими свойствами сформированной периодической фотонной структуры можно управлять путем воздействия внешнего электрического поля [4]. Ранее было показано влияние пространственной неоднородности управляющего электрического поля на дифракционные характеристики ГФС, сформированных в ФПМ-ЖК с высокой концентрацией молекул жидкого кристалла [5, 6].

Целью данной работы является развитие теоретической модели [6] для случая влияния плавной пространственной неоднородности управляющего поля, формируемой особой конфигурацией электродной структуры, на дифракционные характеристики фотонных ФПМ-ЖК-структур.

Рассмотрим двумерную дифракцию Брэгга необыкновенных волн на ГФС при воздействии внешнего пространственно неоднородного электрического поля. В этом случае амплитуды взаимодействующих волн могут быть найдены путем решения системы уравнений связанных волн (УСВ) [7]:

$$\mathbf{N}_{r0}^e \cdot \nabla E_0^e(\mathbf{r}) = -iC_1^e(\mathbf{r})E_1^e(\mathbf{r})\exp(+i\Theta(\mathbf{r})), \quad (1)$$

$$\mathbf{N}_{r1}^e \cdot \nabla E_1^e(\mathbf{r}) = -iC_0^e(\mathbf{r})E_0^e(\mathbf{r})\exp(-i\Theta(\mathbf{r})), \quad (2)$$

где $C_0^e(\mathbf{r}) = \frac{1}{4} \frac{\omega}{c_c n_0^e} \mathbf{e}_1^e(\mathbf{r}) \cdot \Delta\hat{\epsilon} \cdot \mathbf{e}_0^e(\mathbf{r})$ – локальные коэффициенты связи;

$\mathbf{e}_i^e(\mathbf{r})$ – векторы поляризации; $i = 0, 1$ – порядок дифракции; $\Delta\hat{\epsilon}$ – возмущение диэлектрической проницаемости образца, характеризующее периодическую неоднородность оптических свойств ГФС; $\mathbf{N}_{r0,1}^e$ – групповые нормали; c_c – скорость света; $\Theta(\mathbf{r})$ – параметр интегральной фазовой расстройки, определяющий влияние пространственной неоднородности управляющего электрического поля на условия дифракции световых волн.

Решая УСВ (1), (2) в оптически неоднородной среде в приближении заданного поля [7], представим распределение амплитуды дифракционного светового поля по угловому спектру (УС):

$$E_d(\theta, E) = E_p(\theta)T_d(\Delta, E), \quad (3)$$

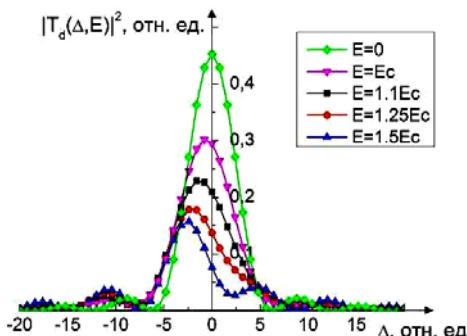
где введена передаточная функция (ПФ) ГФС

$$T_d(\Delta, E) = \frac{1}{d} \cdot \int_0^d C(\mathbf{r}) \cdot \exp\left[i \cdot \left(\Delta \frac{y}{d} + \Theta(\mathbf{r})\right)\right] dy, \quad (4)$$

$E_p(\theta)$ – УС падающего светового поля; $C(y, E)$ – амплитудный коэффициент связи [7]; $\Delta = f(\delta\theta)$ – относительная фазовая расстройка; $\delta\theta = \theta - \theta_0$ – отклонение от угла Брэгга θ_0 , угол θ характеризует направление плосковолновых компонент УС $E_d(\theta, E)$ относительно волновых нормалей \mathbf{N}_d световых пучков.

На рис. 1 приведены результаты моделирования передаточной функции ГФС в зависимости от величины внешнего воздействия по выражению (4).

Из анализа рис. 1 видно, что заданная пространственная неоднородность внешнего электрического поля приводит к более плавному сдвигу дифракционной характеристики в сравнении с [5, 6]. Таким образом, путем подбора функции пространственной неоднородности



управляющего поля можно получить необходимый для практических применений вид передаточной функции фотонной структуры.

Рис. 1. Результаты моделирования передаточной функции ГФС при воздействии пространственно неоднородного управляющего напряжения

Развитая в работе аналитическая модель описывает взаимодействие световых пучков с голограммическими фотонными ФПМ-ЖК-структурой при воздействии на них плавно неоднородного управляющего поля. Полученная модель может быть использована для анализа воздействия на ГФС в ФПМ-ЖК электрического поля произвольной пространственной неоднородности.

Работа выполнена в рамках базовой части Госзадания Минобрнауки РФ на 2015 г. (проект №3642).

ЛИТЕРАТУРА

1. Dovolnov E.A, Sharangovich S.N. Analysis of dynamics of holographic grating formation with inharmonic spatial distribution in photopolymer + liquid crystal compounds // Proc. of SPIE. 2005. Vol. 6023. Article CID Number 602301. P. 1–8.
2. Довольнов Е.А., Шарангович С.Н. Нелинейная модель записи и считывания голограммических дифракционных решеток пропускающего типа в поглощающих фотополимерах // Изв. вузов. Физика. 2005. Т. 48, №5. С. 56–63.
3. Довольнов Е.А., Шарангович С.Н. Нелинейная модель записи и считывания голограммических дифракционных решеток пропускающего типа в поглощающих фотополимерах // Изв. вузов. Физика. 2005. Т. 48, №7. С. 85–92.
4. Сонин А.С. Введение в физику жидкких кристаллов. М.: Наука, 1983.
5. Семкин А.О., Шарангович С.Н. Взаимодействие световых пучков с голограммическими фотонными ФПМ-ЖК-структурой при неоднородном управляющем электрическом поле // Изв. вузов. Физика. 2013. Т. 56, № 9/2. С. 21–24.
6. Семкин А.О., Шарангович С.Н. Дифракционные характеристики фотонных ФПМ-ЖК структур при сложной дискретной пространственной неоднородности управляющего поля // Доклады ТУСУРа. 2014. № 1(31). С. 136–140.
7. Устюжсанин С.В., Шарангович С.Н. Аналитическая модель дифракции световых пучков на неоднородных электрически управляемых одномерных пропускающих фотонных ФПМ-ЖК-структурах // Изв. вузов. Физика. 2011. Т. 54, №2. С. 41–47.

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ
ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ФОТОННЫХ
СТРУКТУР В КАПСУЛИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОМ
ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ**

Д.И. Малышева, О.В. Незнанова, Д.И. Сон, С.И. Сон, студенты,

А.О. Семкин, аспирант каф. СВЧиКР

**Научный руководитель С.Н. Шарангович, к.ф.-м.н., зав. каф. СВЧиКР
г. Томск, ТУСУР, a.o.semkin@gmail.com**

В настоящее время капсулированные полимером жидкие кристаллы (КПЖК), представляющие собой смесь фотополимеризующейся композиции и растворенных в ней капсул (капель) нематического жидкого кристалла (НЖК) [1, 2], представляют большой интерес с точки зрения реализации динамически управляемых оптических элементов.

Ранее [2] была экспериментально показана возможность записи голограммических поляризационных фотонных структур (ГПФС) в КПЖК методами поляризационной голографии [3]. Целью данной работы является разработка теоретической модели формирования поляризационных фотонных структур в КПЖК.

Формирование ГПФС в КПЖК обусловлено фотоиндуцированной периодической пространственной неоднородностью оптической анизотропии, возникающей при наложении в плоскости образца КПЖК двух плоских когерентных волн, поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях. В основе данного процесса лежит фотоиндуцированный переход Фредерикса [4].

Рассмотрим падение двух плоских когерентных линейно поляризованных монохроматических световых волн на границу раздела сред КПЖК–воздух. Для описания поляризационных характеристик суммарного оптического поля аналогично [5, 6] представим записывающие пучки соответствующими векторами Джонса $J_j(\mathbf{r})$; \mathbf{r} – радиус-вектор; $j = 0, 1$ – номер пучка. Тогда вектор Джонса результирующей волны будет иметь вид: $J(\mathbf{r}) = J_0(\mathbf{r}) + J_1(\mathbf{r})$. Распределение азимута $\psi(\mathbf{r})$ и эллиптичности $\rho(\mathbf{r})$ результирующего поля можно определить по выражениям:

$$\psi(\mathbf{r}) = \frac{1}{2} \cdot \operatorname{arctg} \left(\frac{2 \cdot \operatorname{Re}[\mu(\mathbf{r})]}{1 - |\mu(\mathbf{r})|^2} \right), \quad (1)$$

$$\rho(\mathbf{r})^2 = \frac{1 - \left[1 + 4 \cdot \text{Im}^2 \mu(\mathbf{r}) / \left(1 - |\mu(\mathbf{r})|^2 \right)^2 \right]^{0,5}}{1 + \left[1 + 4 \cdot \text{Im}^2 \mu(\mathbf{r}) / \left(1 - |\mu(\mathbf{r})|^2 \right)^2 \right]^{0,5}}, \quad (2)$$

где $\mu(\mathbf{r}) = J^e(\mathbf{r}) / J^o(\mathbf{r})$ – фазор; $J^o(\mathbf{r})$, $J^e(\mathbf{r})$ – составляющие вектора Джонса результирующей волны, соответствующие собственным волнам в ФПМ-ЖК.

Результирующий локальный угол поворота капли НЖК под действием электрического поля световой волны будет определяться энергией поверхностного сцепления капсулы и полимера [7,8]:

$$\varphi(\mathbf{r}) = \psi(\mathbf{r}) + \frac{1}{2} \cdot \text{arctg} \left[\frac{\sin[2\vartheta_0(\mathbf{r})]}{e^2 + \cos[2\vartheta_0(\mathbf{r})]} \right], \quad (3)$$

где $\vartheta_0(\mathbf{r}) = \varphi_0 - \psi(\mathbf{r})$ – угол между вектором электрической напряженности световой волны \mathbf{E} и направлением преимущественной ориентации директора ЖК в капсуле до процесса записи; $e = |\mathbf{E}| R \sqrt{\Delta\epsilon / K(5,7\delta^2 + 2,1\lambda)}$ – параметр, характеризующий действие электрического поля на биполярную каплю НЖК, остальные обозначения приведены в [8].

Решая уравнение (3) относительно $\varphi(\mathbf{r})$, можно записать выражение для возмущенного тензора диэлектрической проницаемости КПЖК [1, 7, 8]:

$$\langle \Delta\hat{\epsilon}_{lc}(\mathbf{r}) \rangle = -\Delta\epsilon \int_{-1}^1 \int_0^\pi \mathbf{C}(\mathbf{r}) \mathbf{C}(\mathbf{r}) p(\alpha) q(\varphi) d\alpha d\varphi, \quad (4)$$

где $\langle \Delta\hat{\epsilon}_{lc}(\mathbf{r}) \rangle$ – статистически усредненное изменение тензора диэлектрической проницаемости жидкокристаллической компоненты образца; $\Delta\epsilon = \epsilon_e - \epsilon_o$; ϵ_o , ϵ_e – компоненты невозмущенного тензора диэлектрической проницаемости образца, измеренные при продольной и поперечной ориентации директора НЖК соответственно; $\mathbf{C}(\mathbf{r})$ – пространственное распределение директора жидкого кристалла, обусловленное процессом записи; $\langle \dots \rangle$ означает статистическое усреднение.

В выражении (4) введены гауссовые функции распределения директора в капсуле [1, 7]:

$$p(\alpha) = A \exp \left[-(\alpha - \bar{\alpha})^2 / 2\sigma_\alpha^2 \right], \quad q(\varphi) = B \exp \left[-(\varphi - \bar{\varphi})^2 / 2\sigma_\varphi^2 \right], \quad (5)$$

где $\bar{\alpha}$, $\bar{\varphi}$ – средние значения; σ_α , σ_φ – среднеквадратичные отклонения.

Пространственное распределение возмущения тензора диэлектрической проницаемости $\langle \Delta\hat{\varepsilon}_{lc}(\mathbf{r}) \rangle$ (4) может быть представлено в виде ряда Фурье по пространственным гармоникам решеток как

$$\langle \Delta\hat{\varepsilon}_{lc}(\mathbf{r}) \rangle = \sum_{i=0}^N \langle \Delta\hat{\varepsilon}_i^{lc} \rangle \cos(\mathbf{K}_i \cdot \mathbf{r}), \quad (6)$$

где $\mathbf{K}_i = i \cdot \mathbf{K}$, $\langle \Delta\hat{\varepsilon}_i^{lc} \rangle$ – векторы решеток и амплитуды пространственных гармоник: $\langle \Delta\hat{\varepsilon}_i^{lc} \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \langle \Delta\hat{\varepsilon}_{lc}(\mathbf{r}) \rangle \cos(\mathbf{K}_i \cdot \mathbf{r}) d(\mathbf{K}_i \cdot \mathbf{r})$.

На рис. 1, *a* приведены результаты моделирования угла поворота директора капли НЖК под действием электрического поля световой волны по выражению (3). На рис. 1, *б* приведены амплитуды гармоник компоненты $\langle \Delta\hat{\varepsilon}_i^{lc} \rangle_{1,1}$ тензора диэлектрической проницаемости, вычисленные по выражению (6).

Из анализа рис. 1, *a* видно, что распределение угла поворота капель НЖК в образце носит периодический ангармонический характер. Анализ тензора диэлектрической проницаемости (рис. 1, *б*), показывает сложный гармонический состав пространственного распределения диэлектрической проницаемости образца.

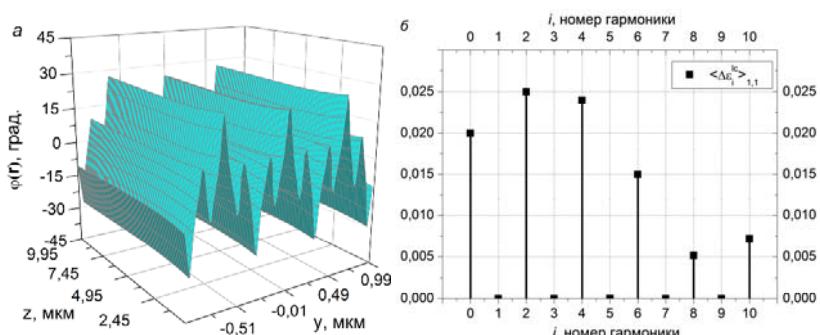


Рис. 1. Результаты моделирования угла поворота директора капли НЖК (*а*) и амплитуды гармоник диэлектрического тензора образца (*б*)

Таким образом, в работе развита теоретическая модель голографического формирования поляризационных неоднородных фотонных структур в КПЖК линейно ортогонально поляризованными световыми

пучками, характеризуемая квазипериодическим изменением тензора диэлектрической проницаемости вследствие формирования спектра пространственных гармоник.

Работа выполнена в рамках проектной части Госзадания Минобрнауки РФ на 2015 г. (проект №878).

ЛИТЕРАТУРА

1. Довольнов Е.А., Шаранович С.Н. Дифракция световых пучков на неоднородной ФПМ-ЖК голограммической структуре с учетом статистики ЖК-молекул // Изв. вузов. Физика. 2008. Т. 51, №9/3. С. 171–172.
2. Жаркова Г.М., Петров А.П., Стрельцов С.А., Хачатуров В.М. Поляризационные голограммические решетки в жидкокристаллических композитах // Вестник НГУ. Сер. Физика. 2012. Т. 7, №2. С. 5–14.
3. Какичашвили Ш.Д. Поляризационная голограмма // Успехи физических наук. 1978. Т. 126, №4. С. 681–683.
4. Zel'dovich B.Ya. Tabiryan N.V. Theory of optically induced Freedericksz transition (OFT) // Sov. Phys. JETP. 1982. Vol. 55, №4. P. 656–666.
5. Semkin A.O. Sharangovich S.N. Holographic formation of the polarization gratings in PDLC under light-induced absorption // Proceedings of APCOM 2014. P. 9–12.
6. Семкин А.О., Шаранович С.Н. Голограммическое формирование неоднородных дифракционных структур в ФПМ-ЖК с учетом фотополимеризационно-диффузационного и поляризационного механизмов записи // Электронные средства и системы управления: матер. докл. X Междунар. науч.-практ. конф. 2014. Ч. 1. С. 180.
7. Wu B.G., Erdmann J.H., Doane J.W. Response times and voltages for PDLC light shutters // Liq. Cryst. 1989. № 12. P. 1453.
8. Афонин О.А., Названов В.Ф. Влияние конечной азимутальной энергии поверхностного сцепления на переход Фредерикса в каплях нематика с биполярной структурой // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24, №11. С. 87–94.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ ЗАТВОРОВ И ЯЧЕЕК ПОККЕЛЬСА, ОСНОВАННЫХ НА КРИСТАЛЛЕ КТiОРО₄(RKTP)

**O.T. Важинский, K.C. Тарасенко, студенты,
M.B. Чуманов, аспирант**

*Научный руководитель И.А. Паргачёв, ассистент каф. ЭП
г. Томск, ТУСУР, каф. ЭП, oleg_vazhinsky92@mail.ru*

Принцип генерации оптических импульсов высокой мощности в твердотельных лазерах заключается в накоплении внутри резонатора энергии и последующем ее высвобождении за короткое время. Весь этот процесс обусловлен модуляцией добротности [1].

Однако жесткие условия эксплуатации ЭО затворов в мощных твердотельных лазерах приводят к некоторым нежелательным эффектам, которые в свою очередь влияют на корректную работу. Одним из таких факторов является температура.

В данной работе рассматривается температурная зависимость параметров ячейки Поккельса и ЭО затвора, собранного по термокомпенсирующей схеме, изготовленных из высокоомного кристалла KTiOPO₄ (RKTP), выращенного по технологии компании ООО «Кристалл Т».

Согласно теоретической модели [2] пропускание света ячейкой Поккельса, представляющей собой ЭО затвор, может быть найдено

$$I = I_0 \cos^2(\Gamma/2), \quad (1)$$

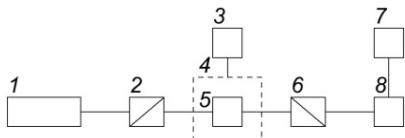
где Γ – разность фаз двух волн. Γ в свою очередь можно записать в следующем виде:

$$\Gamma = \Gamma_0 + \Gamma_T + \Gamma_U, \quad (2)$$

где составляющие Γ_0 , Γ_T и Γ_U – фазовые набеги, связанные с естественной анизотропией кристалла, температурным эффектом и искусственной анизотропией соответственно.

В первом эксперименте проводится исследование температурной зависимости пропускания ячейки Поккельса. Ячейка изготовлена из кристалла RKTP и имеет габариты $6 \times 6 \times 10$ мм³. Экспериментальная установка приведена на рис. 1. Исследуемый образец 5 помещается в термостат 4, где производится его нагрев до необходимой температуры. Температура фиксируется термометром 3. Лазерное излучение от источника 1 проходит через поляризатор 2, где задается линейная поляризация, имеющая угол 45° с кристаллографической осью Z кристалла. Анализатор 6 устанавливается в скрещенное положение относительно поляризатора 2. Фотоприемником 8 регистрируется прошедшая через анализатор интенсивность излучения. Данные с фотоприемника отображаются на ЭВМ.

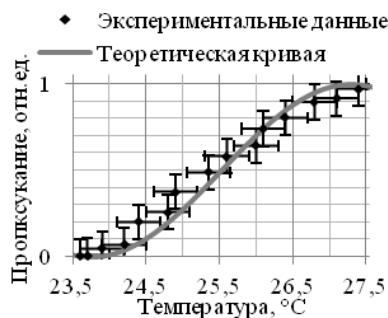
Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – Nd:YAG лазер ($\lambda = 1,064$ мкм); 2, 6 – поляризатор; 3 – термометр (АКИП вольтметр универсальный В7-78/1); 4 – термостат; 5 – ячейка Поккельса; 7 – ЭВМ; 8 – фотодетектор (Spiricon SP620U)



Важно отметить, что при изменении температуры на $3,7^\circ\text{C}$ пропускание ячейки Поккельса изменяется из полностью «закрытого» со-

стояния в полностью «открытое», из чего следует, что для стабилизации рабочей точки ячейки Поккельса ее необходимо термостатировать. Выражение, описывающее изменение коэффициента контрастности от температуры, можно записать следующим образом:

$$K = 10 \cdot \log \left(\frac{I_{\text{откр}}(T_0 \pm \Delta T)}{I_{\text{закр}}(T_0 \pm \Delta T)} \right), \quad (3)$$



где $I_{\text{откр}}$, $I_{\text{закр}}$ – интенсивность света в открытом и закрытом состояниях ячейки соответственно; T_0 – температура, соответствующая экстремуму функций $I_{\text{откр}}$ и $I_{\text{закр}}$; ΔT – приращение температуры.

Рис. 2. Теоретическая кривая и экспериментальные данные зависимости пропускания ячейки Поккельса от температуры

Во втором эксперименте исследуется зависимость коэффициента контрастности (рис. 3) ЭО затвора, собранного по термоизолированной схеме (рис. 4) от температуры. ЭО затвор представляет собой два кристалла RKTP [3] с габаритными размерами $6 \times 6 \times 10 \text{ mm}^3$, вклейенные в стальную оправу.

Из экспериментально полученной зависимости видно, что коэффициент контрастности ЭО затвора при изменении температуры на $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ не опускается ниже 23 dB , что является достаточным для модуляции добротности твердотельных лазеров со средней мощностью до 1 kVt .

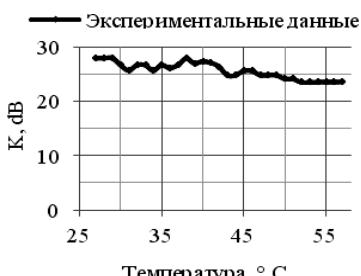


Рис. 3. Экспериментальная кривая зависимости коэффициента контрастности ЭО затвора от температуры

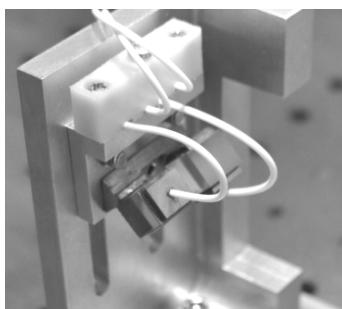


Рис. 4. Внешний вид ЭО затвора на юстировочном столике

Заключение. Для обеспечения коэффициента контрастности ячейки Поккельса более 23 дБ стоит острая необходимость в её термостабилизации в диапазоне температур $\pm 0,2$ °С, что является трудоёмкой задачей.

Для пассивной стабилизации параметров электрооптического затвора на основе кристалла RKTP его целесообразно собирать по термокомпенсирующей схеме на стальном основании.

Научно-исследовательские работы проводились при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасов Л.В. Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения. М.: Радио и связь, 1981. 333 с.
2. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 345 с.
3. Важинский О.Т., Паргачёв И.А., Серебренников Л.Я. и др. Температурная зависимость коэффициента контрастности электрооптических затворов на основе высокомонного кристалла КTiOPO₄: 4-я Междунар. конф. по фотонике и информационной оптике. М., 2015. С. 238–239.

АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ ГАЗОВЫХ ПРОБ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ МЕТОДОМ НЕЗАВИСИМЫХ КОМПОНЕНТ

А.В. Волков, магистрант каф. ЭП ТУСУРа,

И.А. Кудрявцев, П.Н. Мишин, студенты каф. УИ ТГУ;

Д.А. Кузьмин, ст. преподаватель каф. физики СибГМУ

*Научный руководитель Ю.В. Кистенев, зав. каф. физики СибГМУ,
д.ф.-м.н., профессор*

г. Томск, terminator@docsis.ru

В настоящее время все более широкое распространение получает неинвазивная диагностика инфекционных и неинфекционных заболеваний, в частности по исследованию проб выдыхаемого воздуха. Оптико-акустический метод, один из методов лазерной спектроскопии, обладает высокой чувствительностью и позволяет использовать небольшие объемы газовых проб [1]. Целью данной работы является анализ спектров поглощения газовых проб методом независимых компонент (Independent Component Analysis, ICA).

Для проведения экспериментов применялся лазерный газоанализатор «LaserBreeze» на основе широкополосного параметрического генератора света (ПГС) и оптико-акустического детектора (OAD) [2]. Для анализа спектров поглощения применялся метод независимых

компонент, суть которого заключается в определении производящей модели для наблюдаемых многомерных временных рядов, в которой они считаются линейными смесями неизвестных скрытых негауссовых и взаимно статистически независимых переменных – независимых компонент [3].

Были сняты спектры поглощения выдохов здоровых и больных пациентов. В качестве данных для анализа были выбраны спектры двух пациентов: первый (s_1) здоров, а у второго (s_2) хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) (рис. 1).

Были сформированы спектры x_1 и x_2 (рис. 2), являющиеся линейными комбинациями исходных (s_1 и s_2) с весовыми коэффициентами a_{11}, a_{12}, a_{21} и a_{22} [4], выбранными так, чтобы в первом случае большим весом обладал спектр s_1 , а во втором – s_2 , после чего к ним был применен метод независимых компонент.

Рис. 1. Исходные спектры поглощения

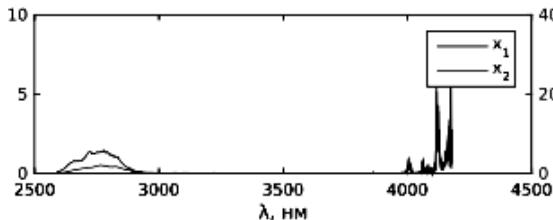
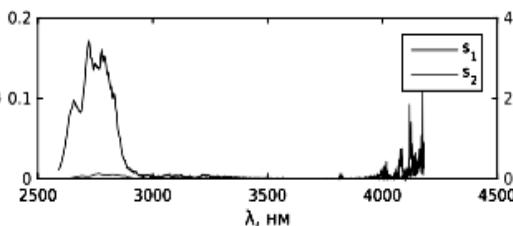


Рис. 2. Линейные комбинации исходных спектров

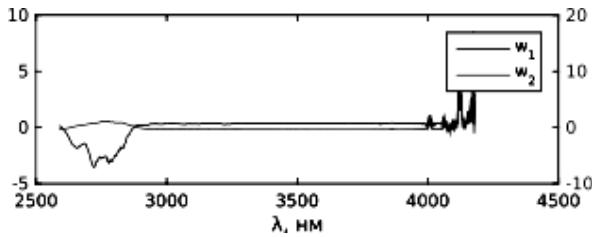


Рис. 3. Отбеленные спектры

Полученные отбеленные спектры w_1 и w_2 и сравнение полученных независимых компонент IC_1 и IC_2 с исходными спектрами приведены на рис. 3 и 4 соответственно. Под отбелыванием подразумевается процедура декорреляции набора сигналов, переводящая их совместную

корреляционную матрицу в диагональную форму, элементами которой являются их дисперсии [5].

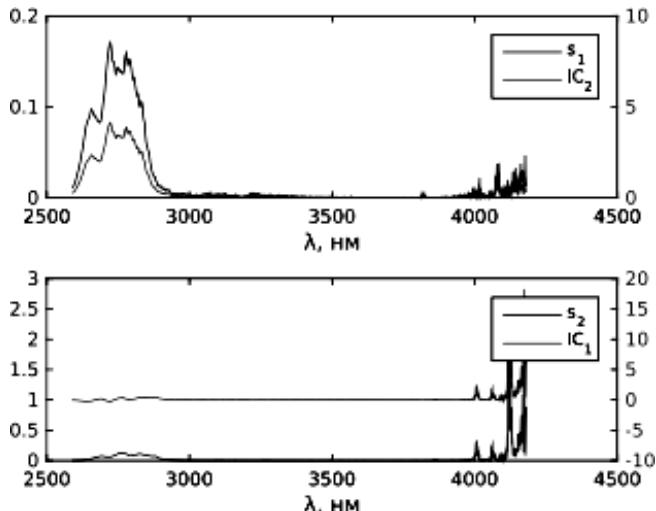


Рис. 4. Сравнение исходных спектров и независимых компонент

Как можно видеть из рис. 3 и 4, метод независимых компонент корректно определил число исходных сигналов и их форму, что согласуется с теорией и означает, что он пригоден для выделения статистически независимых спектров поглощения из их смесей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев Б.Г. Оценка проб выдыхаемого воздуха методом лазерной оптико-акустической спектроскопии у больных туберкулезом легких / Б.Г. Агеев, Ю.В. Кистенев, Е.В. Некрасов и др. // Бюллетень сибирской медицины. 2012. № 4. С. 116–120.
2. Karapuzikov A.A. Advanced photo-acoustic gas analyzer [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ama-science.org/proceedings/getFile/ZGL0Aj==>, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: 9.03.2015).
3. Кухаренко Б.Г. Анализ независимых компонент и скрытая марковская модель для определения доминантных компонент многомерных временных рядов / Б. Г. Кухаренко. М.: Новые технологии, 2010. 36 с.
4. Hyvärinen A. Independent Component Analysis: Algorithms and Applications / A. Hyvärinen, E. Oja // Neural Networks. 2000. Vol. 13, № 4–5. P. 411–430.
5. Малыхина Г.Ф. Робастные методы для разделения смеси сигналов и анализа независимых компонент при зашумленных данных / Г.Ф. Малыхина, А.В. Меркушева // Научное приборостроение. 2011. Т. 21, № 1. С. 141–127.

АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В РАЗЪЁМНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ ПРИ КОНСТРУКТИВНЫХ ОТКЛОНЕНИЯХ

К.В. Заичко, М.М. Токарева, студенты

*Научный руководитель В.И. Ефанов, профессор каф. СВЧиКР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, evi@main.tusur.ru*

Развитие волоконно-оптических технологий позволяет стремительно наращивать объёмы и скорость передаваемой информации. Тем не менее существует ряд физических явлений (затухание, дисперсия), вклад которых должен быть обязательно учтён при проектировании оптической линии связи.

Для волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) всегда существует необходимость соединения оптического волокна (ОВ) с различными видами линейного оборудования.

Соединение волокон – один из факторов, определяющих надёжность и долговечность линии связи, в связи с этим необходимо чётко представлять конструктивные недовольства коннекторов, которые могут повлиять на энергетический бюджет линии связи.

Понимание механизмов потерь в соединениях ОВ и наличие инженерных формул их расчёта важны, поскольку они дают адекватное и достоверное представление о численной величине затухания.

Цель работы – получить аналитические выражения, описывающие потери при изменении конструктивных параметров соединяемых ОВ в коннекторах, и разработать виртуальную лабораторную работу по определению затухания в разъёмных соединениях.

Основная проблема, которая возникает при расчёте потерь в разъёмных соединениях, – это сложные, громоздкие формулы, представленные в целом ряде источников [1, 2]. В связи с этим необходимо сделать анализ всех выражений и получить простые расчетные соотношения, которые будут применяться при постановке виртуальной лабораторной работы.

Необходимо учитывать, что постановка натурных лабораторных работ требует дорогостоящего оборудования.

Потери, которые возникают при неидеальной геометрии торцов волокон, несогласном размещении волокон в коннекторах, – это три группы потерь, вносящих наибольший вклад [1]. Кроме этого, необходимо учитывать вносимые потери, френелевские потери и потери из-за неидеальности волокон.

Проанализировав и построив графики зависимости потерь при рассогласовании конструктивных параметров представленных на

рис. 1–3, мы смогли получить эмпирические формулы, описывающие эти процессы.

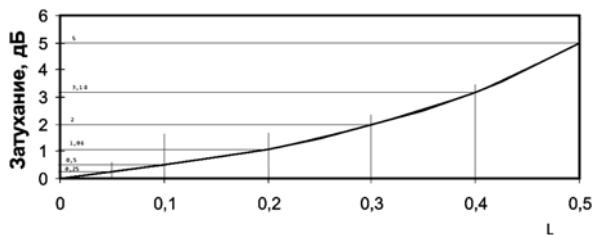


Рис. 1. Зависимости потерь при радиальном смещении

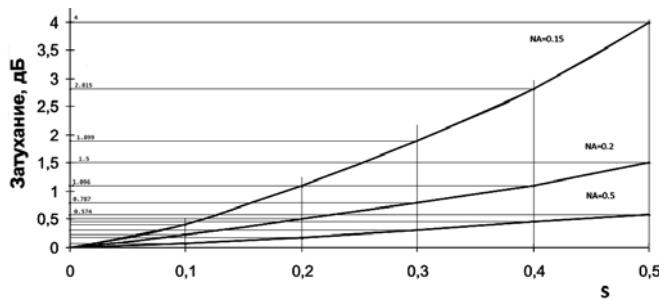


Рис. 2. Зависимости потерь при осевом смещении

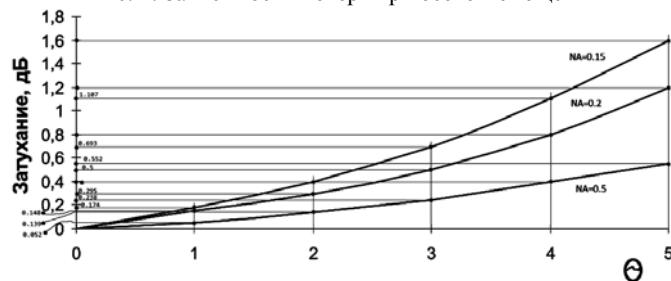


Рис. 3. Зависимости потерь при угловом смещении

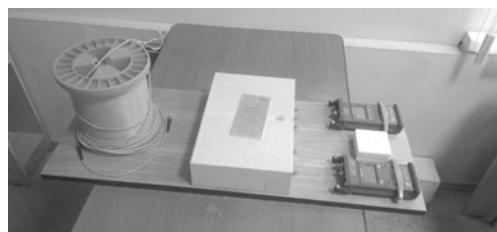


Рис. 4. Вид установки

Разработав по каждому случаю программу на языке C++, мы реализуем виртуальную лабораторную работу.

Для оценки вносимых потерь в коннекторах нами также поставлена натурная лабораторная работа, позволяющая провести реальные измерения затуханий в различных видах коннекторов. Внешний вид установки представлен на рис. 4.

Результаты работы будут внедрены в учебный процесс по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» кафедры СВЧиКР ТУСУРа в виде лабораторного практикума при изучении курсов «Волоконно-оптические линии связи», «Оптические направляющие среды», а также в курсы повышения квалификации «Оптические кабели и пассивные компоненты», «Волоконно-оптические линии связи, проектирование, строительство и эксплуатация», «Волоконная оптика в телекоммуникациях».

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев С.А., Слепов Н.Н. Волоконно-оптическая техника: Современное состояние и перспективы. 2-е изд.. М.: ООО «Волоконно-оптическая техника», 2005. 576 с.
2. Ефанов В.И. Оптические и электрические направляющие среды: учеб. пособие / В.И. Ефанов. Томск: Эль-Контент, 2013. 306 с.

СПЕКТРАЛЬНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТВОРА ЛАЗЕРНОГО КРАСИТЕЛЯ РОДАМИН 6Ж, ДОПИРОВАННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ АЛЮМИНИЯ

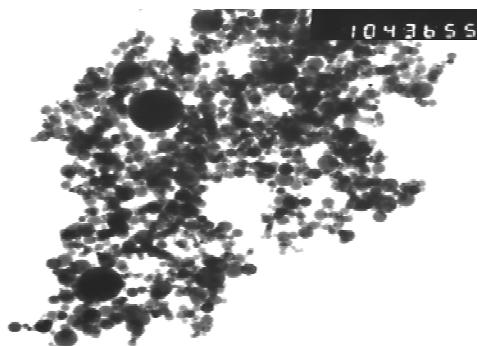
**М.М. Зиновьев, студент, В.А. Харенков, аспирант каф. ОЭСиДЗ,
А.В. Трифонова, студентка**

*Научный руководитель Ал.А. Землянов, доцент каф. ОЭСиДЗ, к.ф.-м.н.
г. Томск, НИ ТГУ, tixa9229@gmail.com*

Современное стремление к миниатюризации лазерных излучателей требует создания новых высокоэффективных активных сред в широкой спектральной области. Весьма перспективная область в этом направлении – исследование активных сред, представляющих собой композиты на основе лазерно-активных молекул иnanoструктур различной физической природы. Внедрение таких наночастиц в активную среду приводит к существенному увеличению в них оптических процессов, в том числе и к лазерной генерации, именуемой в зарубежной литературе как *«random»* лазер. Генерация в таких композитных средах осуществляется при существенно меньших пороговых накачках (на один-два порядка) и обладает большей эффективностью по сравнению с генерацией в тех же средах, но без нанодисперсного заполнения.

Для увеличения эффективности генерации обычно применяют наночастицы металлов (серебра и золота), обладающих плазмонно-резонансными свойствами в спектральном диапазоне излучения накачки или люминесценции активной среды. Однако плазмонные резонансы металлических наночастиц имеют узкие спектры, что накладывает существенные ограничения на спектральный диапазон излучателей, созданных на основе «*random*» генерации. В настоящее время существуют работы [1], в которых теоретически показано, что использование агломератов наночастиц (вместо одиночных) позволяет повысить плотность мощности локальных оптических полей на порядки даже в отсутствие плазмонного резонанса [2]. Пороги вынужденного излучения в таких системах сильно уменьшаются за счет увеличения числа возбужденных молекул активного вещества в среде вблизи локальных полей [3, 4]. За счет эффекта Парсела увеличивается скорость спонтанных переходов в молекулах, в результате чего за время действия накачки рождается больше спонтанных фотонов. В совокупности эти два эффекта увеличивают количество вынужденных фотонов в активной среде и снижают энергетические пороги генерации.

В данной работе были исследованы спектральные и энергетические характеристики раствора лазерного красителя Родамин 6Ж (R6G) допированного агломерированными наночастицами алюминия (рис. 1) (Al). Как видно из рисунка, агломераты наночастиц алюминия представляют собой скопления наночастиц со средним размером 100–50 нм.



В таблице приведены данные, полученные по результатам эксперимента, для различных концентраций агломерированных наночастиц алюминия в растворе.

Рис. 1. Агломерированные наночастицы алюминия

Спектрально-энергетическим характеристикам чистого красителя R6G соответствует концентрация 0%, энергетический порог генерации которого составляет порядка 14 мДж. При этом незначительное добавление агломератов наночастиц алюминия (0,07%) приводит к значительному снижению порога генерации – минимум в 340 раз. Максимальное снижение порога генерации наблюдается при концентрациях 0,3–0,6%, не менее чем в 500 раз. Дальнейшее увеличение концентра-

ции наночастиц алюминия приводит к ухудшению спектрально-энергетических характеристик. Возрастают энергии порога генерации, а также растет полуширина спектра генерации и падает интенсивность излучения раствора. Стоит отметить тот факт, что при достижении значения концентрации наночастиц в 20% генерации исследуемого раствора добиться не удалось.

Пороговая энергия, полуширина спектра генерации и интенсивность свечения для раствора R6G+Al при различных концентрациях алюминия

№	Концен-трация, %	Концентрация наночастиц Al, см^{-3}	Пороговая энергия ($E_{\text{п}}$), мДж	Полуширина спектра гене-рации, нм	Интенсивность свечения (гене-рация), норм. ед.
1	0	Чистый краситель	14	16	0,19
2	0,07	$3,5 \times 10^6$	0,041	20	0,24
3	0,15	7×10^6	0,031	20	0,46
4	0,3	$1,5 \times 10^7$	0,028	18	0,72
5	0,6	3×10^7	0,028	16	1
6	1,25	$1,8 \times 10^8$	0,040	17	0,8
7	2,5	$3,7 \times 10^8$	0,063	21	0,55
8	5	$7,5 \times 10^8$	0,112	17	0,25
9	10	$1,5 \times 10^9$	0,181	18	0,1

Таким образом, исследовав спектрально-энергетические характеристики композитного раствора Родамин 6Ж и наночастиц алюминия (R6G+Al), мы пришли к выводу, что даже незначительное добавление алюминия вызывает значительное снижение энергетического порога. Из полученных данных также видно, что помимо снижения порога генерации, также растет интенсивность свечения рабочего раствора R6G+Al, максимум которой лежит в диапазоне концентраций 0,3–1,25%. Стоит отметить также, что в этом диапазоне концентраций спектральная характеристика свечения раствора является более узкой. Это говорит о том, что концентрации 0,3–1,25% агломератов наночастиц дают наиболее эффективную генерацию рабочего раствора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sweatlock L.A., Maier S.A., Atwater H.A. Highly confined electromagnetic fields in arrays of strongly coupled Ag nanoparticles // Phys. Rev. 2005. Vol. 62. P. 10265–10287.
2. Олейников В.А., Первов Н.В., Мчедлишвили Б.Б. // Критические технологии. Мембранны. 2004. № 4 (24). Р. 17–28.
3. Булыгин А.Д., Харенков В.А., Землянов Ал.А., Донченко В.А. Особенности формирования времённой и спектральной картины суперфлуоресценции в присутствии наночастиц металлов: матер. XX Междунар. симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Новосибирск, 23–27 июня 2014 г. Томск: Изд-во ИОА РАН, 2014. С. B193–B196.

4. Донченко В.А., Землянов Ал.А., Кривошеев Н.С., Харенков В.А. Влияние локальных полей вблизи агломерированных наночастиц на эффективность суперлюминесценции в растворах органического красителя // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, №11. С. 999–1002.

**ВКЛАД ФЛЕКСОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА
ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЕТОВЫХ ВОЛН
НА ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ
ГОЛОГРАММАХ В КРИСТАЛЛАХ СИЛЛЕНИТОВ СРЕЗА (111)**

А.А Шмидт, электроник 2-й кат., А.О. Злобин, студент

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

зав. каф. ЭП

г. Томск, ТУСУР, каф. ЭП, zlobin.tusur@yandex.ru

Анализу вклада обратного флексоэлектрического эффекта в фотопрефрактивный отклик в кристалле симметрии 23 с ориентацией (100) и его экспериментальному обнаружению в образце $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Fe,Cu}$ при встречном взаимодействии стационарной волны накачки, сохраняющей левую циркулярную поляризацию, с фазово-модулированной сигнальной волной, имеющей циркулярную поляризацию противоположного знака, посвящена работа [1].

Настоящее сообщение посвящено теоретическому анализу такого вклада для кристалла симметрии 23 с ориентацией (111) и его экспериментальному обнаружению в образце $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca,Ga}$.

С использованием приведенных в [1] общих соотношений нами получено, что для отражательной фотопрефрактивной решетки, формирующейся в образце среза (111) при встречном взаимодействии световых волн за счет диффузационного механизма перераспределения заряда, сопровождающие её упругие поля характеризуются равными значениями амплитуд S^m для всех компонент тензора деформаций S_{ij} и обусловлены как обратным пьезоэлектрическим эффектом, так и его флексоэлектрическим аналогом:

$$S_{ij}^m = S^m = -im \frac{\sqrt{3}(e+iKf_{[111]})}{(C_{11}+2C_{12}+3C_{44}^E)} E_{SC}. \quad (1)$$

Здесь m – контраст формирующей фотопрефрактивную голограмму с пространственным периодом $\Lambda = 2\pi/K$ интерференционной картины; E_{SC} – эффективное поле пространственного заряда голограммы [1, 2], а C_{11} , C_{12} и C_{44}^E – компоненты тензора модулей упругости кристалла в

сокращенной форме записи. Эффективная константа $e = 2e_{14} / 3$, где e_{14} – пьезоэлектрическая константа кристалла, описывает вклад обратного пьезоэлектрического эффекта в упругие деформации, а вклад в них обратного флексоэлекторического эффекта определяется эффективным коэффициентом $f_{[111]}$, который был получен нами в следующем виде:

$$f_{[111]} = \frac{1}{3\sqrt{3}}(f_{1111} + f_{1122} + f_{2211} + 2f_{2323} + 2f_{2332}), \quad (2)$$

где f_{ijkl} – компоненты флексоэлектрического тензора кристалла симметрии 23.

Возмущения компонент симметричного тензора диэлектрической проницаемости $\Delta\epsilon_{mn}$ на частоте световой волны, создаваемые отражательной голограммой в кристалле симметрии 23 с ориентацией (111), можно представить суммой трех составляющих. Первая из них, $\Delta\epsilon_{mn}^{pc}$, определяет вклад в фоторефрактивный отклик линейного электрооптического эффекта Поккельса и отлична от нуля только для недиагональных компонент и характеризуется пространственным сдвигом, равным $\Lambda / 4$ относительно формирующей голограмму интерференционной картины:

$$\Delta\epsilon_{12}^{pc} = \Delta\epsilon_{13}^{pc} = \Delta\epsilon_{23}^{pc} = imn_0^4 r_{41}^S \frac{E_{sc}}{\sqrt{3}}, \quad (3)$$

где n_0 – показатель преломления для невозмущенного кристалла и r_{41}^S – компонента электрооптического тензора механически зажатого кристалла. Вторая составляющая, $\Delta\epsilon_{mn}^{pz}$, описывает дополнительный вклад в такой отклик обратного пьезоэлектрического и фотоупругого эффектов и отлична от нуля как для диагональных, так и для недиагональных компонент и имеет такой же пространственный сдвиг $\Lambda / 4$:

$$\Delta\epsilon_{11}^{pz} = \Delta\epsilon_{22}^{pz} = \Delta\epsilon_{33}^{pz} = imn_0^4 \frac{\sqrt{3}(p_{11} + p_{12} + p_{21})eE_{sc}}{(C_{11} + 2C_{12} + 3C_{44}^E)}, \quad (4)$$

$$\Delta\epsilon_{12}^{pz} = \Delta\epsilon_{21}^{pz} = \Delta\epsilon_{23}^{pz} = imn_0^4 \frac{2\sqrt{3}p_{44}^E eE_{sc}}{(C_{11} + 2C_{12} + 3C_{44}^E)}, \quad (5)$$

где p_{11} , p_{12} , p_{21} и p_{44}^E – упругооптические коэффициенты кристалла.

Качественное отличие третьей составляющей, $\Delta\epsilon_{mn}^f$, обусловленной обратным флексоэлектрическим эффектом, заключается в пространственном сдвиге её распределения относительно интерференци-

онной картины, нулевом или равном $\Lambda/4$, в зависимости от знаков материальных параметров кристалла:

$$\Delta\epsilon_{11}^f = \Delta\epsilon_{22}^f = \Delta\epsilon_{33}^f = -mn_0^4 \frac{\sqrt{3}(p_{11} + p_{12} + p_{21})f_{[111]}KE_{SC}}{(C_{11} + 2C_{12} + 3C_{44}^E)}, \quad (6)$$

$$\Delta\epsilon_{12}^{pz} = \Delta\epsilon_{21}^{pz} = \Delta\epsilon_{23}^{pz} = -mn_0^4 \frac{2\sqrt{3}p_{44}^Ef_{[111]}KE_{SC}}{(C_{11} + 2C_{12} + 3C_{44}^E)}. \quad (7)$$

Экспериментальное исследование встречного взаимодействия, проведенное по описанной в [1, 3] методике для кристалла $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}\text{:Ca,Ga}$ среза (111) с толщиной $d = 8,74$ мм на длине волны 633 нм, позволило нам с использованием полученных соотношений (2)–(7) оценить значение его эффективного флексоэлектрического коэффициента как $f_{eff} = 2,6$ нКл/м.

Таким образом, проведенный теоретический анализ фотопреломления отклика при встречном двухволновом взаимодействии на отражательной голограмме, формируемой за счет диффузационного механизма перераспределения заряда в кристалле симметрии 23 с ориентацией (111), позволил получить аналитические выражения как для сопровождающих такую голограмму упругих деформаций, так и для вызываемых ими возмущений компонент тензора диэлектрической проницаемости кристалла на частоте световой волны $\Delta\epsilon_{mn}^f$, обусловленных обратным флексоэлектрическим и фотоупругим эффектами.

Работа выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки РФ на 2015 год и НИР по проектной части Госзадания № 3.878.2014/ИК. Авторы благодарят Н.И. Буримова за полезные консультации и помощь в проведении экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- Шандаров С.М., Шмаков С.С., Буримов Н.И. и др. Обнаружение вклада обратного флексоэлектрического эффекта в фотопреломительный отклик в монокристалле титаната висмута // Письма в ЖЭТФ. 2012. Т. 95, вып. 12. С. 699–702.
- Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В. Фотопреломительные кристаллы в когерентной оптике. СПб.: Наука, 1992. 318 с.
- Шандаров С.М., Буримов Н.И., Шмидт А.А. и др. Флексоэлектрический вклад в фотопреломительный отклик при встречном взаимодействии световых волн в кристаллах класса силленитов среза (111): матер. IX Междунар. науч.-техн. конф. «Квантовая электроника–2013». Минск, 18–21 ноября 2013 г. Минск, 2013. С. 38–39.

СЕКЦИЯ 9

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ ШИРОКОПОЛОСНОГО БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА

*Председатель секции – Демидов Анатолий Яковлевич,
зав. каф. ТОР, к.ф.-м.н.;
зам. председателя – Гельцер Андрей Александрович,
ст. преподаватель каф. ТОР, к.т.н.*

АЛГОРИТМЫ ЧАСТОТНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ В IEEE 802.11

*Ж.Ж. Абильтаева, магистрант каф. ТОР
Научный руководитель А.Я. Демидов, доцент, к.ф-м.н.
г. Томск, ТУСУР, janara_aipet@mail.ru*

В работе рассмотрены два алгоритма частотной синхронизации в IEEE 802.11. Произведен сравнительный анализ рассмотренных алгоритмов для выявления наилучшего метода, производящего оценку сдвига частоты с высокой точностью.

При построении современных телекоммуникационных систем широко используются технологии ортогонального частотного мультиплексирования, что позволяет достичь высокой спектральной эффективности систем связи и бороться с межсимвольной интерференцией, вызванной многолучевым распространением в радиоканале. Однако технология OFDM чувствительна к смещению частоты несущей. Сдвиг по частоте в OFDM-сигнале приводит к потере ортогональности между поднесущими, вследствие чего возникают ошибки на приемной стороне при демодуляции сигнала. С увеличением числа поднесущих в OFDM-символах возрастает влияние ошибок синхронизации. Для уменьшения ошибок при демодуляции необходима частотная синхронизация.

Для синхронизации в IEEE 802.11 передается преамбула PLCP. Преамбула необходима для обучения приемника, тактовой синхронизации, оценки частоты и оценки канала. Преамбула PLCP включает в себя десять коротких обучающих символов, защитный интервал для длинного обучающего символа и два длинных обучающих символа. Короткие символы применяются для обучения приемника, тактовой синхронизации и грубой частотной оценки. Длинные символы позволяют измерять частоту несущей и параметры канала. Короткий обу-

чающий символ OFDM состоит из 12 поднесущих. Сигнал генерируется в соответствии со следующим уравнением [1]:

$$r_{SHORT}(t) = w_{TSHORT}(t) \sum_{k=-N_{ST}/2}^{N_{ST}/2} S_k \exp(j2\pi k \Delta_F t), \quad (1)$$

где w_{TSHORT} – оконная функция; Δ_F – частота дискретизации; N_{ST} – количество поднесущих.

Длинные обучающие символы также являются обычными OFDM-символами, которые используют по 52 поднесущих. Эти символы модулируются последовательностью L [1].

$$r_{LONG}(t) = w_{TLONG}(t) \sum_{k=-N_{ST}/2}^{N_{ST}/2} L_k \exp(j2\pi k \Delta_F (t - T_{G12})), \quad (2)$$

где w_{TLONG} – оконная функция; T_{G12} – период защитного интервала, равный 1,6 мкс.

Короткие обучающие символы и длинные обучающие символы должны быть объединены, чтобы сформировать преамбулу.

$$r_{PREAMBLE}(t) = r_{SHORT}(t) + r_{LONG}(t - T_{SHORT}). \quad (3)$$

В представленной работе была выбрана модель канала A из рекомендации МСЭ [3] с аддитивным белым гауссовским шумом. Использован физический канал в диапазоне 5 ГГц с шириной канала 20 МГц (40-й канал с центральной частотой 5200 МГц).

Рассмотрены два метода оценки сдвига частоты в многолучевом канале, основанные на нарушении сдвиговой симметрии, проявляющейся в появлении фазовой асимметрии между взаимно корреляционными функциями [2]. В модели были сформированы четыре последовательных одинаковых сигнала и опорный сигнал. Алгоритм оценки сдвига частоты производится в несколько этапов. Для первого метода в начальном этапе рассчитывается ВКФ между опорным сигналом и сдвинутыми во времени сигналами. После этого определяется максимум ВКФ для всех случаев и осуществляется вычисление разности фаз $\Delta\phi$ между максимумами ВКФ:

$$\Delta\phi = \text{arctg} \left(\frac{\text{Imag}(\dot{R}(\text{MAX}))}{\text{Real}(\dot{R}(\text{MAX}))} \right), \quad (4)$$

где $\Delta\phi$ – разность фаз между соседними символами; \dot{R} – расчетная комплексная ВКФ.

Во втором методе взаимная корреляция рассчитывается между символами OFDM с разнесением во времени на длину преамбулы. Вычисляется разность фаз, после чего определяются сдвиги частоты согласно выражению

$$f = \frac{\Delta\varphi}{2\pi T_s}, \quad (5)$$

где T_s – длительность преамбулы (16 мкс).

Оценка частоты осуществляется путем нахождения среднего арифметического значения f .

За счет смещения частоты фазовый набег выражается в изменении соотношений мнимой и действительной частей сигнала.

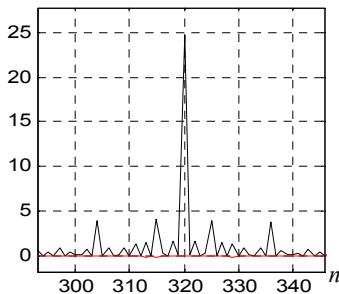


Рис. 1. Действительная и мнимая части ВКФ без сдвига частоты для 1-го метода

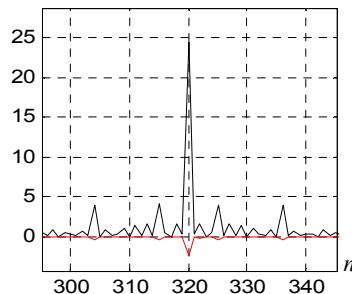


Рис. 2. Действительная и мнимая части ВКФ со сдвигом 1 кГц для 1-го метода

Определена зависимость среднеквадратичного отклонения (СКО) ошибки оценки сдвига частоты от отношения сигнал/шум в канале для двух методов. Для вычисления СКО произведено 1000 испытаний. На рис. 3 представлены эти зависимости.

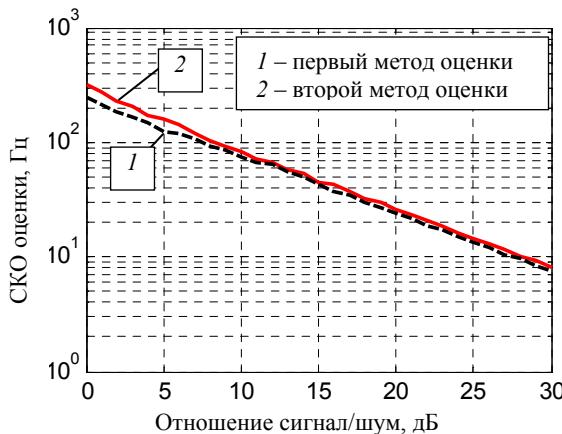


Рис. 3. Зависимость СКО от отношения сигнал/шум

Данные зависимости показывают, что второй метод оценки частоты дает большее значение СКО ошибки оценки по сравнению с первым методом, который основан на опорном сигнале. Значение СКО ошибки оценки частоты от отношения сигнал/шум для сдвига частоты 1 кГц не превышает 28%, а минимальное отклонение равно 0,7%.

ЛИТЕРАТУРА

1. IEEE Standard for Information technology Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications – 2012.

2. Пат. 2 459 354 РФ, МПК H04B 1/68, G01S 3/46. Способ оценки сдвига несущей частоты в восходящем канале для беспроводных телекоммуникационных систем / Н.А. Карагаева (РФ). № 2 011 146 810 / 08; заявл. 17.11.2011; опубл. 20.08.2012. Бюл. № 15. 6 с.

3. Recommendation ITU-R V M.1225 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.itu.int/oth/R0A0E00000C/en>, свободный.

СИНХРОНИЗАЦИЯ В СИСТЕМЕ LTE ПО НИСХОДЯЩЕМУ КАНАЛУ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ КАНАЛА

Б.Н. Акынбекова, магистрант каф. ТОР

Научный руководитель А.Я. Демидов, доцент, к.ф-м.н.

г. Томск, ТУСУР, akynbekova_bonit@mail.ru

Разработаны алгоритм и модель обработки сигналов первичной и вторичной синхронизации в системе LTE. Модель учитывает влияние канала распространения радиосигнала на процесс первичной и вторичной синхронизации.

Система LTE использует технологию OFDMA, которая решает проблему высокоскоростной передачи данных в сложном многолучевом канале распространения радиосигнала [1].

Для осуществления передачи и приема данных мобильная станция (UE) должна быть синхронизирована с базовой станцией (eNodeB). Для этого базовая станция передает два синхронизирующих сигнала: Primary Synchronization Signal (PSS) и Secondary Synchronization Signal (SSS). Сигнал первичной синхронизации нужен для синхронизации по слотам и OFDM-символам, а также для вычисления физического идентификатора $N_{ID}^{(2)}$. А сигнал вторичной синхронизации нужен для начальной синхронизации по кадрам и определения номера группы физического идентификатора $N_{ID}^{(1)}$. Идентификатор базовой станции $N_{ID}^{(cell)}$ определяется следующим образом:

$$N_{ID}^{(cell)} = 3 \times N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^{(2)}. \quad (1)$$

PSS используются **3 взаимно-ортогональные последовательности Задова–Чу**, каждой из которых соответствует индекс идентификатора $N_{ID}^{(2)}$ от 0 до 2.

Генерирование последовательности Задова–Чу осуществляется согласно выражению

$$d_u(n) = \begin{cases} e^{\frac{-j\pi un(n+1)}{63}}, & n=0,1,\dots,30; \\ e^{\frac{-j\pi un(n+2)}{63}}, & n=31,32,\dots,61, \end{cases} \quad (2)$$

где u – корень последовательности.

PSS используется следующий набор корней: $u = 25, 29, 34$. Данный набор корней для ZC последовательности был выбран за счет хороших показателей периодической автокорреляции и взаимной корреляции.

SSS образуется из M -последовательности, которые генерируются путем перемежения двух вторичных синхронизирующих кодов $d(2n)$ и $d(2n+1)$ длиной 31. Генерирование данных последовательности происходит согласно выражению

$$d(2n) = \begin{cases} s_0^{(m_0)}(n)c_0(n), \\ s_1^{(m_1)}(n)c_0(n), \end{cases} \quad d(2n+1) = \begin{cases} s_1^{(m_1)}(n)c_1(n)z_1^{(m_0)}(n), \\ s_0^{(m_0)}(n)c_1(n)z_1^{(m_1)}(n), \end{cases} \quad (3)$$

где $0 \leq n \leq 30$; $s_0^{(m_0)}(n)$ и $s_1^{(m_1)}(n)$ – M -последовательности; $c_0(n)$ и $c_1(n)$ – скремблирующие последовательности; $z_1^{(m_0)}(n)$ и $z_1^{(m_1)}(n)$ – скремблирующие последовательности.

Данные для формирования M -последовательностей и скремблирующих последовательностей можно найти в литературе [2].

Структурная схема приемника первичной и вторичной синхронизации приведена на рис. 1. С помощью приемника вычисляется взаимная корреляция между принятой последовательностью и последовательностями, хранящимися в банке приемника. Корреляционная функция для PSS приведена на рис. 2, *a*, а для SSS – на рис. 2, *б*.

Из рис. 2 следует, что максимальный пик функции корреляции первичной синхронизации соответствует функции $u = 25$ и пик функции корреляции вторичной синхронизации соответствует $M = 77$. Таким образом, идентификатор соты для данной базовой станции равен

$$N_{ID}^{(cell)} = 3 \times 77 + 0 = 231.$$

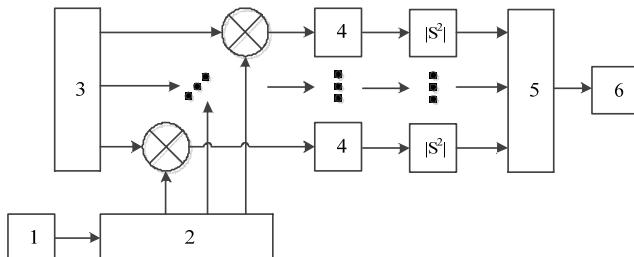


Рис. 1. Структурная схема обнаружения сигналов первичной и вторичной синхронизации: 1 – демодулятор OFDM; 2 – выделение сигналов PSS и SSS; 3 – формирование банка последовательностей Задова–Чу для PSS и формирование банка из 168 M-последовательностей для SSS; 4 – IFFT; 5 – определение максимума функции взаимной корреляции; 6 – определение индекса идентификатора $N_{ID}^{(2)}$ и группы идентификатора $N_{ID}^{(1)}$

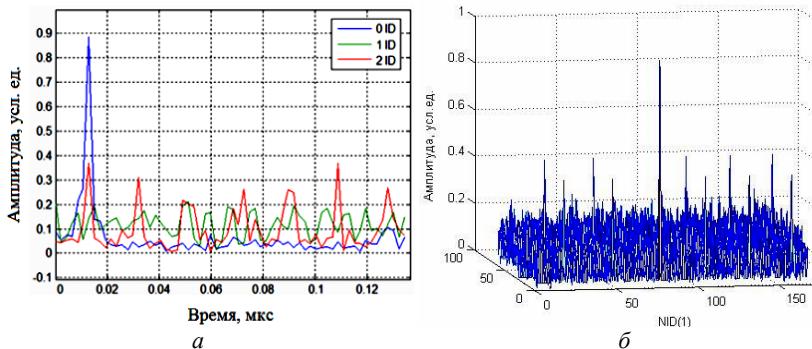


Рис. 2. Вычисление максимума взаимной корреляции первичной (а) и вторичной (б) синхросигналов

Предложенный алгоритм реализации сигналов первичной и вторичной синхронизации позволяет получить зависимости вероятности ложного определения параметров $N_{ID}^{(2)}$ и $N_{ID}^{(1)}$ от отношения сигнала/шум (рис. 3). Для расчета вероятностей проводилось 3000 измерений с шагом SNR = 1 дБ.

В рамках моделирования сформированы сигналы первичной и вторичной синхронизации по исходящему каналу LTE. Получена зависимость вероятности ложного определения индекса идентификатора узла доступа (eNodeB) от отношения сигнала/шум в канале с АБГШ.

Алгоритм идентификации точки доступа реализован в среде Matlab и может быть использован для программно-аппаратной реализации в сигнальном процессоре мобильных станций.

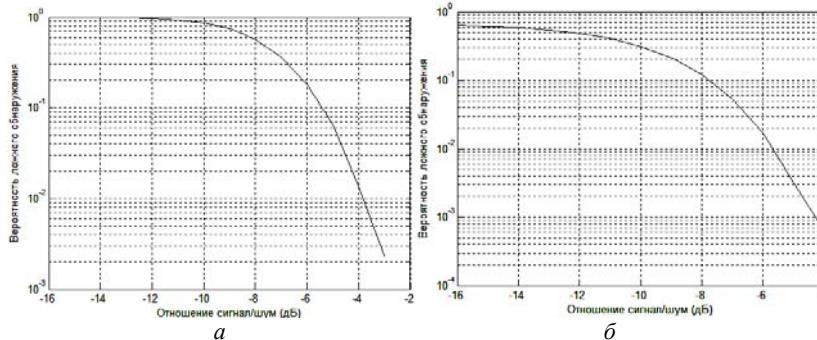


Рис. 3. Зависимость вероятности неправильного определения параметра $N_{ID}^{(1)}$ (а) и $N_{ID}^{(2)}$ (б) от отношения сигнал/шум

ЛИТЕРАТУРА

1. 3GPP TS 36.211, version 9.1.0, 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Network, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), Physical Channels and Modulation, 2010

2. ETSI TS 136 211 v 9.1.0 (2010-04) LTE Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation.

АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ ОГРАНИЧЕННОГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШУМОВЫХ НЕСУЩИХ СИГНАЛОВ

Ж.А. Баяндыева, К.Б. Кошкарбаева, магистранты каф. ТОР

Научный руководитель А.В. Филатов, профессор, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, РТФ, kamwat_92@mail.ru

Целью данной работы является исследование принципов построения сверхширокополосных беспроводных систем связи с использованием шумовых несущих сигналов. В настоящие времена к системам передачи информации предъявляются всё более высокие требования (повышение помехоустойчивости, скрытности, электромагнитной совместимости и т.д.). Для реализации таких требований необходимо либо улучшить технические характеристики узкополосных систем, либо использовать новые технологии, основанные на применении сверхширокополосных сигналов. Сверхширокополосные (СШП) системы лучше, чем узкополосные, по таким характеристикам: скрытность передачи данных в радиосвязи; обнаружение объектов; повышение скорости и объёмности передачи данных, увеличение точности местоопределения.

ния объектов. Практическая реализация стала возможной только после достижения соответствующего уровня следующих технологий [1]: технологии генерации мощных сверхкоротких импульсов с практически неограниченным ресурсом, с высокой стабильностью и большой частотой повторения; технологии излучения таких импульсов непосредственно в пространство (СШП антенная техника); технологии скоростной цифровой обработки больших массивов информации.

Для увеличения возможностей передачи информации необходимо расширять полосу частот, так как именно ширина полосы определяет информативность радиотехнических систем, поскольку количество информации, передаваемой в единицу времени, прямо пропорционально этой полосе. Количество информации H , передаваемой по любому информационному каналу, определяется известной формулой Шеннона [2]:

$$H = \Delta f \log(1 + P_s / P_n) \text{ bit/s} ,$$

где, Δf – шумовая полоса частот информационного канала; P_s / P_n – отношение сигнал/шум по мощности.

Другим выходом может быть только увеличение времени передачи информации. В связи со стремительной информатизацией общества и постоянным увеличением информационных потоков эта проблема становится все более актуальной как для радиосвязи, так и для радиолокации. Актуальность проблемы и определила быстрое развитие в последние годы технологий, использующих СШП-сигналы.

К СШП отнесены системы и сигналы с относительной полосой

$$\frac{(f_{\text{в}} - f_{\text{н}})^2}{f_{\text{в}} + f_{\text{н}}} \geq 0,25 ,$$

где, $f_{\text{в}}$ и $f_{\text{н}}$ – соответственно верхняя и нижняя границы полосы частот.

В соответствии с требованиями комиссии IEEE в качестве стандартов для беспроводной сверхширокополосной связи рекомендуется IEEE 802.15.3a; 802.15.4a-2007. В этом стандарте в ряде стран началась разработка систем связи для малых расстояний (порядка 100 м) в основном для использования внутри офисных зданий как средства обеспечения электромагнитной совместимости многих пользователей и закрытости каналов (вторичное использование спектра).

Сверхширокополосные системы находят широкое применение в беспроводных сенсорных сетях (БСС), которые используются во многих областях: наука, медицина, Вооруженные силы, транспортные системы и т.д. Такие сети имеют множество практических преимуществ. Использование СШП-сигналов для связи между узлами в БСС выглядит очень интересно тем, что оно позволяет создать устройства малых

размеров и обеспечить высокие коммуникационные характеристики в реальных каналах в условиях многолучевых искажений; в СШП БСС узлы могут контактировать только с близлежащими соседями и благодаря низкой мощности избегать межузловой интерференции, которая существует в узкополосных системах. Помимо систем связи, в последнее время беспроводные сенсорные сети активно используются в медицинских целях. БСС, расположенные внутри или на теле человека, контролируют его состояние. Используются для мониторинга ЭКГ, давления крови, температуры и т.д. [3].

На сегодняшний день сверхширокополосные БСС активно применяются в реализации прямых хаотических систем связи с использованием детерминированного хаоса в качестве несущего сигнала. Прямыхаотической схемой связи (ПХСС) называется система связи, в которой:

а) источник хаоса генерирует хаотические колебания непосредственно в заданной полосе СВЧ-диапазона;

б) ввод информационного сигнала в хаотический осуществляется путем формирования соответствующего потока хаотических радиоимпульсов;

в) извлечение информации из СВЧ-сигнала производится без промежуточного преобразования частоты. Важно, что для передачи информации в ПХСС используется не непрерывный сигнал, а поток импульсов. Комбинация длины и скважности импульса определяет скоростные свойства системы связи и ее устойчивость для различных типов каналов связи. Теоретический анализ, подтвержденный результатами разработок, показывает, что прямыхаотическая передача информации имеет привлекательные характеристики для низкоскоростных (до 1 Мбит/с) и среднескоростных (до 50 Мбит) систем СШП-связи [4]. Структурная схема приемопередатчика прямыхаотической системы представлена на рис. 1.

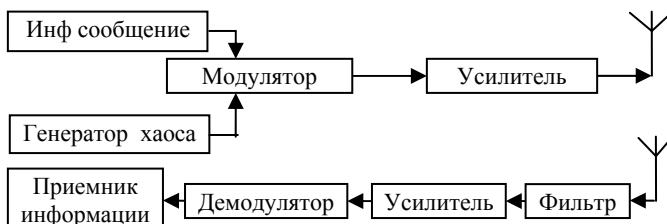


Рис. 1. Структурная схема приемопередатчика прямыхаотической системы

ЛИТЕРАТУРА

1. Шайдуров Г.Я., Кудинов Д.С. Сверхширокополосные энергетически оптимальные сигналы минимальной длительности в задачах радиосвязи и под-

- поверхностной радиолокации // Успехи современной радиоэлектроники. 2012. №9. С. 17–24.
2. Shannon C.E. A mathematical theory of communication // Bell System Technical Journal. 1948. Vol. 27. July and October. P. 379–423 and 623–656.
3. Дмитриев А.С., Лазарев В.А., Герасимов М.И., Рыжков А.И. Сверхширокополосные беспроводные нательные сенсорные сети // Радиотехника и электроника. 2013. Т. 58, №12. С. 1160–1170.
4. Дмитриев А.С., Панас А.И. Динамический хаос. Новые носители информации для систем связи. М.: Физматлит, 2002.

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ САМОПОДОБНОГО ТРАФИКА

Б. Буришакбаев, студент

*Научный руководитель В.М. Винокуров, к.т.н., профессор
г. Томск, ТУСУР, каф. TOP, VinokurovVM@tor.tusur.ru*

Наличие мультисервисного трафика в современных телекоммуникационных сетях потребовало пересмотра основных позиций подхода к оценке телетрафика в сетях связи. В таких потоках сильно проявляется эффект пачечности и появляются значительные выбросы нагрузки, что не укладывается в классическую модель телефонного трафика Эрланга, обычно называемую пуассоновским подходом. В настоящее время интенсивно развивается теория самоподобного трафика, наблюдаемого в мультисервисных сетях. Анализ телетрафика в таких сетях с использованием пуассоновского подхода даёт заниженные результаты по сравнению с реально измеренными, что усугубляет проблему. Данная работа является частью выпускной квалификационной работы и посвящена разработке инструментария оценки параметров самоподобного трафика.

Для самоподобного трафика значение параметра Хёрста располагается в диапазоне $0,5 < H < 1$. Для классических пуассоновских моделей этот параметр находится внутри диапазона $0 < H < 0,5$. В литературе имеются лишь общетеоретические соображения по вычислению указанного параметра, например R/S-статистика, анализ графика изменения дисперсии и др. [1]. Нигде не приводится конкретная программа обработки. В процессе работы предлагаемый инструментарий был реализован средствами MATLAB с использованием метода R/S-статистики и анализа графика изменения дисперсии. Тексты программ представлены ниже.

Алгоритм анализа R/S-статистики

```
clear all; close all; clc;
A=xlsread('kniga.xlsx');
```

```

N=1001;
m=[1 2 4 8 16 32 64];
for k=1:length(m)
    k
X=sum(A(1:N,2))/N;
XX=(A(1:N,2)-X).^2;
for j=1:m(k)
for i=1:round(N/m(k))
    D(i,j)=sum(A(((j-1)*floor(N/m(k))+1):i+(j-1)*floor(N/m(k)),2))-i*X;
    Q(i,j)=XX(((j-1)*floor(N/m(k))+i),1);
end;
Mm(j)=max(D(1:floor(N/m(k)),j));
Mim(j)=min(D(1:floor(N/m(k)),j));
R(j)=Mm(j)-Mim(j);
S(j)=sqrt(sum(Q(1:floor(N/m(k)),j))/(N/m(k)));
RS(j)=R(j)/S(j);
lgrs(j)=log(RS(j))/log(10);
end;
logN(k)=log(N/m(k))/log(10);
logRS(k)=sum(lgrs)/m(k);
end;
% Метод наименьших квадратов
p=sum(logN)/length(m);
q=sum(logRS)/length(m);
ax=sum((logN-p).*(logRS-q))/sum((logN-p).^2)
bx=q-ax*p;
% рассчитываем регрессирующую прямую
x2 = linspace(min(logN),max(logN),200);
y2= ax.*x2 + bx;
plot(logN,logRS,'or',x2,y2,'b');
grid on;
legend('Исходная функция','метод наименьших квадратов');

```

Алгоритм графика изменения дисперсии

```

clear all; close all; clc;
A=xlsread('kniga.xlsx');
N=1001;
m=[6:50];
for k=1:length(m)
    k
X=sum(A(1:N,2))/N;
for j=1:N/m(k)
    x(j)=sum(A(((j-1)*m(k)+1):j*m(k),2))/m(k);
end;
XX=(x-X).^2;
disp=sum(XX)/(N/m(k));
logN(k)=log(N/m(k))/log(10);
logDisp(k)=log(disp)/log(10);

end;
% Метод наименьших квадратов
p=sum(logN)/length(m);

```

```

q=sum(logDisp)/length(m);
ax=sum((logN-p).*(logDisp-q))/sum((logN-p).^2);
bx=q-ax*p;
% рассчитываем регрессирующую прямую
x2 = linspace(min(logN),max(logN),200);
y2= ax.*x2 + bx;
plot(logN,logDisp,'or',x2,y2,'b'); grid on;
legend('Исходная функция','метод наименьших квадратов');
H=1+ax/2

```

Реальное использование разработанного инструментария предполагается в следующем виде: исследуемый поток данных рассматривается в реальной сети на выходе анализатора либо порождается в некотором симуляторе. Использование симулятора позволяет исследовать влияние различных элементов сети на общие параметры трафика, определяемые с помощью предлагаемого инструментария. В данной работе в качестве симулятора используется NS-2, имеющийся в открытом доступе.

В качестве примера использования инструментария взят поток, порожденный NS-2, соответствующий распределению Парето (ON/OFF) с доказанным свойством самоподобности. Далее суммарный поток от 100 источников Парето пропускается через маршрутизатор с очередью Drop Tail, после чего с помощью инструментария измеряется параметр Хёста двумя методами с помощью R/S-статистики и анализа изменения дисперсии. Полученные результаты ($H = 0,7410$ для R/S-статистики и $H = 0,7332$ для графика изменения дисперсии) хорошо коррелируются с описанными в [2] для той же схемы из 100 источников.

Расхождение оценок составляет $\approx 5\%$, что с учетом низкой точности методов позволяет использовать инструментарий для грубой оценки параметра H .

Разработанный инструментарий может широко применяться при исследовании самоподобного трафика как в учебном процессе, так и на реальных сетях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шелухин О.И., Осин А.В., Смольский С.М. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения / Под ред. О.И. Шелухина. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 368 с.
2. Моргайлов Д.Д., Ладыженский Ю.В., Юнис М. Информатика и компьютерные технологии – 2012 (ИКТ–2012): матер. VIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. 18–19 сентября 2012 г. До-нецк: ДонНТУ, 2012. С. 227–231.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ НАСТОЛЬНЫХ СУБД И КЛИЕНТ-СЕРВЕРНЫХ СУБД

A.B. Креховец, студент каф. ЭМИС

*Научный руководитель Е.А. Шельмина, к.ф.-м.н., доцент каф. ЭМИС
г. Томск, ТУСУР, akrekhovets@mail.ru*

В настоящее время жизнь человека настолько насыщена различного рода информацией, что для ее обработки требуется создание огромного количества хранилищ информации различного назначения. Современные информационные системы характеризуются огромными объемами хранимых данных, сложной организацией, необходимостью удовлетворять разнообразные требования многочисленных пользователей.

В данной работе поставлена задача определить достоинства и недостатки наиболее популярных настольных и клиент-серверных СУБД и разграничить задачи для каждой из них.

Об актуальности данной проблемы говорит тот факт, что большинство разработчиков стоят перед выбором, какую СУБД взять для реализации своих задач [1].

Для решения поставленной задачи были выбраны наиболее популярные настольные СУБД, такие как MicrosoftAccess, Paradox, dBase, MicrosoftFoxPro, а также клиент-серверные СУБД: Firebird, MSSQLServer, MySQL, SQLite.

Для сравнения настольных и клиент-серверных СУБД были выбраны наиболее важные критерии сравнения, такие как наличие триггеров, наличие ODBC-драйверов, наличие транзакций, размеры БД и ее обслуживание, поддержка хранимых процедур и т.д.

Результатом сравнительного анализа является сводная таблица, в которой СУБД сравниваются по основным показателям [2].

Для разработки достаточно сложных приложений с ограниченным объемом (не более миллиона записей) обрабатываемой информации для небольших и средних предприятий рекомендуется использовать FoxPro.

MicrosoftAccess рекомендуется использовать для разработки простых приложений и персональных баз данных с ограниченным объемом (несколько сотен тысяч записей) информации для небольших предприятий.

Paradox показывает практический такую же или даже превосходящую производительность, чем dBase/FoxPro, однако имеет значительно более слабую собственную среду программирования [3].

Интерфейс системы dBase достаточно удобен для неподготовленного пользователя за счет развитой системы меню и помощи. Однако

практически полное отсутствия средств защиты программ и данных делают данную систему малопригодной для построения сложных систем.

Сравнительный анализ СУБД

Сравнительный анализ настольных СУБД				
Показатели	Microsoft Access	dBase	FoxPro	Paradox
Поддерживаемые ОС	Windows	Unix, IBM AIX, Windows, Linux	Windows	Windows
Процесс установки	Простой процесс установки. Устанавливается в составе пакета Microsoft Office	Database устанавливается очень просто запуском setup	Длительное время уходит на установку, множество визардов помогают в процессе установки	Простой процесс установки
Наличие драйверов ODBC, JDBC	+	+	+	+
Размеры БД	2 ГБ	2 ГБ	2 ГБ	Неограниченно
Наличие транзакций	+	+	+	+
Поддержка триггеров	+	+	+	-
Поддержка хранимых процедур	+	+	+	+
Защита данных, шифрование	+/-	+	-	+/-

Сравнительный анализ клиент-серверных СУБД

Показатели	Firebird	MS SQL Server	MySQL	SQLite
Поддерживаемые ОС	Windows, Linux, Unix	Windows	Windows, Linux, Unix, Mac OS	Windows, Linux, Unix
Условия лицензирования	Бесплатная СУБД	Коммерческий продукт с закрытым исходным кодом	Коммерческая лицензия и GNUGPL	Общественное достояние
Наличие драйверов ODBC, JDBC	+	+	+	+
Принцип взаимодействия клиент-сервер	Сокеты TCP/IP	Сокеты TCP/IP	Сокеты TCP/IP, сокеты Unix	Сокеты TCP/IP
Поддержка триггеров	+	+	+	+
Наличие транзакций	+	+	-	+
Поддержка хранимых процедур	+	+	+	-

Firebird используется в различных промышленных системах (складские и хозяйствственные, финансовый и государственный сектора). Преимущества Firebird: многоверсионная архитектура, компактность, высокая эффективность и мощная языковая поддержка для хранимых процедур и триггеров.

SQL Server рекомендуется использовать для создания очень больших централизованных или распределенных баз данных коллективного использования для средних и крупных предприятий.

MySQL – простая, надежная и быстрая СУБД для малых и средних приложений. Имеет свободную и коммерческую лицензии. Если необходимо создать web-приложение, MySQL – идеальное решение, быстро и качественно работающее на сетевых серверах.

SQLite является хорошим выбором для устройств или сервисов, которые должны работать без сопровождения и техподдержки. SQLite хорошо приспособлен для использования в сотовых телефонах, КПК, игровых приставках и/или приборах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хомоненко А.Д. Базы данных / А.Д. Хомоненко, В.М. Циганков, М.Г. Мальцев. СПб.: КОРОНАпринт, 2006. 478 с.
2. Дейт К.Дж. Введение в системы баз данных / К.Дж. Дейт. К.: Диалектика, 1998. 84 с.
3. Кузнецов С.Д. Введение в системы управления базами данных // СУБД. 1995. №1–4; 1996. №1–5.

МОДЕЛЬ КАНАЛА СЛУЧАЙНОГО ДОСТУПА В LTE

M. Махан, А.К. Нурмахамбетов, магистранты

*Научный руководитель А.Я. Демидов, зав. каф. ТОР, к.ф.-м.н., доцент
г. Томск, ТУСУР, каф. ТОР, koja.aigerim@list.ru, aseke_1991@inbox.ru*

В данной работе построена модель в среде Matlab для физического канала случайного доступа (PRACH).

Процедура случайного доступа начинается, когда мобильная станция (UE) передает последовательность преамбулы. Каждый раз, когда UE начинает процедуру произвольного доступа, устанавливается временной интервал, чтобы ограничить ожидания времени для RAR-сообщения от базовой станции (eNodeB). Таким образом, приемник канала PRACH должен быть способен обнаруживать преамбулы в течение подкадра.

Преамбула произвольного доступа физического уровня состоит из циклической префикса длины T_{cp} и последовательности длины T_{SEQ} . Параметры перечислены в [1] и зависят от структуры фрейма и конфигурации произвольного доступа. Преамбула произвольного доступа

использует 6 ресурсных блоков, ширина полосы частот которых равна 1,08 МГц, включая защитный интервал с обеих сторон. Полоса поднесущей составляет 1,25 кГц ($\Delta f_{SC} = 1,25$ кГц).

Передача преамбулы произвольного доступа при вызове уровнем MAC ограничена определенным временным и частотным ресурсом. Эти ресурсы пронумерованы в увеличивающемся порядке номера субфрейма в пределах радиофрейма и физических блоков ресурса в области частоты таким образом, что индекс 0 соответствует самому низкому пронумерованному физическому блоку ресурса и субфрейму в пределах радиокадра.

Генерирование последовательности преамбулы. Канал PRACH базируется на технологии FDMA с одной поднесущей, где сигналы восходящего канала задаются путем генерации последовательности Задова–Чу. u^{th} – корневая последовательность Задова–Чу определяется

$$x_u(n) = e^{-j \frac{\pi u n(n+1)}{N_{ZC}}}, \quad 0 \leq n \leq N_{ZC} - 1,$$

где длина N_{ZC} – последовательности Задова–Чу.

От u^{th} корневой последовательности Задова–Чу преамбулы произвольного доступа с нулевыми зонами корреляции длины N_{cs-1} определены циклическими сдвигами согласно

$$x_{u,v}(n) = x_u((n + C_v) \bmod N_{ZC}).$$

Циклический сдвиг является идентификатором канала. Выполняется (дискретное преобразование Фурье) DFT на 839 точек, затем распределяется по ресурсной сетке, и происходит процедура IDFT, последней операцией является добавление циклического префикса. Рассмотрены пешеходные, автомобильные и городские каналы (данные приведены в табл. В 2-1-1, 2-1-2, 2-1-3 [2]) с аддитивным белым гауссовским шумом и задержками. Переданная последовательность преамбулы PRACH может быть представлена в следующем виде (рис. 1):

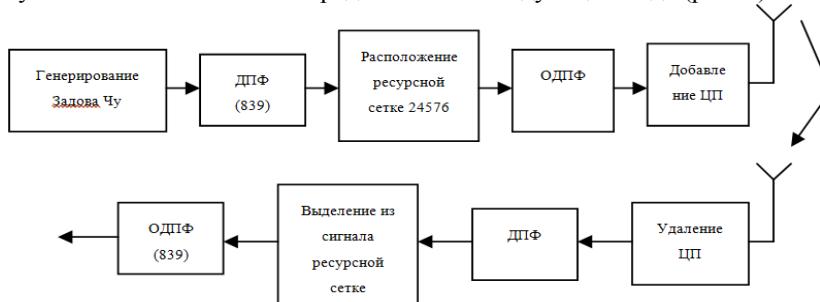


Рис. 1. Структурная схема приемопередатчика физического канала случайного доступа

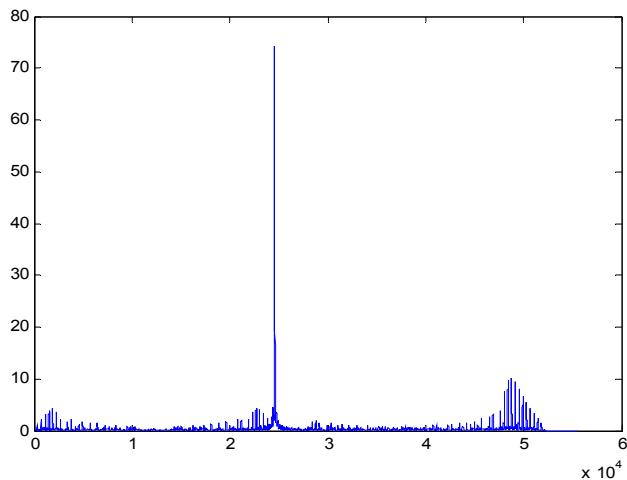


Рис. 2. Корреляционная функция канала случайного доступа передатчика для пешеходного канала

На рис. 2 изображена корреляционная функция для пешеходного канала. На нём наблюдаем наибольшее значение среди трех моделируемых каналов, это означает, что ослабление и задержка сигнала оказывают минимальное влияние на данный канал распространения.

Предложенный алгоритм реализации сигналов позволяет получить зависимости вероятности пропуска сигнала для пешеходного, автомобильного и городского каналов от отношения сигнала/шум (рис. 3) [3].

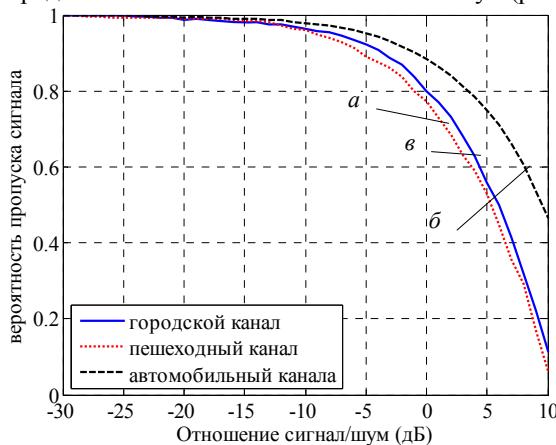


Рис. 3. Зависимость вероятности пропуска сигнала от отношения сигнал/шум:
 a – для пешеходного канала; b – для автомобильного канала;
 c – для городского канала

Для расчета вероятностей проводилось 27744 измерения с шагом SNR = 1 дБ.

С увеличением отношения сигнал/шум вероятность пропуска сигнала уменьшается. Самым эффективным каналом является канал распространения для пешехода, худшие характеристики – в канале для автомобиля.

Рассмотренная модель канала PRACH реализована в среде Matlab, алгоритм работы соответствующей структуры может применяться в сигнальном процессоре, предназначенном для работы в сетях связи стандарт LTE и оценки их чувствительности и помехоустойчивости.

Приведена зависимость вероятности пропуска сигнала от отношения сигнал/шум.

ЛИТЕРАТУРА

1. 3GPP TS 36.211 V10.3.0 (2011-09). 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation (Release 10).
2. ETSI TS 136 101 V10.3.0 (2011-06). LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (Release 10)
3. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. М.: Радио и связь, 1982. С. 466–477.

КОНВЕКТИВНЫЙ И РАДИАЦИОННЫЙ ТЕПЛООБМЕН В ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРАХ

А.М. Мукашев, С.И. Абрамчук

*Научный руководитель А.В. Пуговкин, профессор каф. ТОР
г. Томск, ТУСУР, ali_2475@mail.ru*

*Проект ГПО ТОР-1202 «Инфокоммуникационные технологии
интеллектуальных зданий»*

Основное назначение систем отопления – компенсация тепловых потерь здания с помощью отопительных приборов. Все отопительные приборы используют два физических процесса: конвекцию и радиацию. Конвекция – это образование восходящего потока воздуха вблизи нагретой поверхности. В этом случае большая часть тепла передается воздуху помещения. Радиация – это поток инфракрасных лучей от нагретой поверхности отопительного прибора, который повышает температуру других поверхностей в помещении (вертикальные ограждения, мебель, перекрытия).

Традиционное деление отопительных приборов на радиаторы и конвекторы весьма условно, поскольку ни один из приборов отопления не отдает теплоты в чистом виде радиацией (излучением) или конвекцией (нагретым воздухом), но доля инфракрасного излучения в общем тепловом потоке отличается у приборов различной конструкции, конфигурации и геометрических размеров.

Важной характеристикой батарей отопления является соотношение конвективной и радиационной составляющей теплообмена. Для этого необходимо оценить долю каждой составляющей в том или ином приборе. Естественно, ясно, что в конвекторах доля радиационной составляющей будет крайне мала, также как и в радиаторах доля конвективной составляющей.

Целью работы является нахождение соотношения между конвективной и радиационной составляющими для отопительных приборов в диапазоне рабочих температур. При этом необходимо учитывать их индивидуальные особенности (конструкция, конфигурация и условия эксплуатации).

Нами предложен метод детального исследования теплообмена и определения долей конвективного и радиационного теплообмена в отопительных приборах в рабочем диапазоне температур с высокой точностью. В основе метода лежит обработка экспериментальных результатов динамического теплового режима отопительного прибора. Суть метода заключается в следующем: отопительный прибор переводится из стационарного режима в режим остывания и измеряются средние температуры поверхности отопительного прибора и воздуха в помещении как функции времени. По температурной зависимости остывания находится коэффициент теплоотдачи отопительного прибора:

$$G = C^*dT/dt(T_{\text{ист}} - T_{\text{возд}}). \quad (1)$$

Полученная экспериментальная зависимость коэффициента теплоотдачи содержит конвективную и радиационную составляющие, которые приравниваются к теоретической.

$$G_{\text{экспер}} = G_{\text{теор}}. \quad (2)$$

Радиационная составляющая описывается формулой Стефана–Больцмана, которую можно представить в виде степенного ряда:

$$\begin{aligned} G_{\text{рад}} &= \frac{P_{\text{рад}}}{(T_{\text{ист}} - T_{\text{возд}})} = \frac{\varepsilon\sigma \cdot (T_{\text{ист}}^4 - T_{\text{возд}}^4)}{(T_{\text{ист}} - T_{\text{возд}})} = \\ &= \frac{\varepsilon\sigma \cdot (T_{\text{ист}}^2 + T_{\text{возд}}^2) \cdot (T_{\text{ист}} - T_{\text{возд}}) \cdot (T_{\text{ист}} + T_{\text{возд}})}{(T_{\text{ист}} - T_{\text{возд}})} = \\ &= \varepsilon\sigma \cdot (T_{\text{ист}}^2 + T_{\text{возд}}^2) \cdot (T_{\text{ист}} + T_{\text{возд}}), \end{aligned}$$

где ε – радиационный коэффициент; σ – постоянная Стефана–Больцмана, которая численно равна $5,67 \cdot 10^{-8}$ Дж/см²·К⁴.

При разложении в ряд мы имеем формулу:

$$\alpha_{\varepsilon} = \varepsilon \sigma \cdot (T_{\text{ист}}^2 + T_{\text{возд}}^2) \cdot (T_{\text{ист}} + T_{\text{возд}}) = \\ = \varepsilon \sigma \cdot [4 \cdot (273 + T_{\text{возд}})^3 + 6 \cdot (273 + T_{\text{возд}})^2 \cdot \Delta T + 4 \cdot (273 + T_{\text{возд}}) \cdot \Delta T^2 + \Delta T^3].$$

Коэффициенты этого ряда зависят только от $T_{\text{возд}}$, которую можно измерить. Но в то же время ε пока неизвестен.

Конвективная составляющая также описывается нелинейной функцией разности температур. Эту зависимость можно также представить в виде степенного ряда.

В соответствии с формулой (2) можно поочередно приравнять соответствующие коэффициенты степенного ряда. Поскольку $G_{0\text{конв.теор}}$ равно нулю, то $G_{0\text{рад.теор}} = G_{\text{экспер}}$ при ΔT , стремящейся к 0. Из этого равенства находим ε . Зная ε и ζ и выражение для $G_{1\text{рад.теор}}$, мы можем найти температурную зависимость радиационной составляющей первого порядка. Следующим шагом находим температурную зависимость конвективной составляющей первого порядка, вычитая из экспериментальной зависимости теоретическую радиационную составляющую. В диапазоне, характерном для отопительных приборов, составляющими второго и третьего порядка можно пренебречь.

Ключевым моментом является то, что конвективная составляющая коэффициента теплоотдачи равна нулю при $\Delta T = 0$.

Данная методика использована нами для обработки результатов экспериментов, проведенных для различных отопительных приборов: чугунный радиатор МС-140М, алюминиевый радиатор и конвектор типа комфорт-20М.

При выключении подачи теплоносителя температурные зависимости носили спадающий характер, близкий к экспоненциальному. По этим зависимостям найдены зависимости коэффициента теплоотдачи от разности температур, которые приведены на рис. 1.

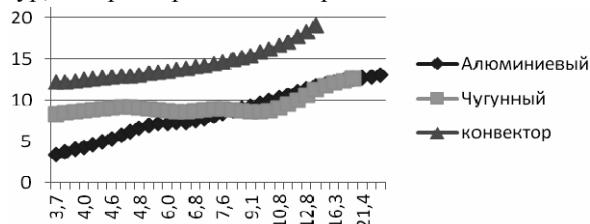


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплоотдачи от разности температур

Из рисунка видно, что для отопительных приборов коэффициент теплоотдачи не является константой и характер изменения близок к

линейному. И, как мы видим, графики имеют разный наклон. Полученные характеристики обработаем по вышеизложенной методике.

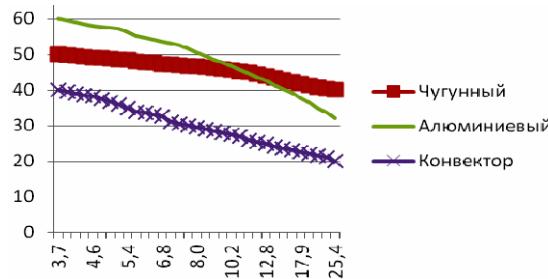
Для сравнения разных отопительных приборов пронормируем коэффициент G поделив его на теплоемкость прибора C . Вычисленные конвективные и радиационные составляющие приведены в таблице.

Конвективные и радиационные составляющие

Тип прибора	$C, \text{Дж/К}$	G_0	$G_{\text{рад.}}$	$G_{\text{конв.}}$	$G_{0\text{норм.}}, 10^{-4}$
Чугунный радиатор	63267	8	$0,032 \times \Delta T$	$0,16 \times \Delta T$	1,3
Алюминиевый радиатор	17700	3	$0,05 \times \Delta T$	$0,41 \times \Delta T$	1,7
Конвектор	10632	12	$0,05 \times \Delta T$	$0,49 \times \Delta T$	11

Исходя из полученных данных, можно найти долю конвективной и радиационной составляющей теплообмена в диапазон температур. Результаты вычислений приведены на рис. 2.

Рис. 2. Зависимость долей составляющих от разности температур



Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- Соотношение конвективной и радиационной составляющей теплообмена меняется с изменением температуры.
- Рост конвективной и уменьшение радиационной составляющей в указанном диапазоне температур носит линейный характер, что соответствует теоретическим результатам.
- Соотношение радиационной и конвективной составляющей зависит от конструкции отопительного прибора. Доля радиационной составляющей наибольшая чугунного отопительного прибора, а наименьшая – для конвектора.
- Для сопоставления характеристик разнотипных приборов удобно подходит нормировка их коэффициентов теплоотдачи по теплоемкости.

ПОЛЯРИЗАЦИОННОЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ. ТЕХНОЛОГИЯ ХРІС

*И.Б. Аришабеков, студент, Е.В. Рогожников, аспирант каф. ТОР
г. Томск, ТУСУР, udzhon@mail.ru*

Неуклонный рост трафика, передаваемого абонентами телекоммуникационных систем, определяет все большие требования к пропускной способности транспортных сетей. В тех случаях, когда прокладка оптоволоконных линий связи является нецелесообразной, операторами связи используется радиорелейное оборудование. Передача данных производится в условиях жестко ограниченного частотного ресурса. Увеличение эффективности использования частотно-временного ресурса является одной из самых актуальных задач, стоящих перед производителями современного телекоммуникационного оборудования. Технология XPIC (Cross Polarization Interference Cancellation) является одним из решений этой задачи и применяется ведущими производителями радиорелейного оборудования [1].

Структурная схема, поясняющая принцип работы технологии XPIC, приведена на рис. 1.

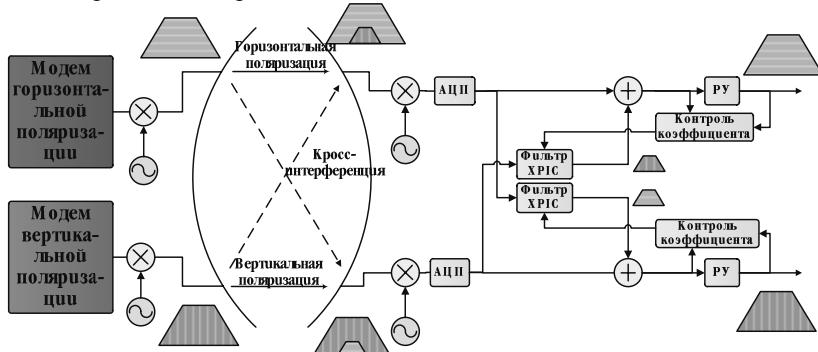


Рис. 1. Структурная схема кросс-поляризационного мультиплексирования с технологией XPIC

Принцип работы системы связи с технологией XPIC заключается в следующей последовательности операций. В передающей части системы формируется два потока данных, производится перенос обоих потоков на несущую частоту, после чего сигналы поступают в антенну, один с горизонтальной, другой с вертикальной поляризацией. Пройдя через канал распространения, сигналы принимаются приемной антенной. Разделение сигналов производится по поляризационному признаку, однако при передаче через канал связи происходит деполя-

ризация сигналов, таким образом, в каждом приемном тракте оказываются сигналы обоих поляризаций. По пилот-сигналам производится оценка мощности «сигнала-помехи» (сигнала соседней поляризации) и формируются весовые коэффициенты фильтров. На выходе фильтров формируются компенсирующие сигналы, которые складываются с принятymi сигналами для подавления «сигнала-помехи». При изменении уровня кроссполяризационной помехи производится адаптация фильтров для максимального уровня развязки. На сегодняшний день технология XPIC применяется ведущими производителями радиорелейного оборудования, такими как NEC, Ericson, Huawei и др. [2].

К основным факторам, влияющим на уровень кроссполяризационной составляющей, можно отнести следующие:

- уровень развязки между каналами ортогональных поляризаций в передающей антенне,
- взаимная ориентация антенных систем в передающем и приемном оборудовании,
- гидрометеоры,
- отражения от подстилающей поверхности и окружающих предметов.

Интервал корреляции кроссполяризационных искажений зависит от расстояния между передающей и приемной антенной, а также от скорости изменения параметров среды (наличие дождя, ветровая нагрузка на антенные системы и др.).

Экспериментальные исследования на частоте 3,7 ГГц в линиях радиорелейной связи протяженностью 55,7 км показали, что поляризационные изменения обусловливались совокупностью причин: наличие дождя, отражение от подстилающей поверхности и окружающих предметов при различных параметрах рефракции [3]. Интервал корреляции поляризационных измерений для степени корреляции, близкой к 1, составляет десятые доли секунды [3]. Это определяет достаточно жесткие требования к работе системы компенсации кроссполяризационных искажений в приемном оборудовании.

Произведено моделирование беспроводной системы связи «точка-точка» с использованием технологии OFDM и XPIC. В результате моделирования рассчитаны зависимости вероятности битовой ошибки от расстояния между передающей и приемной антеннами для различных уровней кроссполяризационной развязки в приемной антенне при различных индексах модуляции (рис. 2).

Результаты моделирования показали, что вероятность битовой ошибки будет расти с увеличением расстояния, а также при увеличении ошибки оценки мощности кроссполяризационной компоненты в приемном канале.

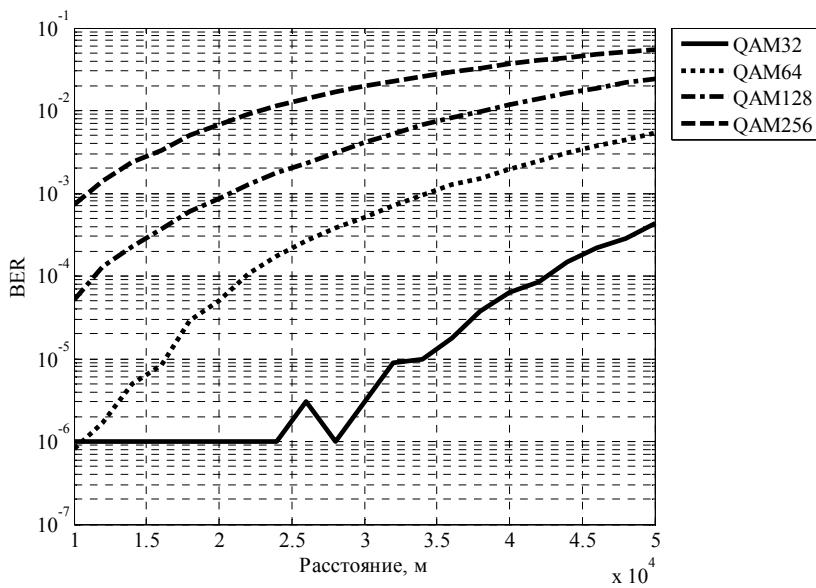


Рис. 2. Зависимость вероятности битовой ошибки от расстояния между антеннами

Заключение. Применение технологии XPIC в радиорелейных линиях связи позволяет до 2 раз повысить эффективность использования частотно-временного ресурса. При этом требуется высокоточная установка антенных систем и автоматическая система компенсации кросс-поляризационных искажений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Investigation on the Integration of a cross Polarization Interference Canceler (XPIC) into a Nokia specific Digital Radio System* [Электронный ресурс]. URL: <http://alexandria.tue.nl/extral/afstversl/E/549696.pdf>, (дата обращения: 9.03.2013).
2. Рогожников Е.В., Ворошилин Е.П., Гельцер А.А., Колдамов А.С. Обзор способов повышения производительности радиорелейных линий связи // Вестник СибГУТИ. 2013. № 4 (21). С. 3–11.
3. Родимов А.П. Статистическая теория поляризационно-временной обработки сигналов в линиях связи / А.П. Родимов, В.В. Поповский. М.: Радио и связь, 1984. 272 с.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПОМЕХ В СЕТИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

*Г.Л. Сайлаубаев, К.Г. Мурзаев, студенты,
Р.Р. Абенов, аспирант каф. ТОР
г. Томск, ТУСУР, gaba72934@mail.ru*

Сети линии электропитания доступны в большинстве зданий и домах во всем мире, и они могут использоваться в коммуникационных целях. Сеть в здании – неустойчивая система из-за многообразия в нем проводного соединения. Одним из факторов, которые сильно влияют на прием и передачу данных по каналу линии электропитания, являются помехи от различных бытовых приборов [1]. Для исследования подобных помех была освоена методика проведения эксперимента, представленная в данной работе.

Подготовка экспериментального стенда. Измерение помех в сети электропитания можно провести с помощью осциллографа и делителя напряжения. Делитель был собран для предварительных испытаний. Корпус делителя имеет стандартное подключение питания от сети, а также два выхода BNC. Схема представлена на рис. 1.

Данный делитель позволил подключать осциллограф к сети электропитания и проводить запись сигнала в память компьютера. Однако измерения нужно проводить не только на осциллографе, но и на анализаторе спектра. Поэтому для продолжения экспериментов делитель был заменен трансформатором с последовательно включенным конденсатором, поскольку делитель пропускает постоянный ток. Данний трансформатор выступает в качестве фильтра верхних частот. Схема трансформатора изображена на рис. 2.

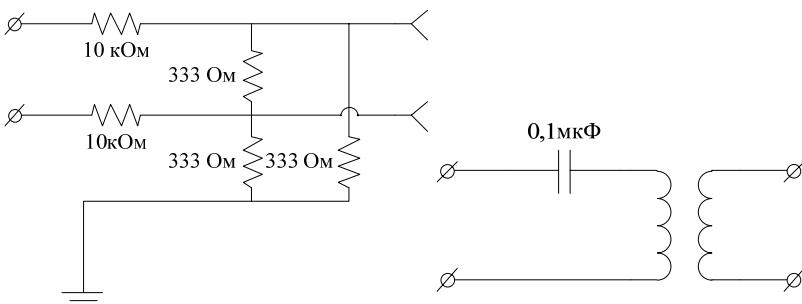
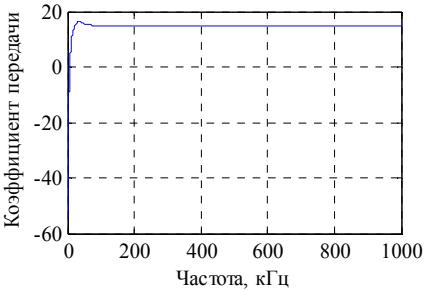


Рис. 1. Схема делителя напряжения

Рис. 2. Схема трансформатора

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) трансформатора, представленная на рис. 3, была измерена с помощью осциллографа Agilent DSO-X 2002A.

Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика трансформатора



Использование трансформатора сделало возможным измерение помех с помощью анализатора спектра. Для автоматизации и гибкого управления процессами измерения сигнала измерительные приборы были сопряжены со средой Matlab. Для длительных измерений на любой частоте дискретизации до 2 ГГц был использован осциллограф LeCroyWaveRunner 6100A, имеющий память для хранения 8 млн отсчетов сигнала и позволяющий передавать их непосредственно в Matlab. Экспериментальный стенд, состоящий из осциллографа, трансформатора, ЭВМ и программы для записи сигнала в среде Matlab, позволяет проводить циклическую запись сигнала сети электропитания на частоте от 1 кГц и выше. Данное ограничение обусловлено точностью измерения АЧХ, которая используется для выравнивания спектра записанных сигналов. Пример полученного данным методом спектра изображен на рис. 4.

Как видно из рис. 4, в полосе до 600 кГц на фоне собственных шумов осциллографа присутствуют различного рода помехи.

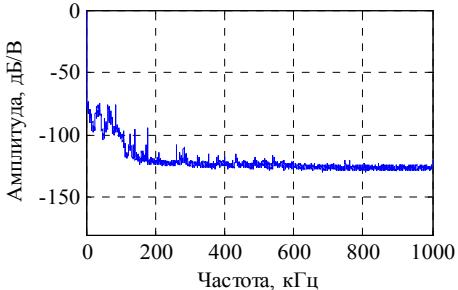


Рис. 4. Форма спектра сигнала в полосе 1 МГц

Заключение. В данной работе подготовлен экспериментальный стенд для измерения помех в сети электропитания на частоте 1 кГц и выше. Отработана методика эксперимента, отлажено программное обеспечение для автоматизации записи сигнала. В дальнейшем планируется измерение передаточной характеристики канала в различных условиях работы и использование ее в моделировании передачи данных по каналу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Emleh A., De beer A.S., Ferreira H.C. Noise Detection on The Low Voltage Network PLC Channel for Direct and Indirect Connections. 17th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference. Beirut. Lebanon. 13–16 April 2014. P. 203–207.

ПРИМЕНЕНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ФУРЬЕ, ХАРТЛИ И ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

E.C. Смагулов, магистрант каф. ТОР

Научный руководитель В.И. Белов, доцент каф. ТОР, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, BelovVI@tor.tusur.ru

В инфокоммуникационных системах с OFDM возможно применение различных преобразований комплексных дискретных сигналов, например преобразований Фурье, Хартли или вейвлет-преобразований. Возникает необходимость исследовать влияние этих преобразований на эффективность систем, для начала при гауссовых шумах.

Структурная схема модели системы (рис. 1) состоит из модулятора QPSK, обратного преобразователя Фурье (ОДПФ), блока внесения гауссова белого шума, прямого преобразователя (ДПФ) и демодулятора. С выхода модулятора QPSK комплексные числа вида $\pm 1 \pm j$ подаются на вход обратного преобразователя. На выходе демодулятора при отсутствии шумов появляются комплексные числа, совпадающие с входными числами (в режиме тестирования). Формулы прямых и обратных преобразований приведены с использованием стандартных символов, обычно применяемых там.

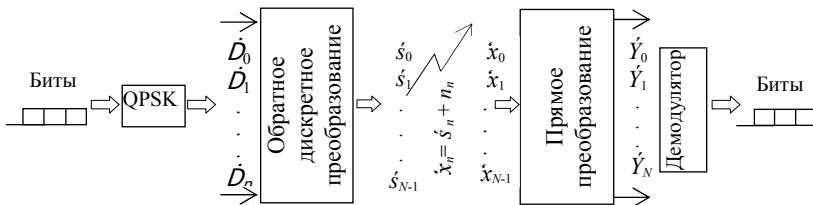


Рис. 1 Структурная схема модели инфокоммуникационной системы

Преобразования могут быть представлены математически.

Дискретные преобразования Фурье: $\dot{s}_n = \sum_{k=0}^{N-1} \dot{D}_k \exp[j2\pi nk/N]$ –

обратное преобразование; $\dot{D}_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \dot{s}_n \exp[-j2\pi nk/N]$ – прямое преобразование.

Дискретные преобразования Хартли [1]: $\dot{h}_n = \sum_{k=0}^{N-1} \dot{H}_k \text{cas}[2\pi nk/N]$ –

обратное преобразование; $\dot{H}_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \dot{h}_n \text{cas}(2\pi nk/N)$ – прямое преобразование, где $\text{cas}\theta = \cos\theta + \sin\theta$.

Дискретные диадные вейвлет-преобразования [2]:

$$v_j^{(i+1)} = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (v_k^{(i)} h_{j-2k} + w_k^{(i)} g_{i-2k}), \quad j \in Z - \text{обратное преобразование};$$

$$v_j^{(i)} = \sum_{k \in K} h_k \cdot v_{j+k}^{(i+1)}, \quad w_j^{(i)} = \sum_{k \in K} g_k \cdot v_{j+k}^{(i+1)} - \text{прямое преобразование}, \quad i = i_1 - 1,$$

$$i_1 - 2, \dots, i_0, \quad v_j^{(i_1)} = s_j, \quad j \in Z, \quad \text{где вектор } h \text{ используется для выделения}$$

$$\text{огрубленной (низкочастотной) части сигнала, а вектор } g \text{ - для выделения детализирующей информации.}$$

Дискретные поднесущие как отклики на комплексные единичные импульсы обратных преобразователей и их огибающие, например действительных частей (рис. 2), являются гармоническими сигналами. Это позволяет вводить циклический префикс и эффективно бороться с интерференцией сигналов. Поднесущие вейвлет-преобразования представляют собой «волны», далекие от гармонических.

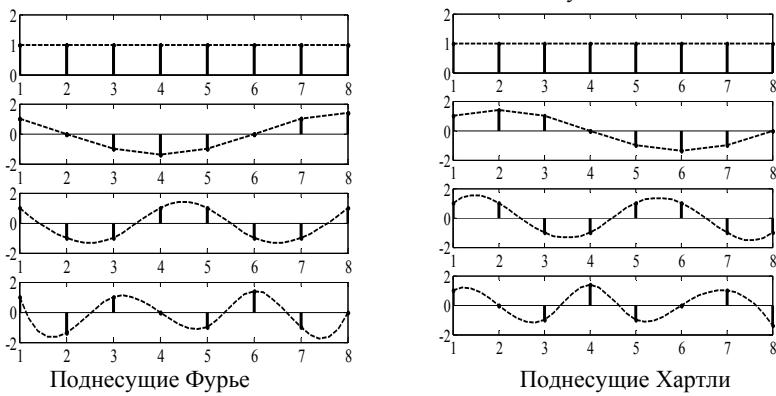


Рис. 2. Графики поднесущих сигналов

Эффективность работы системы может быть определена как вероятность битовой ошибки. Оценку этой вероятности найдем с помощью метода Монте-Карло, метода статистических испытаний.

Результаты испытаний (рис. 3) представлены в виде зависимостей оценки вероятности битовой ошибки от отношения сигнал/шум.

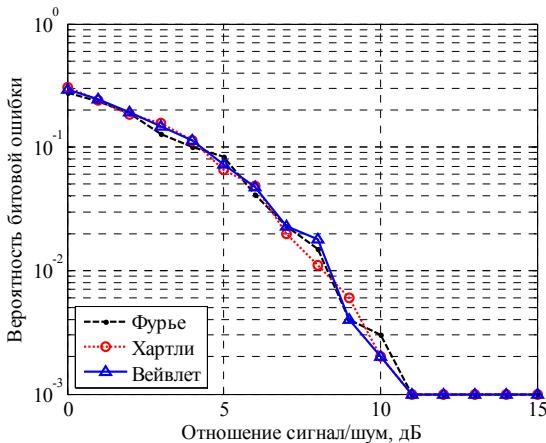


Рис. 3. Графики зависимостей битовых ошибок от отношения сигнал / шум

Выводы

- Циклический префикс в системе с вейвлет-преобразованиями не работает. При этом и защита от интерференции сигналов отсутствует.
- Эффективности систем с преобразованиями Фурье, Хартли или вейвлет-преобразованиями практически одинаковы (рис. 3).

ЛИТЕРАТУРА

- Брейсузелл Р. Преобразование Хартли. Теория и приложения. М.: Мир, 1990.
- Переберин А.В. О систематизации вейвлет-преобразований // Вычислительные методы и программирование. 2001. Т. 2. С. 5–40.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

Е.С. Сорокина, А.В. Бойченко, Р.В. Губарева,

А. Мукашев, студенты каф. ТОР

Научный руководитель А.В. Пуговкин, д.т.н., профессор каф. ТОР

г. Томск, ТУСУР, jane2903@bk.ru

*ГПО ТОР-1202 «Инфокоммуникационные системы
интеллектуальных зданий»*

Цель данной работы – приобретение навыков в работе с микроконтроллерами в учебном процессе.

Главной задачей является изучение периферии и основных интерфейсов микроконтроллера на базе STM32F0.

Микроконтроллер – это микросхема, предназначенная для управления электронными устройствами. Их используют в вычислительной

технике, в электронике, в различных системах управления, в устройствах промышленной автоматики, в бытовой технике, в системах интеллектуальных задач и т.д.

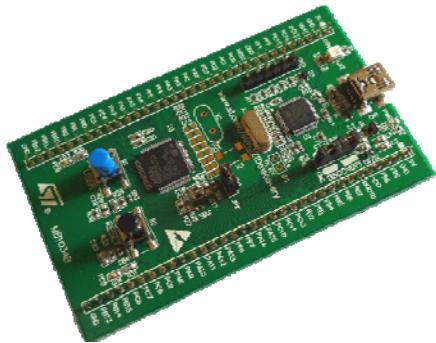


Рис. 1. Микроконтроллер STM32F0

Для выполнения задачи проекта использовался микроконтроллер STM32F0, изображенный на рис. 1. Чтобы взаимодействовать с внешним миром, т.е. получать и передавать информацию, у микроконтроллера имеются порты ввода/вывода. STM32F0 имеет 5 портов, которые в сумме содержат 55 выводов. Также данный микроконтроллер имеет 11 таймеров: один 16-битный таймер с расширенными возможностями, пять 16-битных и один 32-битный таймер общего назначения; 1 базовый таймер, 2 сторожевых и 1 системный таймеры. Они являются одним из основных типов периферии микроконтроллеров. Таймеры используют для организации временных задержек, выполнения каких-либо периодических событий, генерации ШИМ и других применений, связанных со временем. Микроконтроллер STM32F0 имеет несколько протоколов обмена данными, таких как SPI, I2C, USART. Протокол обмена данными – это набор соглашений интерфейса логического уровня, которые определяют обмен данными между различными программами. Эти соглашения задают способ передачи сообщений и обработки ошибок при взаимодействии программного обеспечения разнесенной в пространстве аппаратуры, соединенной тем или иным интерфейсом.

SPI (Serial Peripheral Interface – последовательный периферийный интерфейс) – последовательный синхронный стандарт передачи данных в режиме полного дуплекса, предназначенный для обеспечения простого и недорогого сопряжения микроконтроллеров и периферии [2]. Устройства, связывающиеся через SPI-интерфейс, делятся на ведущие и ведомые. Только ведущие инициализируют передачу данных. Используя библиотеки SPL, содержащие структуры и функции, нами была написана программа, осуществляющая передачу данных от одного микроконтроллера к другому. SPI можно использовать в системах с

нестабильной тактовой частотой. Этот интерфейс активно используется благодаря простоте и высокой скорости передачи.

USART (Universal Asynchronous Receiver – Transmitter или универсальный синхронный/асинхронный приемопередатчик) – узел вычислительных устройств, предназначенный для организации связи с другими цифровыми устройствами. Преобразует передаваемые данные в последовательный вид так, чтобы было возможно передать их по цифровой линии другому аналогичному устройству. Этот метод хорошо стандартизирован и широко применяется в компьютерной технике. Воспользовавшись тактированием и библиотекой SPL, мы написали программу для реализации технологии USART.

На базе таймеров мы реализовали программным образом широтно-импульсную модуляцию (ШИМ). ШИМ – это управление средним значением напряжения на нагрузке путём изменения скважности импульсов, управляющим ключом. ШИМ представляет собой импульсы, которые с достаточно большой частотой следуют друг за другом. При этом частота следования импульсов подбирается такой, чтобы принимающая сторона считала сигнал постоянным [1]. Уровень напряжения такого сигнала задается за счет ширины импульса. На практике ШИМ имеет большую практическую пользу. Например, для управления двигателями с возможностью регулировать скорость, для генерации постоянного напряжения одного уровня, для реализации регулировки яркости монитора.

Для написания программного обеспечения для микроконтроллера был выбран язык Си. Такой выбор был связан с несколькими причинами:

1. Простота синтаксиса языка программирования, повышающая скорость разработки.

2. Универсальность, не требующая досконально изучать архитектуру используемого микроконтроллера и позволяющая в дальнейшем использовать микроконтроллеры разных производителей.

3. Наличие библиотек функций.

Реализованные программы позволяют наглядно рассмотреть принципы приема-передачи по средствам различной периферии и интерфейсов. Благодаря прикладному характеру разработанного ПО и созданному нами методическому пособию, данный проект является подходящим базисом при изучении работы микроконтроллеров и их использовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоус А.И., Емельянов В.А., Турцевич А.С. Основы схемотехники микроэлектронных устройств. М.: Техносфера, 2012. 472 с.
2. Болл Стюарт Р. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. М.: Додэка-ХХI, 2007. 360 с.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОЛИМОДАЛЬНЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ УСЛУГ

Д.А. Струев, аспирант

*Научный руководитель О.О. Басов, докторант, к.т.н.
г. Орел, Академия ФСО России, oobasov@mail.ru*

Анализ структуры межличностной коммуникации и ее сопоставление с существующими и перспективными инфокоммуникационными системами (ИКС) позволили выделить два подхода к представлению информации в них [1]. Первый, основываясь на разделении передаваемой информации на услуги, хорошо «укоренился» в существующих телекоммуникациях, однако не обеспечивает требуемой эффективности общения и, по большому счету, не имеет дальнейшего развития. Второй, реализуя полимодальное представление информации, нашел широкое применение в чисто информационных технологиях и, имея достаточно неплохие результаты применения, создал предпосылки к построению ИКС, реализующих расширенный перечень услуг (рис. 1).

Возможность создания полимодальных систем коммуникации обусловлена тем, что когнитивная наука, изучающая человеческие механизмы восприятия и межчеловеческое взаимодействие, обеспечила фундаментальную информацию для моделирования поведения абонента, а также информацию о том, как должны быть организованы много-модальные архитектуры.

Переход от многомодальных систем к полимодальным связан со сложным характером взаимодействия отдельных модальностей. И если при разработке многомодальных интерфейсов решаются задачи, связанные с синхронизацией, совместной обработкой и объединением входной информации, то в полимодальных системах дополнительно возникают проблемы, касающиеся разделения и передачи такой информации, ее представлением выходными модальностями.

Сигналы входных модальностей анализируются, кодируются и передаются, реализуя тем самым коммуникативную и отчасти интерактивную стороны общения подобно традиционным системам инфокоммуникаций. Их сопоставление с сигналами, используемыми в технологиях распознавания текстовой, акустической и визуальной информации, указывает на полное соответствие по одноименным каналам коммуникации.

В существующих методах и алгоритмах кодирования и распознавания речи в качестве входных данных выступают речевые и неречевые сигналы и паузы. Артикуляция губ выступает объектом анализа в задачах чтения по губам, с другой стороны, результаты исследований указывают на целесообразность ее объединения на уровне параметри-

ческого представления с дублирующейся информацией, получаемой по речевому каналу коммуникации. Аналогичный вывод справедлив и для методов распознавания речи, т.е. совместная обработка многомодальной информации позволяет повысить их эффективность.

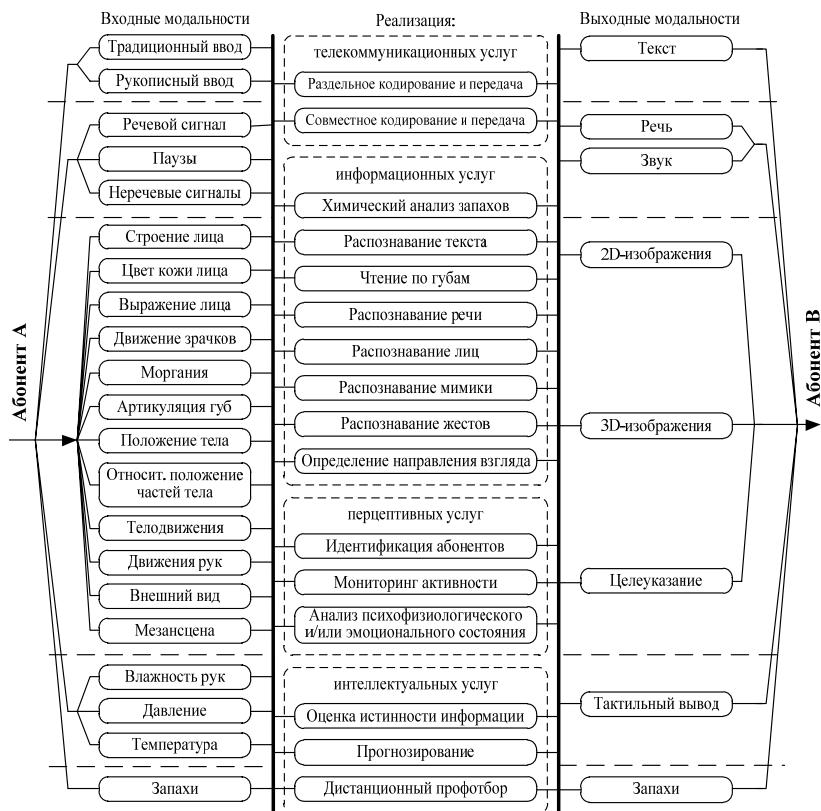


Рис. 1. Концептуальная модель реализации полимодальных услуг

Другие визуальные модальности отдельно исследуются в задачах распознавания лиц, мимики, жестов и определения положения тела человека и его взгляда. Их решения находят широкое применение в системах компьютерного зрения и распознавания жестовых языков, навигации и картографии, медицине. В то же время информация, получаемая по визуальному каналу коммуникации, подлежит кодированию и передаче посредством инфокоммуникаций. При этом в традиционных инфокоммуникационных системах она передается в виде подвижных низкоуровневых (как элемента некоторого математического пространства, например, в виде массива яркостей) изображений,

тогда как анализ отдельных визуальных модальностей в полимодальных системах позволяет применять структурные методы представления визуальной информации на основе контурных или аналогичных им описаний.

Интеграция на уровне принятия решения семантически различной информации, передаваемой по разным коммуникативным каналам, создает предпосылки для постановки задач более высокого уровня, например идентификации (аутентификации) абонентов [2], в том числе в условиях отклонения их психофизиологического [3] и эмоционального [4] состояний. Применение имеющихся и ожидаемых решений при синтезе полимодальных ИКС обеспечит перцептивную сторону общения (познание друг друга партнерами по общению), а их дальнейшая интеллектуализация (например, путем автоматизированной оценки истинности передаваемой информации [5]) позволит приблизить инфокоммуникационное взаимодействие абонентов к традиционному межличностному общению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Басов О.О., Саитов И.А. Основные каналы межличностной коммуникации и их проекция на инфокоммуникационные системы // Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 7(30). С. 122–140.
2. Басов О.О., Никитин В.В., Офицеров А.И., Стародубцев П.Ю. Способ биометрической аутентификации пользователя: Г06К 9/00. № 2014129267; заявл. 15.07.2014. 2 с.
3. Басов О.О., Носов М.В., Хахамов П.Ю. Повышение эффективности управления в условиях изменения психофизиологического состояния персонала // Труды СПИИРАН. 2014. Вып. 3(34). С. 112–135.
4. Басов О.О., Саитов И.А., Язупов В.А. Способ обнаружения эмоций по голосу: патент № 2510955; Российская Федерация: МПК G10L 15/00. № 2012109382/08; заявл. 12.03.2012; опубл. 10.04.2014. Бюл. № 10. 9 с.
5. Басов О.О., Саитов И.А. Способ определения ложности передаваемой информации по динамике параметров неверbalного поведения человека: патент № 2506048; Российская Федерация: МПК A61B 5/16. № 2012145655/14; заявл. 25.10.2012; опубл. 10.02.2014. Бюл. № 4. 14 с.

КАНАЛ ДОСТУПА CDMA2000

*Т.Б. Торниев, студент, Д.А. Покаместов, аспирант
г. Томск, ТУСУР, каф. TOP, dmaltomsk@mail.ru*

CDMA2000 – система широкополосного беспроводного доступа, основанная на технологии CDMA (Code Division Multiple Access – множественный доступ с кодовым разделением каналов), относящаяся к сетям связи 3-го поколения (3G). Данные сети получили широкое

распространение по всему миру благодаря высокой повышенной по сравнению с прошлым поколением стандартов скорости передачи и высокому качеству услуг. Для работы с радиоизмерительным оборудованием необходимо программное обеспечение, способное формировать и разбирать кадры сети. Для этих целей выполняется моделирование формирования логических подканалов системы CDMA2000 в среде MatLab. Данная статья посвящена вопросам формирования канала доступа.

Принцип кодового разделения каналов. При кодовом разделении каналов каждому индивидуальному каналу назначается свой характерный ключевой признак (код). Таким признаком может быть номер приемника получателя информации. Затем индивидуальные каналы объединяются в передатчике в групповой сигнал, который передается по каналу связи. Каждому индивидуальному каналу выделяется одна и та же самая широкая полоса частот, так что во время передачи каналы накладываются друг на друга, но поскольку их коды отличаются, они могут быть легко выделены на приемной стороне. Принцип кодового разделения каналов реализован в системах сотовой радиосвязи, использующей технологию многостанционного доступа CDMA [1].

Канал доступа обеспечивает соединение МС с БС, пока МС не настроилась на назначенный ей канал обратного трафика. Канал доступа используется для регистрации МС в сети, передачи на БС запроса на установление соединения, ответа на команды, переданные по каналу вызова, и др. Скорость передачи данных по каналу доступа фиксирована и составляет 4,8 кбит/с [2].

Процедура формирования сигнала в канале доступа представлена на рис. 1. Входные данные со скоростью 4,8 кбит/с подвергаются сверточному кодированию со скоростью 1/3. После кодирования скорость информационного потока в числе кодовых символов возрастает до 14,4 кбит/с. Двукратное повторение символов в устройстве повторения доводит символьную скорость до величины 28,8 кбит/с. Применение блкового перемежения в пределах 20 мс кадра не меняет скорости информационного потока, так что на ортогональный модулятор данные поступают с прежней скоростью в 28,8 кбит/с. Процедура формирования сигнала в канале доступа может быть представлена в следующем виде [2].

Входные данные со скоростью 4,8 Кбит/с подвергаются сверточному кодированию со скоростью $R = 1/3$. Сверточные коды – это коды, исправляющие ошибки, которые используют непрерывную, или последовательную, обработку информации короткими фрагментами (блоками). Сверточный кодер представляет собой последовательную машину или автомат с конечным числом состояний. Состояние кодера

определяется содержимым его памяти. После кодирования скорость информационного потока возрастает до $4,8 \times 3 = 14,4$ Кбит/с. Двукратное повторение символов в устройстве повторения доводит символьную скорость до величины 28,8 Кбит/с. Функциональная схема изображена на рис. 1 [3].

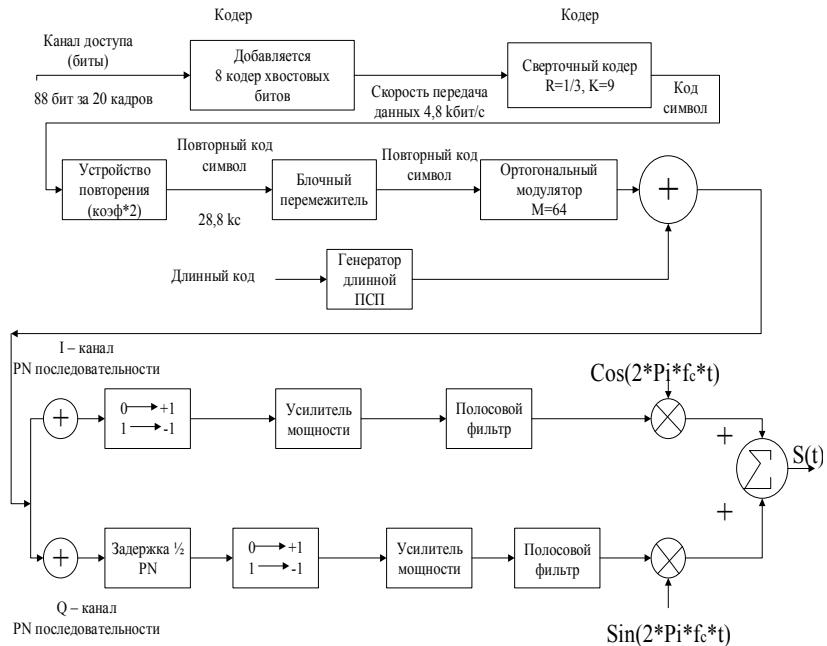


Рис. 1. Функциональная схема канала доступа

Информационный сигнал поступает на ортогональный модулятор. Ортогональный модулятор осуществляет дополнительное помехоустойчивое кодирование, используя функцию Уолша. В процессе кодирования поток двоичных символов на входе разбиваются на пакеты по 6 символов (рис. 2).



Рис. 2. Ортогональный модулятор с использованием функций Уолша

Каждый такой пакет однозначно определяет число от 0 до 63 в десятичной системе исчисления. На выходе ортогонального модулятора каждому пакету (6-разрядному двоичному числу) ставится в соответ-

ствие одна из 64 функций Уолша (десятичное значение 6-разрядного двоичного числа) (таблица).

Пример сформированных функций Уолша

Двоичное число	Десятичное число	Функция Уолша
000000	00	W0
000001	01	W1
000010	02	W2
101010	42	W42
111111	63	W63

В итоге скорость информационного потока на выходе ортогонального модулятора будет составлять

$$66/4 \times 28,8 = 307,2 \text{ Кбит/с.}$$

После расширения спектра и преобразования булевых символов (0,1) в двухполлярные символы (+1, -1) информационный поток далее поступает в квадратурные каналы базового модулятора.

Все АС данной соты (сектора) используют один и тот же короткий код, тот же, что в пилотном канале данной БС. Однако циклический сдвиг короткого кода фиксирован и одинаков для всех АС. Поскольку в обратном канале применяется квадратурно-фазовая манипуляция со сдвигом (OQPSK), то в Q-канале введем элемент задержки (ЛЗ) на половину длительности одного чипа [4].

Манипулированные таким образом сообщения переносятся на несущую частоту (модулируются), усиливаются по мощности, подвергаются полосовой фильтрации и направляются на антенну АС.

В настоящее время проводится моделирование формирования сигналов канала доступа в среде MatLab.

ЛИТЕРАТУРА

1. Невдяев Л. CDMA: кодирование и перемежение [Электронный ресурс]. Режим доступа: сайт: <http://www.osp.ru/nets/2000/12/141602>.
2. Портал информационно-образовательных ресурсов [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://study.urfu.ru/view/aid/47/1/channel_up.html#up
3. Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems Revision D 3GPP2 C.S0002-D Version 1.0 Date: February 13, 2004.
4. Схема формирования обратного канала доступа в стандарте IS-95 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://thebard.narod.ru/bel/20.htm/>

МОДЕЛЬ МНОГОЛУЧЕВОГО КАНАЛА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

*P.P. Абенов, Д.А. Покаместов, аспиранты,
В.А. Воробьев, магистрант*

г. Томск, ТУСУР, каф. ТОР, vorobuyov.valentin@gmail.com

К факторам, влияющим на распространение сигнала, относятся ослабление, эффект многолучевости, различного рода помехи и межсимвольная интерференция. В системах PLC, как и в беспроводных системах передачи данных, влияние на сигнал оказывает многолучевость, когда на вход приемника приходит несколько лучей, в том числе прямой (непосредственно от передатчика), и лучи, отраженные от особых точек.

Предположим, что в системе присутствует одна точка отражения. В таком случае модель принимает вид, изображенный на рис. 1.

Пусть точка А – передатчик, В – приемник. В этом случае на приемник приходит два луча – прямой луч АВ и луч, отраженный от точки С (AC-СВ). Анализируя подобные случаи, канал связи удобно рассматривать в виде, приведенном на рис. 2.

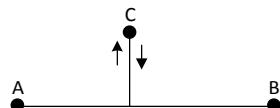


Рис. 1. Схема многолучевого канала с одной точкой отражения

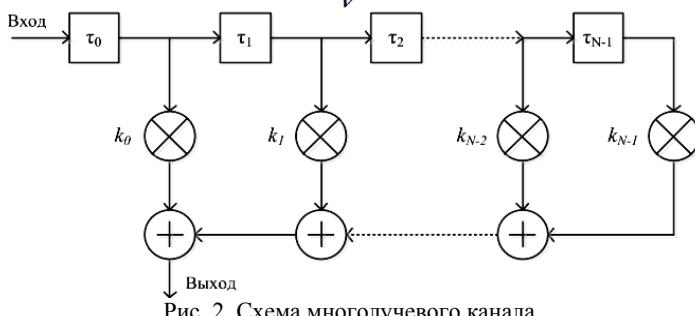


Рис. 2. Схема многолучевого канала

Здесь τ_i – задержка распространения луча в i -м канале; l_i – длина i -го канала; v – скорость распространения волны в среде; k_i – ослабление в i -м канале. Эта схема может быть описана формулой (1):

$$H(f) = \sum_{i=0}^{N-1} k_i e^{-2\pi f \tau_i}. \quad (1)$$

Если добавить к этой модели затухание в канале, зависящее от частоты передачи, то получим

$$H(f) = \sum_{i=0}^{N-1} q_i e^{-(a_0 + a_1 f^k) d_i} \times e^{-j 2\pi f \frac{d_i}{v_p}}, \quad (2)$$

где a_0 – смещение начала затухания, a_1 – увеличение затухания при росте частоты, N – количество лучей, k – показатель экспоненты затухания, d_i – длина задержки луча в метрах, q_i – константа ослабления i -го луча (таблица).

Параметры каналов

№	Кол-во лучей	Задержки лучей	Ослабления лучей
1	7	10 30 70 90 110 190 205	1 0,89 0,79 0,71 -0,39 0,13 0,091
2	9	10 30 150 310 370 710 1090 1730 2510	1 0,84 0,85 -0,66 0,93 -0,35 0,44 0,43 0,25 0,14
3	9	0 50 120 200 230 500 1600 2300 4620	0,896 -0,89 0,89 0,65 0,94 -0,92 0,71 0,56 0,44

Нормированные относительно максимума частотные характеристики этих каналов приведены на рис. 3.

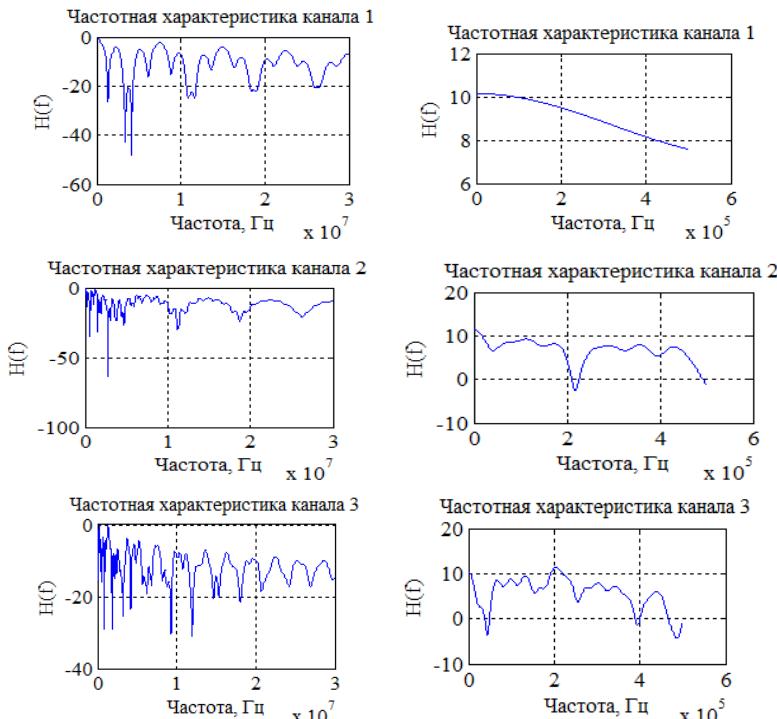


Рис. 3. Частотные характеристики каналов в диапазоне 0–30 МГц (слева)
и в диапазоне 0–500 кГц (справа)

Диапазон характеристик 0–30 МГц, шкала логарифмическая. Каналы 1–3 характеризуются большим количеством лучей переотражения. Отрицательные коэффициенты ослабления лучей соответствуют приходу переотражения в противофазе. В рамках выполняемой работы наиболее интересен диапазон 100–500 кГц.

Как видно из рис. 3, в канале 1 приведенные характеристики в данном диапазоне частот имеют практически линейную зависимость и относительно низкое затухание, что объясняется отсутствием в них переотраженных лучей с большой задержкой и лучей, идущих в противофазе.

В условиях развертывания сети PLC в жилом доме можно предположить, что максимальная задержка переотраженных лучей будет составлять не более нескольких сотен метров. В связи с этим можно сделать вывод об относительно стабильном канале в диапазоне до 500 кГц.

Полученная модель позволяет прогнозировать состояние канала в различных условиях многолучевости и параметров затухания канала, что делает ее применимой при проектировании и развертывании реальных сетей PLC.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gotz M., Rapp M. and Dostert K. Power Line Channel Characteristics and Their Effect on Communication System Design // Communications Magazine, IEEE. 2004. Vol. 42, Issue 4. P. 78–86.

СЕКЦИЯ 10

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

*Председатель секции – Катаев Михаил Юрьевич,
проф. каф. АСУ, д.т.н.;
зам. председателя – Суханов Александр Яковлевич, доцент
каф. АСУ, к.т.н.*

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УЧЁТА ДОКУМЕНТОВ ПО ЛИЧНОМУ СОСТАВУ

*В.А. Андреева, студентка каф. АСУ
Научный руководитель А.И. Исакова, доцент каф. АСУ, к.т.н.
г. Томск, TUSUR, aviktoriya02@gmail.com*

Кадровый учёт является неотъемлемой обязанностью любого предприятия. Часто в малых и средних организациях документы хранятся в бумажном виде или в файлах MS Word и Excel, что затрудняет работу с нужной информацией. В связи с этим возникла необходимость автоматизировать учёт кадровых документов в ООО «Васария», занимающемся добычей песчано-гравийной смеси.

Цель создания информационной системы (ИС) – автоматизация учёта документов по личному составу.

Функции ИС:

- ввод, обработка и хранение данных о сотрудниках предприятия;
- поиск необходимой информации по сотрудникам;
- формирование и учёт приказов по личному составу;
- составление договоров;
- учёт данных по отпускам;
- учёт данных по командировкам;
- ввод, просмотр и актуализация информации о листах нетрудоспособности;
- ввод, просмотр и актуализация информации, требуемой для воинского учёта.

Перед проектированием системы были рассмотрены существующие аналоги кадровых информационных систем, такие как «1С: Зарплата и управление персоналом 8. Базовая версия», «Кадры Плюс», «Отдел Кадров Плюс», «КАМИН: кадровый учёт», которые имеют свои преимущества и недостатки.

Для создания функциональной SADT-модели системы были изучены входные и выходные документы организации.

Информационная система состоит из трёх подсистем (рис. 1).

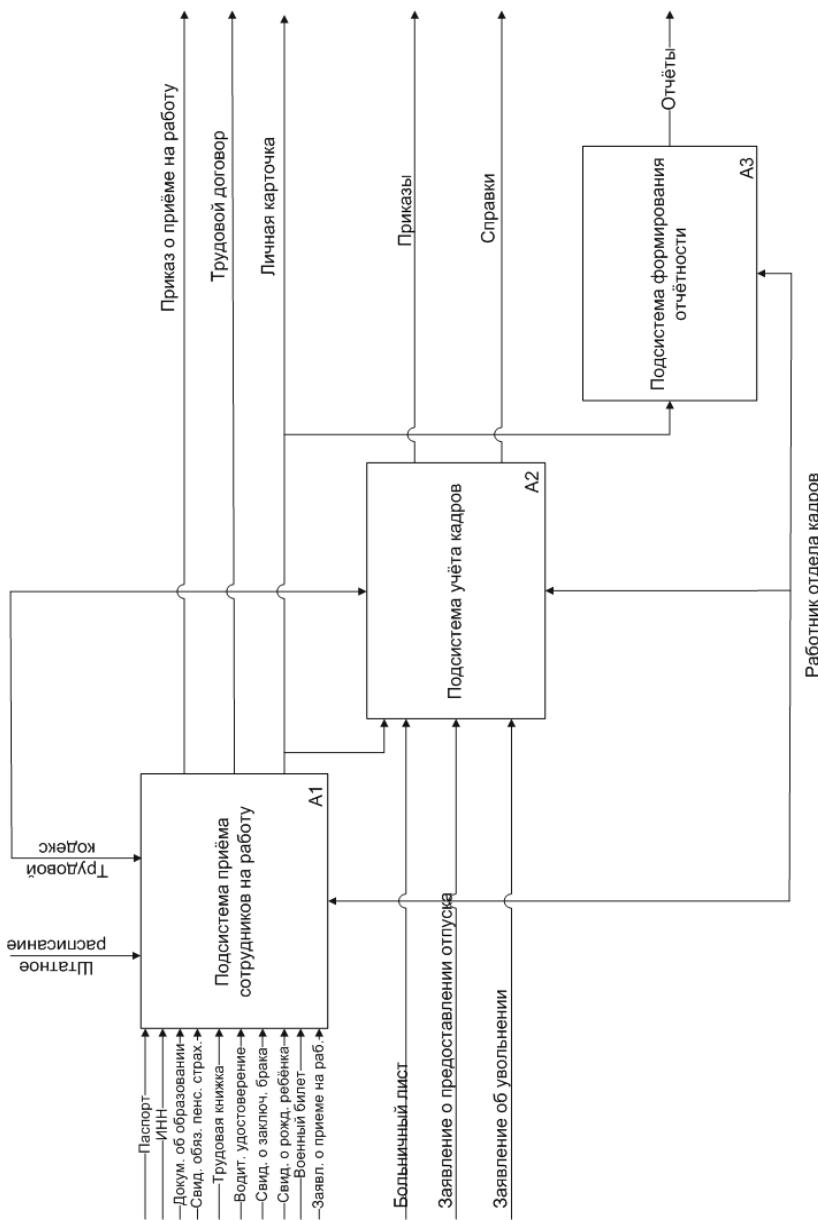


Рис. 1. SADT-диаграмма уровня А0

Подсистема А1 «Подсистема приёма сотрудников на работу» состоит из трёх модулей. В модуле А11 «Модуль анализа данных» выполняется анализ данных при принятии человека на работу. Для выполнения данной функции необходимы следующие документы: паспорт, трудовая книжка, документ об образовании и заявление о приёме на работу. Если человек прошел собеседование, составляется приказ о принятии на работу. Приказ о принятии должен включать ФИО, должность (рабочее место), дату и номер приказа.

В модуле А12 «Модуль составления трудового договора» производится составление трудового договора по предусмотренной форме. Трудовой договор заполняется при принятии сотрудника на работу. Содержит данные: фамилия, имя, отчество, табельный номер, должность (рабочее место), основание (номер и дата приказа о принятии на работу). После составления трудового договора в трудовую книжку заносится соответствующая отметка и формируется личное дело сотрудника.

В модуле А13 «Модуль формирования личного дела» заполняется личная карточка сотрудника. В ней хранятся паспортные данные и общие сведения о работнике. Кроме данных, необходимых для составления трудового договора (ФИО, рабочее место (должность), номер приказа о принятии), содержит табельный номер сотрудника, личные и другие данные.

Подсистема А2 «Подсистема учёта кадров» предназначена для учёта документов по перемещению сотрудников, повышению квалификации, увольнению, временной нетрудоспособности, отпускам и др.

Подсистема А3 «Подсистема формирования отчётности» предназначена для составления различных отчётов в Пенсионный фонд, органы статистики и других отчётов.

На основании имеющейся информации построена концептуальная модель (рис. 2).

Для создания интерфейса системы выбрана среда Delphi, в качестве СУБД – Microsoft Access.

Разработанная информационная система позволит:

- сократить время на обработку и поиск необходимой информации;
- снизить количество ошибок при обработке информации;
- повысить эффективность работы специалиста по кадрам;
- обеспечить сохранность конфиденциальных данных.

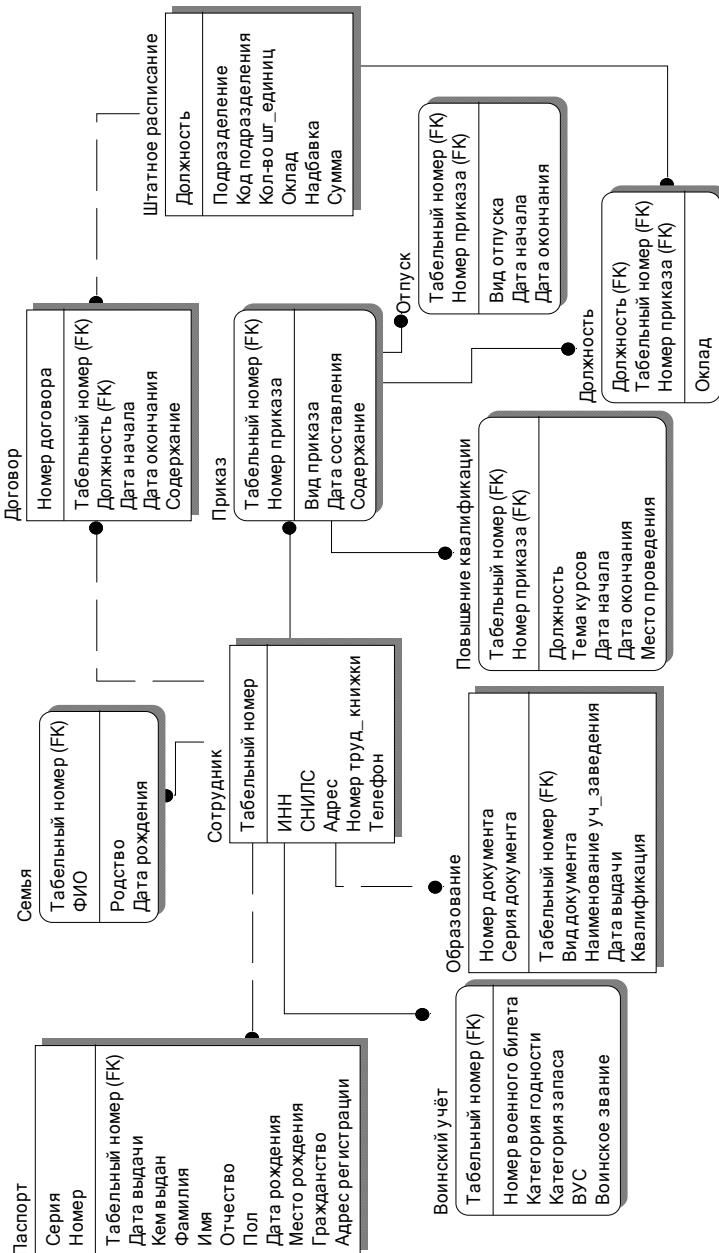


Рис. 2. Диаграмма FA-уровня модели

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОИСК НА КОМПЬЮТЕРЕ

В.С. Анишин, студент

Научный руководитель М.Ю. Катаев, профессор каф. АСУ, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, prince_tails@mail.ru

Проект ГПО АСУ-1304 «AVATAR»

Центральная задача ИП – помочь пользователю удовлетворить его информационную потребность. Так как описать информационные потребности пользователя технически непросто, они формулируются как некоторый запрос, представляющий собой набор ключевых слов, характеризующий то, что ищет пользователь [2].

Классическая задача ИП, с которой началось развитие этой области, – это поиск документов, удовлетворяющих запросу, в рамках некоторой статической коллекции документов [1].

Целью работы является разработка информационного поиска в компьютере для интеллектуального помощника AVATAR.

Для разработки своей системы необходимо рассмотреть поиск информации в операционной системе Windows.

Поиск в Windows имеет древовидную структуру. При поиске система создаёт дерево системы и, используя нисходящий поиск, просматривает документы на правильность соответствия запросу. По завершении поиска система поиска выдаст все найденные соответствия пользователю.

Поиск в Windows позволяет также просматривать текстовые документы и документы, созданные посредством ПО Microsoft Office, но имеет недостаток – просматривает только первую страницу документа, и если не было найдено соответствий, при их наличии в документе, в результаты документ не попадёт.

Из анализа можно сделать вывод, что разрабатываемая система должна устраниТЬ все недостатки поиска в Windows и расширить возможности поиска, путём просмотра других форматов документов.

Разрабатываемая система поиска должна работать по схеме на рис. 1.



Рис. 1. Схема работы системы поиска информации на компьютере в AVATAR

Ниже представлена последовательность шагов поиска.

1. Сформированный пользователем запрос направляется и запускает систему поиска.

2. Строится дерево директорий и файлов, как при поиске MS Windows.

3. Каждый документ обрабатывается следующим образом:

- Если имя документа совпало с именем запроса, то документ добавляется в результаты.

- Иначе начинается просмотр содержимого документа при условии, что этот документ текстовый и имеются средства к его открытию.

- Если запрос был найден внутри документа, то документ заносится в результаты.

- Иначе, если текст запроса имеет более одного слова, то поиск осуществляется путём перебора фраз и при соответствии модифицированному запросу документ добавляется в список результатов.

- Если предыдущие шаги завершились неудачей, то запрос формируется в семантическую паутину и документ просматривается с поиском удовлетворения предметной области.

- Иначе документ отбрасывается и обрабатывается следующий документ из очереди.

4. Составляется структурный список результатов по расширению файлов и все найденные документы переносятся в удобное для пользователя место. Это также структурируется по типу, каким из шагов алгоритма был найден результат.

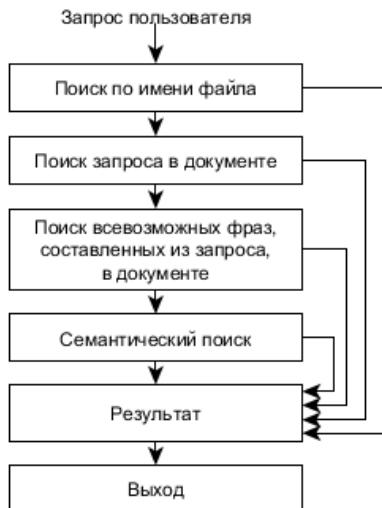
Поиск по файлам, созданным ПО Microsoft, осуществляется путём API Visual Studio For Office. API в фоновом режиме запускает ПО для открытия документа, открывает и осуществляет поиск в документе. Пользователь в это время может заниматься посторонними задачами. После просмотра документа API закрывает документ. При помощи Visual Studio For Office можно открыть и просмотреть все документы, созданные в Microsoft Office. Просмотр файлов формата «*.pdf» осуществляется с помощью библиотеки Foxit PDF Merger, которая работает по принципу Visual Studio For Office.

Файлы формата «*.pdf» и «*.djvu» могут представлять внутреннюю структуру не в виде текста, а в виде изображений. Поэтому система поиска должна это учитывать и пытаться распознать текст в подобных файлах.

На рис. 2 представлена внутренняя схема работы поиска.

На данном этапе разработан прототип программы и реализованы некоторые функции. Прототип программы по запросу пользователя проверяет все файлы на компьютере на соответствие имени файла запросу. При поиске просматриваются текстовые файлы на содержание в

них текста запроса, так же реализован просмотр документов Microsoft Word. При помощи библиотеки «Visual Studio For Office» была осущес-



ствлена работа с документами Microsoft Word. Если поиск по всему запросу завершился неудачей, то запрос разбивается на составляющие, формируются отдельные фразы и совершается поиск в документе по подзапросу. Все документы, которые в результате поиска соответствовали запросу пользователя, помещаются в специальный каталог.

Рис. 2. Внутренняя схема работы системы поиска AVATAR

В перспективе имеется возможность добавить в систему семантический поиск и расширить список доступных для просмотра форматов, добавив в него документы, содержащие в своей структуре изображения, а также интегрировать систему поиска в проект AVATAR.

ЛИТЕРАТУРА

1. Информационный поиск [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Информационный_поиск (дата обращения: 14.10.2014).
2. Manning C., Raghavan P., Schütze H. Введение в информационный поиск. Cambridge University Press, 2008.

CRM-СИСТЕМА КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИЗНЕСА

С.Т. Байдилдаев, студент каф. АСУ ТУСУРа

*Научный руководитель С.Л. Миньков, зав. каф. НИ ТГУ, к.ф.-м.н.
г. Томск, baidildaevsula@gmail.com*

В современных условиях основной стратегией успешного существования и развития компаний становится эффективное управление взаимоотношениями с клиентами. Ориентация компаний на усовершенствование отношений с клиентами обусловлена рядом тенденций, увеличением количества компаний и вследствие этого усилением кон-

куренции, повышением требований покупателей к качеству предлагаемых продуктов и уровню сервиса. В данных условиях значимость каждого клиента повышается, а значит, необходимо предоставить ему максимально безупречный сервис и уделить внимание всем его потребностям. Для обеспечения эффективной работы с покупателями компании необходимо принять концепцию по управлению взаимоотношениями с клиентами, называющуюся CRM (Customer Relationship Management). CRM-система представляет собой прикладное программное обеспечение, предназначенное для автоматизации стратегий взаимодействия с клиентами, в частности, для повышения уровня продаж, оптимизации маркетинга и улучшения обслуживания клиентов путём сохранения информации о клиентах и истории взаимоотношений с ними, установления и улучшения бизнес-процессов и последующего анализа результатов.

Целью данной работы является разработка информационной системы уровня CRM специально для предприятия ТОО «ОКС-Строй», являющегося реселлером строительных материалов в городе Астана, Республика Казахстан. Отдел продаж данной компании испытывает определенные проблемы с обработкой обращений клиентов, и из-за высокой текучести кадров некоторые сделки оставались в «подвешенном» состоянии, что вызывало крайне негативное впечатление клиентов о компании и уменьшало величину возможной прибыли компании. Поэтому руководством компании было решено провести автоматизацию взаимодействия с внешними клиентами компании и на основе этой цели были определены следующие задачи для будущей информационной системы:

- 1) управление каталогом товаров;
- 2) управление взаимодействием с клиентами;
- 3) управление потенциальными и заключенными заказами;
- 4) управление контактами компании;
- 5) управление задачами/делами сотрудников и их взаимодействие.

Информационная система состоит из 4 подсистем: подсистема контактов, подсистема товаров, подсистема сделок и предложений, подсистема контактов. Подсистема контактов хранит данные о клиентах, партнерах, конкурентах, поставщиках и сотрудниках фирмы и передает эти данные в другие подсистемы. Подсистема товаров хранит полные сведения о товаре и его количестве на складах фирмы. Подсистема сделок и предложений хранит данные о сделках компании, ее лидах и предложениях, поступивших от клиентов, также генерирует коммерческие предложения и счета на оплату. Подсистема дел хранит данные о задачах, поставленных перед сотрудниками, встречи, звонки и письма, которые должен совершить тот или иной сотрудник. Далее

после изучения входных и выходных документов и анализа поставленных задач была построена функциональная SADT-модель информационной системы. SADT-модель уровня А0 «Подсистема сделок и предложений» (рис. 1).

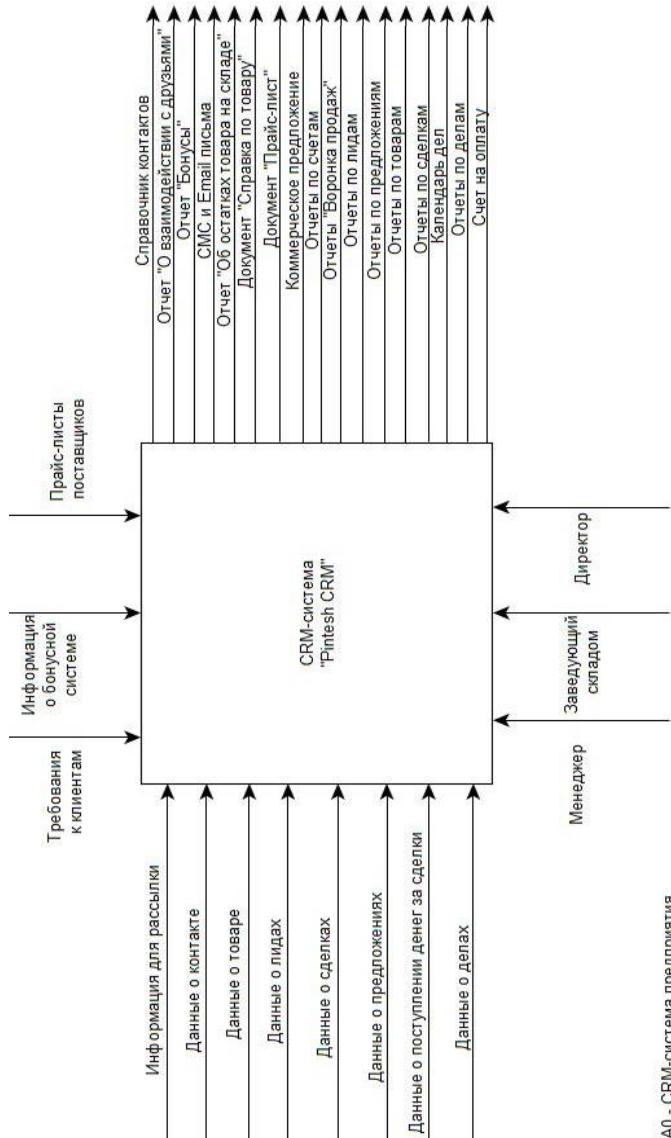


Рис. 1. SADT-модель уровня А0 «CRM-система предприятия»

Далее на основе функциональной модели была построена концептуальная FA-модель, отражающая сущности и атрибуты сущностей созданной базы данных (рис. 2).

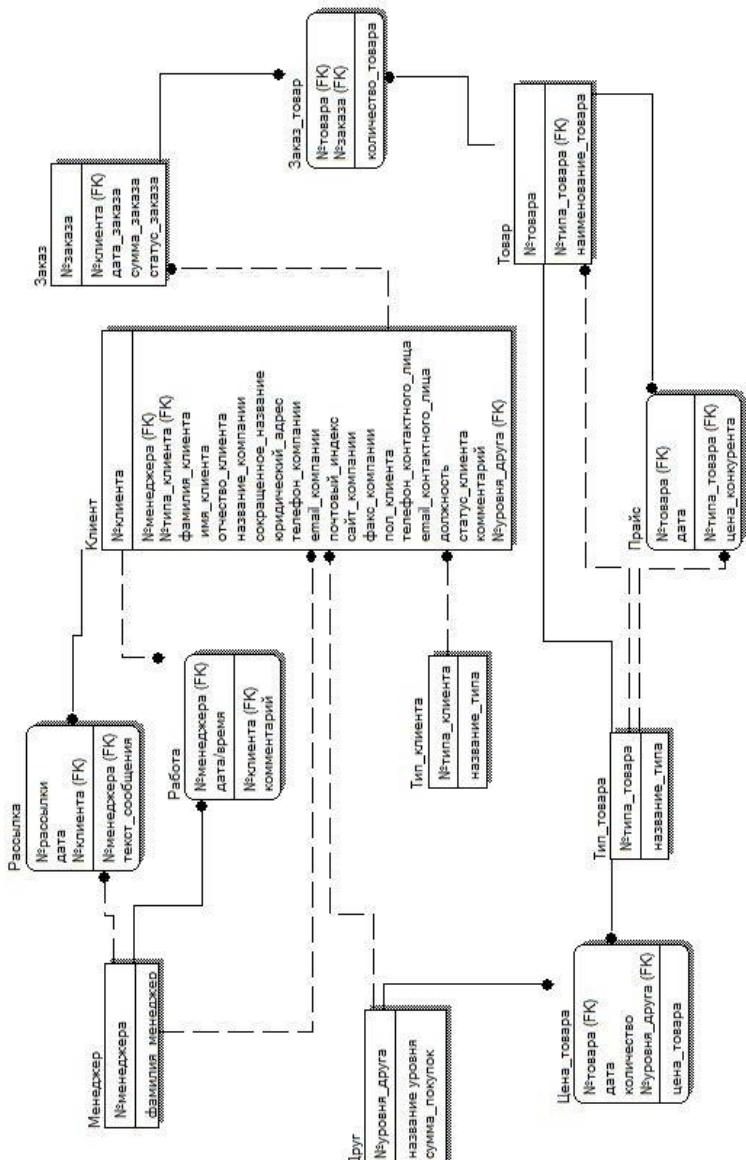


Рис. 2. ER-диаграмма концептуальной модели информационной системы

На следующем этапе был проведен поиск аналогов данной CRM-системы. Среди аналогов были выделены 2 группы CRM-систем, работающих на разных технологиях. Это SaaS-системы и standalone. SaaS-системы – это система, размещающаяся на стороннем сервере, а компании предоставляется online-доступ к системе через браузер. Standalone-система устанавливается на собственный сервер и используется подключенными к нему компьютерами.

В данном случае реализуется система типа standalone из-за отсутствия возможности подключения здания, в котором располагается компания, к высокоскоростному Интернету, который потребуется для SaaS-системы. Кроме того, компания располагает своим собственным сервером, образующим со всеми компьютерами компании общую локальную сеть. Для standalone-систем были рассмотрены следующие аналоги: Клиент Коммуникатор, Terrasoft CRM, RegionSoft CRM, FreshOffice CRM, Sales Expert, АПЕК CRM.

Каждая из перечисленных систем является полноценной CRM-системой, выполняющей все базовые задачи. Однако все эти системы существенно различаются в: особенностях установки, разворачивания и обслуживания; актуальности предлагаемого функционала; пригодности для конкретного масштаба бизнеса и количества пользователей; дружелюбности интерфейса и юзабилити CRM в целом; прозрачности ценовой политики; способности развиваться и осуществлять качественную поддержку продукта. После сравнения систем на вышеперечисленные особенности было выявлено, что более целесообразным является создание собственной CRM-системы, учитывающей специфику реселлера строительных материалов.

**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА СОПРОВОЖДЕНИЯ
КРЕДИТНЫХ СДЕЛОК**
ОАО «КОРПОРАЦИЯ РАЗВИТИЯ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ»

A.Н. Бельц, студентка каф. АСУ
Научный руководитель А.И. Исакова, доцент каф. АСУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, annita-bb@yandex.ru

Информационная система есть совокупность технического, программного и организационного обеспечения, а также персонала, предназначенная для того, чтобы своевременно обеспечивать надлежащих людей надлежащей информацией [1].

Объектом исследования является ОАО «Корпорация развития Томской области», которая занимается бесперебойным обеспечением топливно-энергетическими ресурсами (сырой нефтью, углем, ГСМ)

предприятий ЖКХ, социальной сферы и сельхозтоваропроизводителей Томской области.

Кроме поставок топлива ОАО «Корпорация развития ТО» осуществляет следующие виды деятельности (по мере убывания выручки):

- оказание услуг по поставке нефти;
- оказание услуг по хранению угля;
- оказание консультационных услуг по закупкам;
- оказание транспортных услуг;
- проведение проектных работ [2].

Для осуществления данных видов деятельности необходим большой объем денежных средств. В случае их нехватки ОАО «Корпорация развития ТО» берет кредиты у банков.

Поэтому целью данной работы является создание информационной системы, автоматизирующей кредитные расчеты, сокращающей время на наиболее трудоемкие и рутинные операции, до сих пор выполняемые сотрудниками вручную. Задача информационной системы – обеспечить руководство предприятия финансовой информацией для принятия обоснованных решений при выборе альтернативных вариантов использования ограниченных ресурсов.

Решение. В организационной структуре предприятия существует отдел, отвечающий за кредитные сделки, – отдел экономического анализа и финансового контроля.

Входной информацией в информационной системе являются договор об открытии кредитной линии (заключается с каждым банком), план движения денежных средств (составляется в каждом отделе на следующий месяц) и бухгалтерская информация.

К выходной информации относятся сформированный пакет документов в банк (для получения кредита) и заявление о предоставлении кредита, а также заявления для осуществления транша (перечисление и погашение), составляется отчет о долговых обязательствах организации.

На основе входной и выходной информации была спроектирована SADT-модель данной предметной области.

Методология SADT (Structured Analysis and Design Technique) представляет собой совокупность методов, правил и процедур, предназначенных для построения функциональной модели объекта какой-либо предметной области. Функциональная модель SADT отображает функциональную структуру объекта, т.е. производимые им действия и связи между этими действиями.

Одной из наиболее важных особенностей методологии SADT является постепенное введение все больших уровней детализации по мере создания диаграмм, отображающих модель. Общее представление системы отражено на рис. 1.



Рис. 1. SADT-модель уровня А'0 информационной системы

Бухгалтерская информация помогает руководителям не только понять и проанализировать итоги, но и прогнозировать результаты деятельности предприятий при принятии различных решений.

Методами управления данной системой являются «Положение о секторе финансового контроля и экономического анализа» и законодательная и нормативно-методическая документация.

Пользователем системы будет специалист отдела финансового контроля и экономического анализа, так же данная информация будет полезна для финансового директора предприятия.

Аналогами разрабатываемой системы являются банковские информационные системы и онлайн калькуляторы для расчета кредита. В банковских информационных системах можно выделить такие программные продукты, как Diasoft FA#, RS-Bank V.6, Центавр Омега, БИСквит. В настоящее время рынок программных продуктов для кредитных организаций представлен широким спектром систем, различающихся как функциональной частью, так и технической реализацией, аппаратной платформой, уровнем системного сервиса, методами защиты информации и т.д. Онлайн кредитные калькуляторы доступны на электронных ресурсах, просты и понятны в использовании, позволяют выбрать оптимальный вариант по разным критериям: максимально доступной заемной сумме, максимальному сроку кредитования, оптимально посильному ежемесячному платежу.

В качестве СУБД разрабатываемой системы, был выбран Microsoft Access. В данной программе предусмотрены все необходимые средства для определения и обработки данных, а также для управления ими при работе с большими объемами информации [3].

Выводы. Для принятия правильных решений по финансовым вопросам, связанным с кредитными операциями, создана информационная система. Следовательно, специалисты по управлению финансами имеют возможность доступа к фактическим данным, которые основываются на достоверной базе данных, и анализа информации о выплаченных суммах и процентах за кредит.

ЛИТЕРАТУРА

1. Информационные системы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://alexandr-kisele2011.narod.ru/inform.html> (дата обращения: 27.02.2015).
2. ОАО «Корпорация развития Томской Области» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://krto.tomsk.ru/> (дата обращения: 05.03.2015).
3. Лори Ульрих Фуллер, Кен Кук, Джон Кауфельд. Microsoft Office Access 2007 для «чайников» / Пер. с англ. М.: Диалектика, 2007. 384 с.

АЛГОРИТМ АНАЛИЗА АКУСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ БРОНХО-ЛЕГОЧНОЙ СИСТЕМЫ

**И.С. Сидоренко, В.Ю. Белоусов, студенты каф. АСУ,
Д.С. Жданов**

*Научный руководитель А.М. Кориков, зав. каф. АСУ, профессор, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, innasidor93@yandex.ru*

Болезнь лёгких – одно из распространённых заболеваний по всему миру. Причины возникновения заболеваний легких разные, в странах с высоким и средним уровнями дохода табачный дым является самым серьезным фактором риска, тогда как в странах с низким уровнем дохода заболевания легких вызваны воздействием загрязненного воздуха внутри помещений, например в результате использования в качестве топлива биомассы.

Считается, что ХОБЛ (хронические обструктивные болезни легких) занимают 4-е место в мире и 3-е место в Европе среди причин смерти. Различные виды легочных инфекций, таких, как острый бронхит, пневмония и туберкулез, также вносят значительный вклад в статистику смертей от легочных заболеваний. Известно, что ранняя диагностика и соответствующая терапия гарантируют излечение от этих заболеваний, существенно снижают риск возникновения нежелательных осложнений [1].

Один из способов диагностики бронхо-легочных заболеваний – аускультация легких. Этот метод имеет ряд недостатков, обусловленных субъективностью восприятия получаемых данных врачом. С появлением рентгенологических и эндоскопических методов исследований аускультация в диагностике снизила свою популярность.

Субъективность восприятия дыхательных шумов можно объяснить индивидуальными особенностями человеческого слуха, которые могут быть врожденными либо приобретенными с возрастом.

Для устранения этой субъективности существуют электронные стетоскопы (Littman 3100, 3200, 44100 (США), JABES (Республика Корея), которые позволяют записывать звуки дыхания и анализировать их для постановления предварительного диагноза. Он ставится на основании сравнения получаемых данных с некоторым набором эталонных сигналов. Также на рынке медицинской техники присутствует бронхограф «ПАТТЕРН-01». Данный бронхограф предоставляет возможности оценки врачом спектральных характеристик дыхания пациента. Использование данного комплекса возможно лишь после специальной подготовки врача. Под подготовкой понимается получение врачом навыка интерпретации предоставляемых бронхографом «ПАТТЕРН-01» данных, что только повышает субъективность оценки состояния пациента.

Для решения этой проблемы предложена методика, при которой разрабатывается алгоритм обработки и анализа акустических данных бронхо-легочной системы человека.

Выделим основные этапы реализации этого метода:

- а) предварительная обработка акустических сигналов бронхо-легочной системы человека;
- б) выделение циклов вдоха и выдоха человека на обрабатываемых акустических сигналах;
- в) построение математических моделей выделенных циклов вдоха и выдоха человека;
- г) сравнение эталонных математических моделей с математическими моделями, получаемыми при анализе обрабатываемого акустического сигнала бронхо-легочной системы человека.

Предварительная обработка – избавление сигнала от шумов, фильтрация сигнала от звуков сердцебиения и других внешних факторов. С помощью некоторых свойств автокорреляционной функции выделяется фаза вдоха и выдоха, эти отрезки представляются в виде траекторных матриц и подвергаются фазовременному анализу для последующего сравнения с эталонным сигналом. Сравнение осуществляется при помощи выявления параметра, меры сходства, двух звуковых фрагментов. Для его вычисления необходимо сравнить спектрограммы этих фрагментов, сначала сравниваются спектры, полученные в отдельном окне, а затем вычисленные значения усредняются. Предположим, что $X[1..N]$ и $Y[1..N]$ – массивы чисел одинакового размера N , содержащие значения спектральной мощности первого и

второго фрагмента соответственно. Тогда мера сходства между ними вычисляется по следующей формуле:

$$f_{xy} = \frac{\sum_i (x_i - M_x)(y_i - M_y)}{\sqrt{\sum_i (x_i - M_x)^2} \sqrt{\sum_i (y_i - M_y)^2}},$$

M_x и M_y – математические ожидания массивов X и Y соответственно, вычисляющиеся по следующей формуле:

$$M_z = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_i.$$

Данный метод является перспективным, позволяет выявить такие патологии в дыхании, как хрипы, свисты, которые будут указывать на принадлежность к конкретному заболеванию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кривонос П.С., Крыжановский В.Л., Лаптев А.Н. Функциональные методы исследования легких: учеб.-метод. пособие. Минск: БГМУ, 2009. 62 с.

СИСТЕМА ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА ПО ТЕКСТУ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ

И.В. Черноусов, студент каф. АСУ

Научный руководитель И.В. Безходарнов,

исп. директор ООО «Томсксофт»

г. Томск, ТУСУР, krusnik.viers@gmail.com

Обработка естественного языка – одна из наиболее давних и актуальных задач искусственного интеллекта и математической лингвистики. На сегодняшний день темой большого количества теоретических и практических исследований является тема построения автоматизированных человеко-машинных систем, которые реализуют комплекс функций по извлечению и обработке знаний. В большинстве случаев под знаниями понимается нечто, выражющееся на естественном языке и изначально содержащееся либо в тексте, либо в голове эксперта [1].

Проблема извлечения, представления и обработки знаний остро встает во многих прикладных областях. Построение естественноязыковых интерфейсов, анализ текстов и их рецензирование, поиск по некоторой базе документов и автоматическая коррекция – лишь немногие применения этой области искусственного интеллекта. При этом все еще не существует каких-то стандартных подходов к реше-

нию этой проблемы. Большинство методов, применяемых на практике, все еще экспериментальны по своей сути и продолжают активно развиваться.

Несмотря на отсутствие общепринятых стандартов, здесь уже имеются значительные наработки. Эта область науки равно развивается как крупнейшими университетами, так и коммерческими компаниями – такими, как Google, ABBYY и Яндекс. Однако большинство известных алгоритмов и технологий обработки текстов сводится к выделению их тематики, смысла, настроения или же релевантности некоторому запросу пользователя. Практически неосвещенным остается вопрос дополнения извлеченных знаний или даже генерации новых знаний из уже имеющихся текстов.

Областью применения данной работы служит система для автоматизации работы службы поддержки. Широко распространено следующее явление: в звонке или письме в службу поддержки пользователи задают вопросы, касающиеся специфических особенностей некоторого товара. Однако эти письма и звонки обрабатываются людьми, которые должны отвечать на совершенно любые вопросы. Такой разброс внимания приводит к тому, что зачастую сотрудники не могут удержать в голове сразу все аспекты работы с товаром, а их нарастающее количество обеспечивает рост численности отдела поддержки при снижении его эффективности. Автоматизация процесса обработки элементарных запросов и сортировки более сложных способна снять большую нагрузку с предприятия, обеспечив значительную финансовую выгоду, и при этом увеличить удовлетворенность пользователя продуктом благодаря снижению задержек в обслуживании.

На текущем этапе работы, исследуется возможность извлечения из текста дополнительных смыслов с помощью статистического анализа приведенного текста. При этом полученные смыслы представляются в векторном виде. В конце 80-х годов векторная модель была предложена как альтернатива лексическому бесконтекстному индексированию. В простейшем случае векторная модель предполагает соопоставление каждому документу частотного спектра слов и соответственно вектора в лексическом пространстве. В процессе поиска частотный портрет запроса рассматривается как вектор в том же пространстве и по степени близости (расстоянию или углу между векторами) определяются наиболее релевантные документы. В более продвинутых векторных моделях размерность пространства сокращается отбрасыванием наиболее распространенных или редко встречающихся слов, увеличивая тем самым процент значимости основных слов [2]. В настоящее время эта же модель применяется не только для отображения смысла целых документов, но и для представления отдельных понятий.

Основой для отображения слов в векторное пространство был выбран алгоритм GloVe, разработанный группой ученых из Стэнфорда. GloVe является алгоритмом, работающим без учителя. Обучение проводится на агрегированных статистиках вида «слово-слово», характеризующих совместные появления двух слов в корпусе и в результате демонстрирующих интересные линейные подструктуры векторного пространства.

Метрики подобия, используемые для оценок соседства, оценивают близость понятий одним числом. Эта простота может стать проблемой, поскольку два слова почти всегда обнаруживают более сложные отношения, чем те, которые могут быть описаны одним числом. Для того чтобы отобразить множество нюансов, необходимо ввести между понятиями сразу множество характеристик. Естественным и простым кандидатом на такое расширение является векторизация представления слова, а степенью близости выступает разность векторов между двумя словами [3].

Была произведена модификация алгоритма, затронувшая как его входные, так и выходные данные. Над входными данными была произведена первичная обработка (перевод слов в единый регистр, токенизация и стемминг с использованием алгоритма Портера [4]). Выходные же данные кластеризовались с использованием алгоритма K-средних [5]. После произведения этих операций удалось получить из текста смысловые наборы понятий, которые относятся к некоторым узким предметным областям – так, например, в отдельные кластеры выделяются слова, относящиеся к обучению в вузах или государственному строю. Однако поскольку система статистическая и не имеет представления о значении этих слов для человека, в её представлении все эти кластеры равнозначны.

Таким образом, направление векторного анализа слов является достаточно перспективным для дальнейших исследований, поскольку обладает, с одной стороны, достаточной полнотой представления смысла слов естественного языка, а с другой – позволяет значительно повысить скорость обработки по сравнению с семантическими сетями или логикой предикатов. Выигрыш достигается благодаря возможности применять к словам операции линейной алгебры, которые к тому же легко могут вычисляться параллельно на современных ЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА

3. Ермаков А.Е. Извлечение знаний из текста и их обработка: состояние и перспективы // Информационные технологии. 2009. №7.
4. Моченов С.В., Бледнов А.М., Луговских Ю.А. Векторная модель представления текстовой информации // Современные информационные технологии и письменное наследие: от древних рукописей к электронным текстам: Матер. междунар. науч. конф., 13–17 июля 2006 г. Ижевск, 2006.

5. Pennington J., Socher R., Manning C.D. Global Vectors for Word Representation // Stanford Publications [Электронный ресурс] URL: <http://nlp.stanford.edu/pubs/glove.pdf> (дата обращения: 03.03.2015).
6. Стэммер Портера для русского языка [Электронный ресурс]. URL: <http://blog.eigene.in/post/49598738049/snowball/> (дата обращения: 04.03.2015).
7. Алгоритм кластеризации K-Means // Интеллектуальный анализ данных [Электронный ресурс]. URL: <http://intellect-tver.ru/?p=265> (дата обращения: 03.03.2015).

СОСТАВЛЕНИЕ И ОЦИФРОВКА БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В ФОНДЕ СОЦИАЛЬНОГО СТРАХОВАНИЯ

М.О. Денисенко

*Научный руководитель М.Ю. Катаев, профессор каф. АСУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, Denisenko2112@gmail.com*

В настоящее время многие компании и организации работают по старинке, опираясь на опыт, приобретённый в советское время. Времена меняются, и новый подход для ведения дел однозначно необходим. Реструктуризация в фирме требует серьезного подхода к работе. Фонд социального страхования – один из государственных внебюджетных фондов, созданный для обеспечения обязательного социального страхования граждан России. Как и в любой другой организации, деятельность производится по определенному плану, алгоритму. Для нас алгоритмами являются бизнес-процессы, которые и структурируют работу фонда.

Бизнес-процесс – это регулярно повторяющаяся последовательность взаимосвязанных мероприятий (операций, процедур, действий), при выполнении которых используются ресурсы внешней среды, создается ценность для потребителя и выдается ему результат [1].

Составление бизнес-процессов – важная составляющая построения модели предприятия в любой системе бизнес-моделирования. Не построив бизнес-процессы, вы не сможете сгенерировать должностные инструкции, не увидите реальную загрузку персонала и не сможете провести полноценный анализ организационной структуры.

Составление бизнес-процессов может проходить в различных нотациях, всевозможных редакторах, здесь выбор стоит за руководством.

Оцифровка бизнес-процессов. На стадии оцифровки, для точности выполнения работы, за основу берутся готовые или разработанные бизнес-процессы, и с учетом времени, затраченного на завершение всего цикла процесса, составляются новые бизнес-процессы. Эти бизнес-процессы являются идеальной моделью работы организации, которая показывает, на сколько можно сократить работу специалиста [2].

Деятельность фонда

1. Обязательное социальное страхование на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством.
 - 1.1. Пособия, выплачиваемые Фондом.
 - 1.2. Экспертиза нетрудоспособности.
 - 1.3. Недействительные бланки листков нетрудоспособности.
2. Обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профзаболеваний.
 - 2.1. Нормативные акты.
 - 2.2. Страховые тарифы и классификация видов экономической деятельности по классам профессионального риска.
 - 2.3. Расчет и порядок внесения капитализируемых платежей при ликвидации юридических лиц.
 - 2.4. Формы документов, необходимых для расследования и учета несчастных случаев.
 - 2.5. Медицинская, социальная и профессиональная реабилитация.
 - 2.6. Перечень здравниц для санаторно-курортного лечения лиц, пострадавших от несчастных случаев на производстве и профзаболеваний.
3. Выполнение государственных социальных обязательств по поручению Правительства РФ.
 - 3.1. Родовые сертификаты.
 - 3.2. Обеспечение инвалидов техническими средствами реабилитации, отдельных категорий граждан из числа ветеранов протезами (кроме зубных протезов), протезно-ортопедическими изделиями за счет средств федерального бюджета.
 - 3.3. Обеспечение граждан – получателей социальных услуг путевками на санаторно-курортное лечение, а также бесплатным проездом к месту лечения и обратно за счет средств федерального бюджета.

Бизнес-процессы и их уровни

№	Сокращение	Описание	Уровень
1	БП1	Прием отчета 4ФСС	Стратегический
2	БП2	Формирование квартального отчета	Тактический
3	БП3	Начисление и контроль штрафов, пени (К – камеральщик)	Стратегический
4	БП4	Прием и регистрация документов, корреспонденции	Тактический
5	БП5	Возмещение расходов по письмам с промежуточными отчетами	Тактический
6	БП6	Консультации по вопросам социального страхования	Стратегический
7	БП7	Функции отдела кадров	Тактический
8	БП8	Работа с банком (перечисление, контроль, работа со страхователем)	Тактический

В таблице представлено 8 интересующих нас бизнес-процессов, на основе которых и происходит оцифровка. Процесс очень трудоемкий и требует концентрации внимания. Упустив один небольшой момент, можно вывести из строя весь алгоритм.

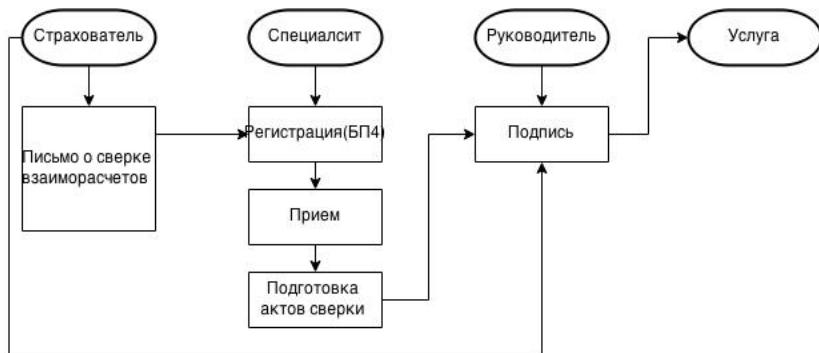


Рис. 1. Бизнес-процесс 7 – «Консультации по вопросам социального страхования»

В результате работы была изучена структура работы ФСС, разработаны бизнес-процессы, произведена первичная оцифровка бизнес-процессов, изучены литература и программные средства для моделирования бизнес-процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Войнов И.В., Пудовкина С.Г., Телегин А.И. Моделирование экономических систем и процессов. Опыт построения ARIS-моделей. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. 392 с.
2. Волков О. Стандарты и методологии моделирования бизнес-процессов. Режим доступа: <http://www.connect.ru/article.asp?id=5710>. Загл. с экрана.
3. Григорьев Д. Моделирование бизнес-процессов предприятия. Режим доступа: <http://www.valex.net/articles/process.html>. Загл. с экрана.

ТРЕНАЖЁР ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НАВЫКАМ РАБОТЫ С MS WORD

И.О. Аксененко, Е.А. Голяйд, студенты каф. АСУ

Научный руководитель В.В. Романенко, к.т.н., доцент каф. АСУ

г. Томск, ТУСУР, grafit47@mail.ru, katarin-gold@yandex.ru

Проект ГПО АСУ-1301 «Разработка виртуальных лабораторных работ»

В работе говорится о программном средстве, являющемся тренажером по основным возможностям текстового процессора Microsoft Word. Тренажер позволяет студенту выбирать задания из списка, выполнять их и затем проверять правильность выполнения, получая подсказки в виде текста или естественной речи.

Текстовые процессоры – это программные средства, с которыми сталкивается каждый пользователь компьютера. В настоящее время самым распространенным из них является Microsoft Word. Пакет Microsoft Word многофункционален, обладает большим набором инструментов и весьма своеобразно организован. Получение навыков работы с данным текстовым процессором необходимо каждому специалисту вне зависимости от направления его дальнейшей деятельности.

Возникает проблема обучения людей разного уровня подготовки. Авторы работы видят её решение в создании программного продукта, который позволил бы любому желающему получить необходимые навыки работы с MS Word вне зависимости от его местонахождения, в том числе дистанционно.

Плюсы использования данного приложения:

1. Повышение качества обучения студентов, обеспечиваемое применением современных технологий.
2. Предоставление студентам возможности заниматься в комфортной для них обстановке и в удобное для них время.
3. Снижение нагрузки с преподавателей и экономия времени на проверку заданий.

Функциональные и эргономические требования к разрабатываемому продукту:

1. Простота в использовании.
2. Предоставление пользователю возможности работать в программе MS Word, не изменяя интерфейса самого текстового процессора и давая доступ ко всем его возможностям.
3. Предоставить пользователю возможность выполнения уже встроенных заданий.
4. Предоставление возможности добавления новых упражнений и создание большого количества вариантов заданий.
5. Быстрая и качественная проверка выполненной пользователем работы.
6. Предоставление пользователю возможности установить контакт с машиной посредством голосового движка.

Был разработан программный продукт, полностью удовлетворяющий выдвинутым требованиям. В программу встроено окно MS Word, в котором предстоит выполнять задания. Пользователю предоставлен выбор заданий, а прочитать его текст он может в поле «Текст задания». Если пользователь хочет прослушать задание, то в этом ему может помочь анимированный агент, расположенный в правом нижнем углу. Для этого достаточно нажать кнопку «Озвучить задание», расположенную в левом верхнем углу. Также пользователь может остановить агента, если пожелает. Для этого ему следует нажать крас-

ную кнопку в верхнем левом углу «Остановить озвучку». После выполнения задания пользователь может проверить себя, нажав на кнопку «Проверить задание», расположенную в той же области, что и остальные кнопки. В этом случае агент укажет на ошибки, которые допустил пользователь (если он их допустил), или скажет, что все выполнено правильно. В поле «Информация» пользователь увидит то, что у него сделано неверно.

На рис. 1 представлен пример XML-документа, который необходимо создать для добавления нового задания в программу. Разметка XML-документа производится согласно объектной модели представления MS Word.

```
<settings>
    <ErrorMessage num = "1">Неверно введён текст!</ErrorMessage>
    <Document>
        <Sections>
            <Range>
                <Paragraphs>
                    <Text error = "1">Пример</Text>
                </Paragraphs>
            </Range>
        </Sections>
    </Document>
</settings>
```

Рис. 1. Пример XML-документа

Таким образом, все необходимые требования, которым должна удовлетворять программа, выполнены.

Для достижения представленного результата использовались ресурсы языка C# и платформы .NET:

- библиотеки классов Windows Forms;
- объектная модель MS Word;
- отражение (reflection) платформы .NET;
- технологии MS Agent и SAPI;
- интерфейс WinAPI, позволяющий легко работать с окнами сторонних приложений (в нашем случае с MS Word), перехватывать сообщения, отправляемые этими приложениями и отправляемые к ним, изменять стили окон и многое другое.

ЛИТЕРАТУРА

1. Троелсен Э. Язык программирования C# 5.0 и платформа .NET 4.5. М.: Вильямс, 2013. 1312 с.

2. Климов А. MS Agent. Графические персонажи для интерфейсов. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 352 с.

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
РОБОТА-ФУТБОЛИСТА ДЛЯ УЧАСТИЯ
В СОРЕВНОВАНИЯХ ROBOCUP SOCCER ЛИГИ KIDSIZE**

С.И. Гомилко, студент каф. АСУ

*Научный руководитель Е.С. Шандаров, зав. лаб. робототехники
и искусственного интеллекта ТУСУРа, ст. преподаватель каф. ЭП
г. Томск, ТУСУР, gomilko_stepan@mail.ru*

RoboCup – это международный исследовательский и образовательный проект, в рамках которого проводится ежегодная научная конференция, а также крупнейшие и одни из самых авторитетных международные соревнования среди роботов в мире.

В интересующей нас Лиге футбола антропоморфных роботов существует деление на три класса в зависимости от высоты роботов. В лиге KidSize участвуют роботы, высота которых составляет 40–90 см [1]. Популярной платформой для роботов-футболистов этой лиги являются антропоморфные роботы DARwIn-OP.

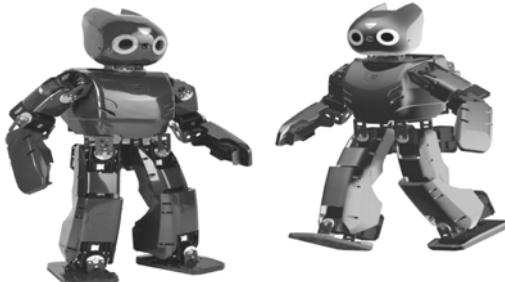


Рис. 1. Антропоморфный робот DARwIn-OP

Робот DARwIn-OP (Dynamic Anthropomorphic Robot with Intelligence – Open Platform) в дословном переводе расшифровывается как динамический антропоморфный робот, обладающий интеллектом, реализованный на открытой платформе. Это человекоподобный робот, представляющий собой робототехническую платформу с открытым исходным кодом, предназначенную для научных исследований. DARwIn-OP обладает достаточно высокой производительностью и мощными вычислительными способностями, оснащен датчиками и имеет хорошие динамические характеристики. Работает под управлением операционной системы Ubuntu 9.0 [2].

Перед нами была поставлена задача: для предоставленной робототехнической платформы реализовать ПО для робота-футболиста для участия в соревнованиях RoboCup Soccer лиги KidSize.

Для платформы DARwIn-OP существует специально созданный для нее фреймворк с полностью открытым исходным кодом.

В нем имеется значительное количество уже готовых модулей, обеспечивающих управление роботом, работой с датчиками и др. Для управления роботом имеются классы для получения значений с сервоприводов и управления параметрами движения. Имеются более крупные и высокоуровневые модули для управления головой, телом, воспроизведение ранее созданных последовательностей действий (actions). Также есть модули для работы с камерой и изображениями, полученными с нее, и модуль, представляющий собой высокоуровневую прослойку для работы с платой CM-730 (управляет сервоприводами робота).

Применяя уже готовые модули и классы, а также расширяя и дополняя функционал своими классами, можно объединить все возможности робота и применить их в своем проекте.

На первоначальном этапе работы мы определили основные первоочередные функции, которыми должен обладать робот-футболист. Поскольку отдельные модули робота работают независимо друг от друга в асинхронном режиме, мы представили функции в виде наборов состояний:

1. BALLFOLLOW – следование к мячу.
2. GOALFIND – определение положения ворот.
3. BALLKICK – выполнить удар по мячу.
4. BALLFIND – поиск мяча в случае если потеряли его из виду.
5. STANDUP – подняться, если робот упал.

В каждый момент времени робот может находиться только в одном из состояний. За каждым состоянием закреплен определенный набор действий, выполняя которые, робот решает поставленную перед ним задачу.

Программное обеспечение робота-футболиста было написано на языке C++. Компилярование и сборка производились в операционной среде робота.

Рассмотрим, например, алгоритм поведения робота в состоянии BALLFOLLOW. Полагается, что мяч в этом случае находится в зоне видимости робота. Робот определяет направление и расстояние до мяча, анализируя положение головы, и корректирует параметры ходьбы с целью движения к мячу. При пропадании мяча из поля зрения, робот переходит в состояние BALLFIND. При падении робота активизируется состояние STANUP. В случае подхода к мячу на расстояние удара производится переход в состояние BALLKICK.

Испытания разработанного ПО проводились в лаборатории робототехники и искусственного интеллекта ТУСУРа на специально соз-

данном поле, максимально приближенном по параметрам к полю, используемому на официальных соревнованиях RoboCup. Робот находил мяч, следовал за мячом, находил ворота и выполнял по ним удар. В процессе испытаний были выявлены недочеты: довольно частая потеря равновесия, медленное выполнение заранее записанных движений, таких как удар по мячу или подъем в вертикальное положение после того как робот упал.

Заключение. В процессе работы было создано программное обеспечение для робота-футболиста. Был продуман сценарий поведения робота на поле. Реализованы основные функции. При последующей работе над проектом следует расширить список состояний робота на поле. Также желательно добиться более устойчивого и быстрого перемещения робота по полю и создать собственные, более быстрые наборы движений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Official website of the RoboCup Humanoid League* [Электронный ресурс]. URL: http://www.robocuphumanoid.org/wp-content/uploads/HumanoidLeagueRules2015_DRAFT_20141205.pdf (дата обращения: 11.03.2015).
2. *Open Platform Humanoid Project DARWIN-OP* [Электронный ресурс]. URL: http://en.robotis.com/index/product.php?cate_code=111010 (дата обращения: 11.03.2015).
3. *ROBOTIS e-Manual v1.25.00 Framework* [Электронный ресурс]. URL: http://support.robotis.com/en/techsupport_eng.htm#product/darwin-op.htm (дата обращения: 11.03.2015).

АВТОМАТИЗАЦИЯ СОВОКУПНОСТИ ЗАДАЧ МЕНЕДЖЕРА ПРОДАЖ «MANAGERHELPER» (НА ПРИМЕРЕ ООО «РОСРАЗВИТИЕ СИБИРЬ»)

Б.В. Горбунов, студент каф. АСУ

*Научный руководитель А.А. Мицель, профессор каф. АСУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, gorbunowbogdan@gmail.com*

В настоящее время в связи с перманентным переходом к всеобщей информатизации, внедрением новых компьютерных и информационных технологий во все сферы деятельности человека, а также высокой внешней конкуренцией и постоянно нарастающей необходимостью увеличения объемов продаж, организации вынуждены прибегать к качественному улучшению своих внутренних и внешних процессов взаимодействия. В соответствии с этим проект автоматизации задач менеджера отдела продаж (на примере компании ООО «РосРазвитие Сибирь» обусловлен как экономическими, так и информационными критериями успеха компании, использование автоматизированных систем является практически необходимым условием существования организаций в современных условиях [1].

Компания ООО «РосРазвитие Сибирь» осуществляет свою работу в городе Новосибирске. Организация является одной из крупнейших компаний на рынке строительных материалов города Новосибирска. Специализация – производство, доставка и оптовая торговля строительными материалами: щебень, песок, железобетонные изделия и бетон. Организационная структура ООО «РосРазвитие Сибирь», представленная на рис. 1, является линейно-функциональной.

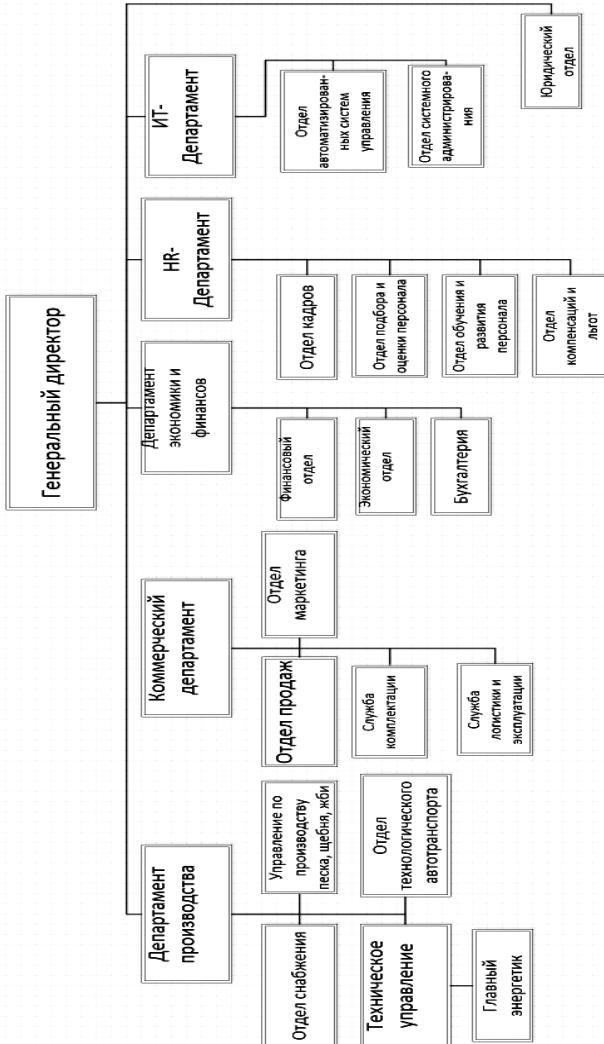


Рис. 1. Организационная структура ООО «РосРазвитие Сибирь»

В соответствии с тем, что одной из основных специализаций компании является оптовая торговля, то для оценки деятельности организации была рассмотрена динамика продаж за 2014 г., представленная на рис. 2.

Номенклатура, Базовая единица измерения	Июль 2014 г.	Август 2014 г.	Сентябрь 2014 г.	Октябрь 2014 г.	Ноябрь 2014 г.	Декабрь 2014 г.
	Сумма продажи в рублях					
Готовая продукция,	245 082 457,77	233 434 730,64	219 946 278,41	175 259 594,38	81 539 730,34	75 083 397,99
Бетон,	28 349 447,58	19 522 106,95	37 712 019,00	33 298 702,48	23 519 143,43	15 651 489,47
ЖБИ изделия,	32 062 071,00	33 234 397,83	22 430 477,94	16 438 101,59	8 845 173,06	5 709 349,80
Балки для ж/б каналов,	644 436,50	698 475,50	456 708,00	326 531,14	74 982,50	99 446,00
Балки фундаментные,						
Блоки бетонные для стен подвалов,	6 106 002,70	4 420 810,70	3 428 115,90	2 491 560,20	1 471 390,84	793 658,14
ЖБ изделия для дорожного строительства,	2 763 528,00	2 221 682,34	1 253 952,50	1 487 427,30	361 308,60	479 981,40
ЖБИ изделия,	372 195,00	16 980,00	42 518,00			
Индивидуальные изделия,	1 251 911,00	1 877 905,30	966 021,80	83 984,00	36 408,00	91 957,00
Карнизные плиты,						
Кольца стековые для колодцев,	1 362 773,30	2 750 095,06	1 668 434,30	1 297 280,50	693 694,00	519 204,50
Лотки теплотрасс,	9 181 440,10	8 865 306,36	6 288 550,62	3 550 451,12	1 954 376,10	844 960,10
Паралептические плиты,	15 266,00				18 838,00	
Перемычки брусковые,	320 788,00	1 213 988,00	501 255,18	519 758,68	250 701,00	173 114,00
Перемычки плиточные,	83 368,60	27 602,00	44 486,00	2 590,00		3 686,00
Плиты ленточных фундаментов,	1 915 469,90	926 832,80	51 233,30		233 662,19	
Плиты перекрытий и днищ для колодцев,	625 036,85	1 464 535,40	781 003,50	696 080,50	448 268,00	220 276,00
Плиты перекрытия теплотрасс, каналов,	6 282 331,60	7 512 503,67	5 992 275,09	5 228 449,15	2 724 095,55	1 558 401,00
Подушки опорные для лотков и каналов,	449 589,65	713 126,60	274 200,75	132 331,00	59 750,00	91 125,00
Прогоны,	27 273,00	30 672,00	58 735,00		10 070,00	247 669,94
Элементы лестничных пролетов,	660 660,80	493 882,10	622 988,00	621 658,00	507 628,28	585 870,72
Песок,	30 687 528,29	30 418 197,53	21 435 883,91	15 114 829,50	7 567 911,83	10 206 069,32
Щебень,	153 983 410,90	150 260 028,33	138 367 897,56	110 407 960,81	41 607 502,02	43 516 489,40
Щебень "Борок" (новый прайс),	110 544 049,50	105 515 671,93	105 450 418,96	84 503 269,45	31 789 413,77	35 322 619,10
Щебень п. Горный,	43 439 361,40	44 744 356,40	32 917 478,60	25 904 691,36	9 818 088,25	8 193 870,30
Итог	245 082 457,77	233 434 730,64	219 946 278,41	175 259 594,38	81 539 730,34	75 083 397,99

Рис. 2. Динамика продаж за 2014 г.

Из рис. 2 видно, что в продажах имеется небольшой упадок, который ухудшается за счет инфляционных процессов.

На основании данной ситуации было принято решение об автоматизации отдела продаж, в частности, автоматизации задач менеджера отдела продаж и были определены следующие задачи, которые должна решать информационная система:

- регистрация заказов покупателя;
- управление взаиморасчетами;
- управление договорами и контроль их актуальности;
- учет выполнения заказов;
- учет отгрузки товаров;
- анализ продаж;
- анализ деятельности менеджера.

Проанализировав деятельность отдела продаж и полученные задачи, была спроектирована функциональная модель SADT [2], уровень A4 данной модели изображен на рис. 3.

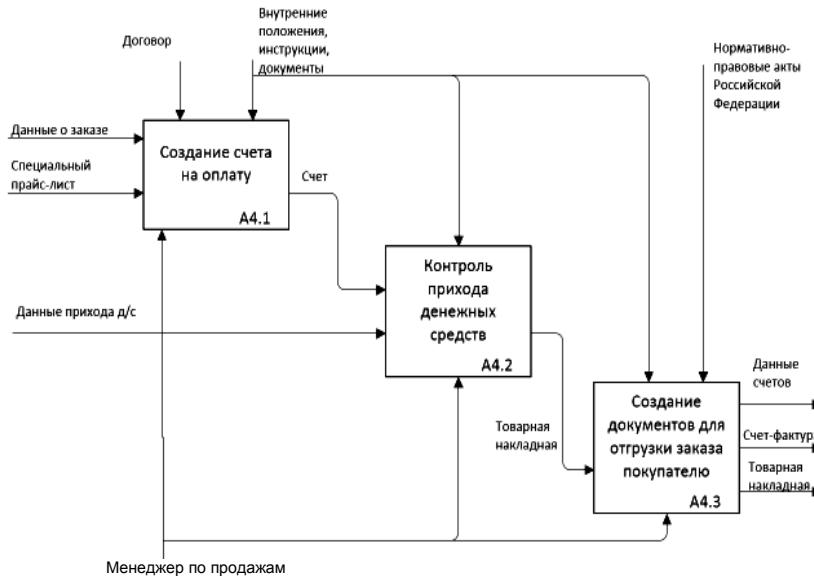


Рис. 3. SADT-модель уровня А4

Данная подсистема состоит из трех процессов: создание счета на оплату, контроль прихода денежных средств и создание документов для отгрузки заказа покупателю. Менеджер по продажам производит контроль прихода д/с, если оплата поступила, создаются документы для отгрузки заказа покупателю. Менеджер заполняет товарную накладную и создает счет-фактуру, руководствуясь внутренними положениями и нормативно-правовыми актами РФ.

Заключение. В ходе работы была проанализирована деятельность организации и выявлены текущие проблемы отдела продаж, после чего на основании динамики продаж и выявленных проблем были определены соответствующие задачи, которые должна решать проектируемая информационная система.

В том числе выполнение данного проекта предполагает реализацию следующих подцелей:

- проектирование базы данных;
- программная реализация задач;
- расчет техническо-экономической эффективности проекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт ООО «РосРазвитие Сибирь» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rosrazvitie-sibir.com>
2. Золотов С.Ю. Основы проектирования информационных систем: учеб.-метод. пособие. М., 2013. 40 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОТДЕЛА КАДРОВ В ОАО «ТОМГИПРОТРАНС»

М.С. Гусев, студент каф. АСУ

***Научный руководитель А.И. Исакова, доцент каф. АСУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, gms@mail.ru***

Отдел кадров – это структура, которая занимается управлением персоналом в организации. Цель данной работы – автоматизировать деятельность отдела кадров организации «Томгипротранс». Для этого были сформулированы следующие задачи:

- 1) изучение предметной области кадровой деятельности, определение целей и задач отдела кадров;
- 2) определение необходимости автоматизации деятельности отдела кадров, а также выявление аналогов кадровых информационных систем;
- 3) определение среды разработки для будущей ИС, выявление целей, задач и функций будущей ИС;
- 4) построение концептуальных моделей будущей ИС, определение входной и выходной информации;
- 5) разработка информационной системы кадрового учета, а также описание ее интерфейса.

Описание информационной системы. Перед проектированием информационной системы были рассмотрены различные аналоги кадровых систем, но они обладали рядом недостатков, таких как высокая стоимость, избыточность или недостаток функций, неудобный интерфейс. Поэтому было решено разработать собственную информационную систему.

В качестве программной среды для разработки информационной системы была выбрана 1С, обладающая следующими преимуществами:

– Открытая конфигурация. Это означает, что в действующей конфигурации в любой момент можно ввести корректировки и доработки по улучшению ее работы.

- Модель 1С очень удачна для решения проблем учета.
- 1С очень неприхотлива к требованиям компьютера.

Основная задача информационной системы – автоматизировать кадровый учет в ОАО «Томгипротранс». Цель автоматизации – создание информационной системы кадрового учета в ОАО «Томгипротранс». Задачи автоматизации кадрового учета:

- обеспечить быстрый поиск информации о сотруднике предприятия;
- уменьшить затраты времени на формирование приказов и отчетов;
- упростить работу с личными карточками сотрудников;
- обеспечить создание, учет и хранение необходимой документации;
- увеличить производительность работы кадрового отдела;
- обеспечить конфиденциальность информации.

Функции информационной системы:

- формирование штатного расписания;
- регистрация, обработка и хранение личной карточки работника;
- формирование различных приказов, отражающих изменение в кадровом учете;
- формирование графика отпусков;
- создание и хранение планов и журналов прохождения аттестации и повышения квалификации работников;
- создание и хранение реестра учебных заведений, где можно пройти курсы повышения квалификации;
- учет военнообязанных работников;
- учет командировок работников;
- формирование отчетов;
- поиск необходимой информации;
- защита от несанкционированного доступа.

Далее будет представлено краткое описание входной и выходной информации, а также интерфейс разработанной информационной системы.

Заключение. Результатом представленной работы является информационная система, удовлетворяющая всем основным потребностям отдела кадров и обладающая удобным и интуитивно-понятным интерфейсом.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Трудовое право/кадровый учет* [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.hrmaximum.ru/articles/labor_law/ (дата обращения: 17.01.2015).

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЛАЧНЫХ ФОРМ НА СПУТНИКОВЫХ ФОТОГРАФИЯХ С ПОМОЩЬЮ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА И ТЕКСТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОБРАЖЕНИЯ

А.А. Ханефт, аспирант каф. ОЭСиДЗ

*Научный руководитель В.Т. Калайда, профессор каф. ОЭСиДЗ, д.т.н.
г. Томск, ТГУ, a.khaneft@mail.ru*

Для выделения разных типов облачности на спутниковых фотографиях применяется кластерный анализ, который представляет собой процесс разбиения множества объектов на подмножество непересекающихся объектов, называемых кластерами. Каждый кластер состоит из схожих объектов, а объекты разных кластеров существенно отличаются.

Алгоритм кластеризации должен удовлетворять следующим требованиям:

- простой подбор входных параметров для алгоритма;
- поиск кластеров произвольных форм;
- высокое быстродействие.

Классические алгоритмы кластеризации либо требуют на вход количество кластеров k , которое заранее не всегда известно, либо им надо указать некое условие остановки, например минимальное расстояние между кластерами D_{\min} , которое подобрать довольно трудно.

Наиболее подходящим алгоритмом, удовлетворяющим вышеописанным требованиям, является плотностный алгоритм DBSCAN (Density-based spatial clustering of applications with noise). Идея алгоритма заключается в том, что внутри каждого кластера наблюдается типичная плотность точек, которая заметно выше, чем плотность снаружи кластера, а также плотность в областях с шумом ниже плотности любого из кластеров [1].

Яркость облаков на изображении может значительно меняться в зависимости от времени суток, однако различие яркости светлых и тёмных участков облака остаётся почти неизменным, за счёт чего сохраняются его текстурные характеристики. Поэтому эффективнее будет описать текстуру изображения через матрицу смежности значений яркости.

Для каждого пикселя выделяем окружающую его квадратную область 21×21 пиксель, центром которой он является. На основе выделенной области для каждого пикселя строим матрицу смежности $P(i, j, d, \phi)$, где i и j – яркости соседних точек на изображении, расположенных на расстоянии d при угловом направлении ϕ . Обычно рассматривают соседние точки и следующие направления: слева направо, справа

налево, сверху вниз, снизу вверх и в обоих направлениях по диагоналям [2].

На рис. 1 приведён пример формирования матрицы смежности слева направо с параметрами $d = 0$ и $\phi = 0$.

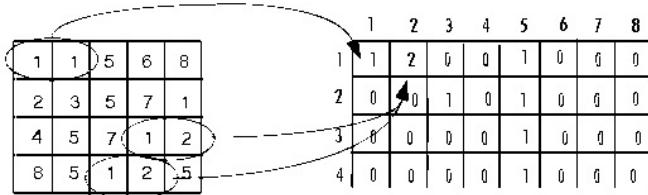


Рис. 1. Пример формирования матрицы смежности

Размер матрицы определяется количеством градаций яркости изображения. Значение каждого элемента матрицы равно количеству встречаемости пары пикселей с соответствующими значениями интенсивностей в заданных позициях относительно друг друга.

После вычисления матрицы смежности и её нормализации можно приступить к вычислению текстурных характеристик, которых около 20, рассмотрим наиболее часто используемые.

- **Энергия.** Чем больше значение энергии, тем больше схожи пиксели

$$T_1 = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} N_{i,j}^2,$$

где K – число градаций яркости изображения.

- **Энтропия** выражает неравномерность распределения яркостных свойств элементов изображения

$$T_2 = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} N_{i,j} \log_2 N_{i,j}.$$

- **Контраст** определяется величиной локальных вариаций яркости изображения

$$T_3 = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} (i-j)^2 N_{i,j}.$$

- **Гомогенность** показывает однородность пикселей

$$T_4 = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} \frac{N_{i,j}}{1+|i-j|}.$$

- **Корреляция** показывает линейную зависимость уровней яркости в матрице смежности

$$T_5 = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} \frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j) N_{i,j}}{\sigma_i \sigma_j}.$$

- **Математическое ожидание**

$$\mu_i = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} i \cdot N_{i,j}, \quad \mu_j = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} j \cdot N_{i,j}.$$

- **Дисперсия** определяет вариации яркости относительно среднего значения

$$\sigma_i = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} (i - \mu_i) \cdot N_{i,j}, \quad \sigma_j = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} (j - \mu_j) \cdot N_{i,j}.$$

Полученные характеристики будут интерпретироваться как новые координаты пикселя в многомерном пространстве.

Для быстрого поиска точек в многомерном пространстве в окрестности заданной точки будет использоваться структура R-дерево [3].

После выделения кластеров на исходном изображении для каждого из них определим тип облачности. Тип облачности позволяет определить, на каком вертикальном уровне находится облако.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ester M. A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise / M. Ester, H.-P .Kriegel, J. Sander, X. Xu // Proceedings of 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96). Portland, 1996. P. 226–231.
2. Харалик Р.М. Статистический и структурный подходы к описанию текстур / Р.М. Харалик. ТИИРЭ. 1979. № 5. Р. 98–118.
3. Guttman A. R-trees: A Dynamic Index Structure For Spatial Searching // Proc. ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of Data, 1984. P. 47–57.

МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НАЧИНАЮЩЕГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЯ, ОСНОВАННАЯ НА БИЗНЕС-ПРОЦЕССАХ *Е.О. Караванов, студент*

*Научный руководитель М.Ю. Катаев, профессор каф. АСУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, k_m_y@mail.ru*

Основной проблемой начинающего предпринимателя является выбор местоположения для офиса, производства или торговой точки. Важно правильно определить потребительскую аудиторию и оценить

проходимость предполагаемой точки продаж на основе статистических данных. Также необходимо построить бизнес-процесс и на основе него рассчитать необходимые вложения. Процессный подход значительно облегчает расчет рентабельности предприятия и позволяет определиться со стартовыми ресурсами проекта.

Еще одной проблемой начинающего предпринимателя является выбор объема продаж и количества нанимаемого персонала на первом этапе. Эту задачу решает совместное рассмотрение основного бизнес-процесса будущего предприятия, а также статистических данных проходимости и населенности выбранной точки.

На данный момент программное обеспечение, которое решает вышеуказанные проблемы, не существует. Нами разрабатывается программное обеспечение, позволяющее в некоторой мере решить задачи начинающего предпринимателя. Информационная система начинающего предпринимателя является приложением, заключающим в себе все эти возможности, а именно выбор района, занесение информации о бизнес-процессе и выбор оптимального решения. Структура информационной системы приведена на рис. 1.



Рис. 1. Структура информационной системы начидающего предпринимателя

Информационная система позволяет подобрать подходящий для начинающего предпринимателя район, оптимальное количество персонала и определиться с необходимым объемом производства.

Пользователь имеет возможность выбора из списка бизнес-процессов подходящих для себя или же построение нового бизнес-процесса. Данные для полученного бизнес-процесса хранятся в базе данных БП.

Карта города разделена на множество отдельных секторов. База данных секторов хранит сведения о населенности, проходимости, инфраструктуре каждого сектора города, полученные на основе статистических данных сервиса 2GIS.

Обработчик, получив всю вышеуказанную информацию, строит оптимальную модель ведения дела. Пользователь может отследить любую деталь, просчитать период окупаемости своего предприятия, выбрать оптимальный для того или иного дела сектор на карте и сделать вывод о рентабельности своего бизнеса.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛУТОНОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛИЦА ЧЕЛОВЕКА

С.С. Касаткин, студент

*Научный руководитель В.Т. Калайда, доцент каф. АСУ, к.т.н.
г. Томск, TUSUP, antimaterialny@rambler.ru*

В современном мире все более актуальной становится задача анализа многомерных полей (данных), особенно изображений. В связи со спецификой формирования любое изображение подвержено различным искажениям – аффинным, проективным, яркостным и др. Проблема аффинных искажений успешно решается формализацией одиночного изображения алгебраическими моментами на основе полиномов Лежандра [1, 3] или Цернике [2]. Для нивелировки яркостных искажений хорошие результаты можно ожидать при формализации описания не отдельного изображения, а класса одномасштабных изображений одного сюжета, который можно представить в виде эмпирической многомерной функции плотности распределения.

В этой связи **областью исследования** являются методы формализованного описания класса изображений и идентификация изображений на основе этого описания.

Объектом исследования являются методы и алгоритмы оценки функций плотности распределения на основе непараметрического подхода.

Цель работы: реализация алгоритма идентификации лица человека на основе восстанавливаемых многомерных непараметрических функций плотностей вероятностей.

Во множестве работ, используется интегральное описание изображений. Развитием этих идей являются алгебраические моменты, основанные на полиномах Цернике [2] или Лежандра [1, 3].

Рассмотрим объект с входом – вектором, и выходом – скалярной дискретной случайной величиной.

Существует некоторая неизвестная зависимость между входом и выходом. Необходимо оценить данную зависимость, построив модель $\bar{y} = \bar{\phi}(x)$.

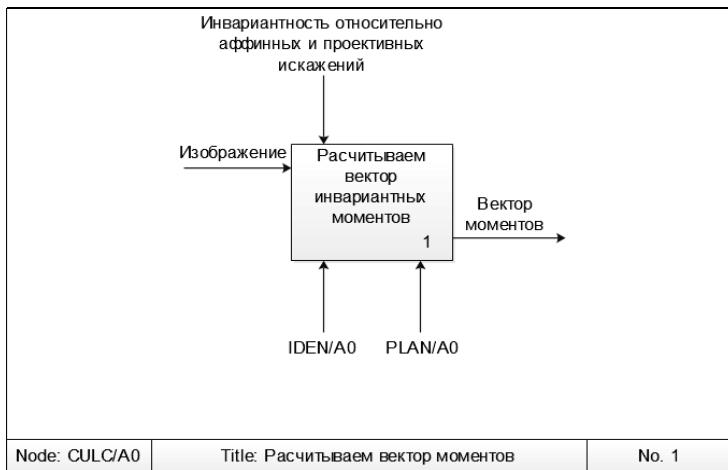


Рис. 1. Функция расчета моментов, уровень 0

Пусть дана выборка статистически независимых наблюдений случайной величины x , распределённых с неизвестной плотностью $p(x)$, где $\sigma(i)$ – «указания учителя» о принадлежности ситуации x^i к тому либо иному классу Ω_t , $t = 1 \dots M$.

Определим некоторую границу λ на оси x и запишем решающее правило

$$m(x) = \begin{cases} x \in \Omega_1, & x \leq \lambda; \\ x \in \Omega_2, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Для определения наилучшей границы найдем минимум суммарной ошибки по параметру λ

$$\min_{\lambda} p = \min_{\lambda} (p_1 + p_2).$$

В итоге получаем $p_2(\lambda) = p_1(\lambda)$.

Оптимальная граница – байесовская решающая функция – находится в точке пересечения двух классов $f_{12}(x) = p_2(x) - p_1(x)$.

Исходя из этого, решающее правило будет иметь вид

$$m_{12}(x) = \begin{cases} x \in \Omega_1, & x \leq \lambda; \\ x \in \Omega_2, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Вход – идентифицируемое изображение. **Выход** – решение о принадлежности к классу. **Управление** – оцененные заранее параметры разделяющих гиперповерхностей. **Вызовы** – функции расчета инвариантных моментов (CALC/A0) и переоценка параметров разделяющих гиперповерхностей (PLAN/A0). Описание PLAN/A0 представлено в

д работе «Вычисление формальных инвариантных признаков, описывающих изображение» Б.Б. Тарбаева.

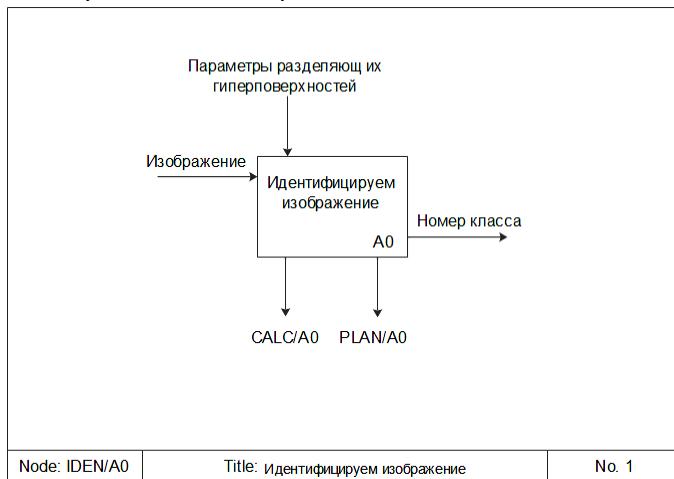


Рис. 2. Функция идентификации, уровень 0

На рис. 3 представлен результат декомпозиции блока.

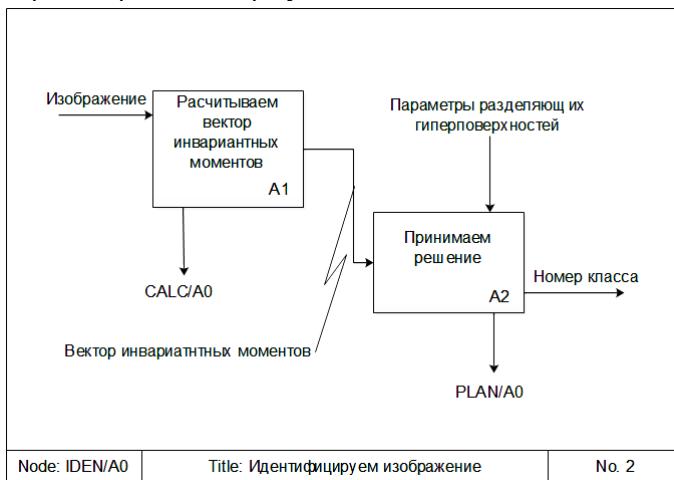


Рис. 3. Функция идентификации, уровень 1

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин С.С. Алгоритм описания полутонового изображения лица человека моментами Лежандра, инвариантными к аффинным преобразованиям

ям: выпускная квалификационная работа: 010500.62: защищена 21.06.14: утверждена 06.06.14. Томск, 2014. 57 с.

2. *Тарбаев Б.Б.* Алгоритм и программная система идентификации полуточнового изображения лица человека на основе формализма Цернике: выпускная квалификационная работа: 010500.62: защищена 21.06.14: утверждена 06.06.14. Томск, 2014. 52 с.

3. *Нго Хыу Фук.* Применение 2D-моментов Лежандра для обработки двумерных дискретных сигналов (автореферат). 7 с.

4. *Вапник В.Н., Червоненкис А.Я.* Теория распознавания образов. М., 1974. 416 с.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ ДЛЯ РОБОТА НА ОСНОВЕ СТЕРЕОПАРЫ

*A.В. Клименко, Д.Н. Ушарова, аспиранты,
А.С. Вершинин, ст. преподаватель каф. ТОР
г. Томск, ТУСУР, neverhooda@gmail.com*

В настоящее время актуальна разработка биометрических систем [1], позволяющих обеспечить автоматическую идентификацию личности человека с высокой степенью надежности. Например, использование трехмерной модели лица человека в качестве дополнительного идентификатора личности позволяет повысить надежность и качество распознавания, ускорить процесс идентификации, поэтому задача сводится к построению 3D-модели заданного объекта.

Для решения этой задачи предложен алгоритм построения 3D-модели объекта на основе полученных изображений с двух видеокамер (стереопары) [2].

Инновационность решения заключается в нахождении наилучшей карты дисперсии для всех изображений [3]. Система состоит из двух видеокамер, ЭВМ и программного обеспечения. Камеры производят синхронную съемку объекта, полученные изображения сохраняются в память, преобразуются в стереопару, на основе которой с использованием предложенного алгоритма строится 3D-модель объекта. Перед тем как построить 3D-модель объекта, необходима калибровка стереопары. Структурная схема стенда и его фотография для построения 3D-модели объекта приведены на рис. 1, 2 соответственно.

Предложенная система может быть использована для ускорения процесса идентификации человека для систем распознавания и для навигации роботов.

Для повышения точности построения 3D-модели объекта был реализован алгоритм распознавания образа [4, 5]. Основная проблема в задачах распознавания образа заключается в том, что размер и место-

положение образа на изображении неизвестны. Поэтому в используемом алгоритме размер входного изображения не изменялся, а изменялся размер сканирующего окна при нескольких запусках.

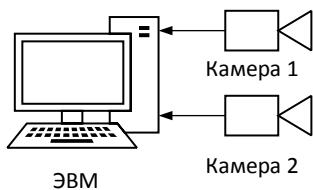


Рис. 1. Структурная схема стенда построения 3D-модели объекта



Рис. 2. Фотография стенда построения 3D-модели объекта

Предложенный алгоритм успешно прошел тестирование на различных изображениях. Разработанный программно-аппаратный комплекс позволяет распознать образ на изображении, полученном с видеокамеры, и построить 3D-модель объекта. Распознаваемым объектом может быть как лицо человека, так и другие объекты, например рука человека, автомобиль и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jain A.K., Bolle R., Pankanti S. (ed.). Biometrics: personal identification in networked society. Springer, 1999.
2. Mahowald M. An analog VLSI system for stereoscopic vision. Springer, 1994.
3. Kim M.B. et al. Stereoscopic conversion of monoscopic video by the transformation of vertical-to-horizontal disparity // Photonics West'98 Electronic Imaging. International Society for Optics and Photonics. 1998. P. 65–75.
4. Viola, P., Jones M. Robust Real-Time Face Detection // International Journal of Computer Vision. 2004. Vol. 57(2).
5. Viola P., Jones M. Fast Multi-view Face Detection // Mitsubishi Electric Research Laboratories. 2003. TR2003-096.

БОРТОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ БПЛА С УЧЁТОМ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ

A.E. Косова, аспирант каф. АСУ

*Научный руководитель А.М. Кориков, зав. каф. АСУ, д.т.н., профессор
г. Томск, ТУСУР, kosova_ae@mail.ru*

Основные задачи беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [1] – проведение разведки труднодоступных районов, в которых получение информации обычными средствами затруднено или подвергает

риску жизни людей. Кроме использования в военной сфере, БПЛА – это также оперативный и недорогой способ исследования труднодоступных районов, наблюдение за участками местности, получение цифровых фотографий с целью построения карт. БПЛА могут использоваться в чрезвычайных ситуациях.

Полученная бортовыми средствами мониторинга информация должна в режиме реального времени передаваться на пункт управления для обработки и принятия адекватных решений. В настоящее время наибольшее распространение получили тактические комплексы микро- и мини-БПЛА. В связи с большой взлётной массой мини-БЛА их полезная нагрузка по своему функциональному составу наиболее полно представляет состав бортового оборудования, отвечающего современным требованиям к многофункциональному разведывательному БПЛА. Поэтому далее описан состав полезной нагрузки [2] для мини-БПЛА.

Для обеспечения задач наблюдения за определёнными территориями в реальном времени в процессе полёта и цифрового фотографирования выбранных участков, включая труднодоступные территории, а также определения координат исследуемых участков местности полезная нагрузка БПЛА должна включать в себя:

– Обзорное курсовое устройство. Оно закрепляется неподвижно под некоторым углом к строевой оси летательного аппарата, обеспечивающим необходимую зону захвата на местности. В состав обзорного курсового устройства входит телевизионная камера с широкопольным объективом, оно также может быть дополнено цифровыми фотоаппаратами и другими элементами. Современные телевизионные камеры могут обеспечить оператору в реальном времени картины наблюдаемой местности в формате, наиболее близком к характеристикам зрительного аппарата человека. Это позволяет оператору при необходимости выполнять пилотирование БПЛА.

– Устройство детального обзора с поворотным устройством. Включает в себя телевизионную камеру детального обзора с узкопольным объективом и трехкоординатное поворотное устройство, обеспечивающее разворот камеры по курсу, крену и тангажу по командам оператора, что позволяет детально анализировать конкретные участки местности.

– Устройства радиолинии видовой и телеметрической информации. Например, передатчик и антенно-фидерное устройство должны обеспечивать передачу видовой и телеметрической информации в реальном или близком к реальному масштабе времени в пределах радиовидимости к пункту управления.

- Устройства командно-навигационной радиолинии. Приёмник и антенно-фидерное устройство должны обеспечивать прием в пределах радиовидимости команд пилотирования БПЛА и управления его оборудованием.
 - Устройство обмена командной информацией. Обеспечивает распределение командной и навигационной информации по устройствам-потребителям на борту БПЛА.
 - Устройство информационного обмена обеспечивает распределение видовой информации между бортовыми источниками видовой информации, передатчиком радиолинии видовой информации и бортовым устройством хранения видовой информации.
 - Спутниковая навигационная система. Обеспечивает привязку координат БПЛА и наблюдаемых объектов по сигналам глобальной спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС (GPS). Спутниковая навигационная система может состоять из одного или нескольких приёмников (ГЛОНАСС/GPS) с антенными системами. Применение двух приёмников, антенны которых разнесены по строительной оси БПЛА, позволяет определять кроме глобальных координат БПЛА также значение его курсового угла.
 - Бортовая цифровая вычислительная машина обеспечивает управление бортовым комплексом БПЛА.
 - Устройство хранения видовой информации обеспечивает накопление выбранной оператором (или в соответствии с полётным заданием) видовой информации до момента посадки БПЛА.
 - Встраиваемый блок питания обеспечивает согласование по напряжению и токам потребления бортового источника питания и устройств, входящих в состав полезной нагрузки, оперативную защиту от коротких замыканий и перегрузок в электросети [3].
- Заключение.** Таким образом, если оборудовать БПЛА рассмотренным бортовым оборудованием, то это позволит обеспечить решение широкого круга задач по мониторингу местности и труднодоступных для человека районов в интересах народного хозяйства. Применение в составе бортового оборудования телевизионных камер позволяет в условиях хорошей освещённости обеспечить высокое разрешение и детальный мониторинг поверхности в режиме реального времени. Применение сменных модулей устройств получения видовой информации позволяет снизить стоимость и менять состав бортового оборудования для решения поставленной задачи в конкретных условиях применения. Возможность обеспечения устойчивой связи является одной из важнейших характеристик, определяющих эксплуатационные возможности комплекса управления БПЛА. Обеспечение такой связи в определённых условиях может быть затруднено, и поэтому в отсутствии

вие связи или её временной потери при таком составе оборудования, БПЛА всё же может быть не доступен для управления оператором. В этом случае важно, чтобы система БПЛА не вышла из строя, могла выполнять поставленные задачи, принимать необходимые адекватные решения. В этом случае нужно дополнительное устройство, собирающее и обрабатывающее данные от рассмотренного оборудования, и программное обеспечение для него, позволяющее принимать решения без управления со стороны оператора. Планируется выбирать такое устройство, изучать и разрабатывать программное обеспечение, позволяющее комплексу БПЛА работать автономно.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Веб-сайт «Википедия»*. Беспилотный летательный аппарат. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%C1%E5%F1%EF%E8%EB%EE%F2%ED%FB%E9_%EB%E5%F2%E0%F2%E5%EB%FC%ED%FB%E9_%E0%EF%EF%E0%F0%E0%F2 (дата обращения: 18.02.2015).
2. *Веб-сайт «Википедия»*. Полезная нагрузка. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%CF%EE%EB%E5%E7%ED%E0%FF_%ED%E0%E3%F0%F3%E7%EA%E0 (дата обращения: 18.02.2015).
3. *Веб-сайт «Библиофонд»*. Описание систем управления беспилотными летательными аппаратами. URL: <http://biblio.fond.ru/view.aspx?id=490926> (дата обращения: 18.02.2015).

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ФИЗИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА

И.А. Кукало, аспирант каф. РЗИ

*Научный руководитель А.С. Задорин, профессор каф. РЗИ, д.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, anatoly.zadorin@rzi.tusur.ru*

Основные меры, обеспечивающие безопасность, в том числе антитеррористическую защищенность объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК) в Российской Федерации, устанавливаются Федеральным законом «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса». Известные подходы к управлению безопасностью систем масштаба ТЭК в значительной мере базируются на процедуре категорирования опасных объектов [1]. Альтернативой процедуре категорирования, как известно, является подход по управлению рисками системы физической защиты (СФЗ). Такой подход описан в работе [2], однако предложенная авторами модель управления рисками применима лишь к структурированным локализованным объектам и не может непосредственно применяться для управления СФЗ линейных объектов, таких как линейная часть магистрального нефтепровода (ЛЧ МН).

Особенность процесса охраны ЛЧ МН заключается в экономической нецелесообразности оборудования объектов ЛЧ контролируемым периметром безопасности, характерным локализованным (площадочным) объектам. Проблема обеспечения безопасности основывается на необходимости решения задачи оптимального распределения ресурсов по контролю защищенности вдоль протяженной структуры ЛЧ МН. Ресурсы представлены ограниченным количеством персонала, оборудования и инженерно-технических средств, за которыми закреплен участок ЛЧ МН длиною в несколько сотен километров.

Для решения задачи оптимального распределения ресурсов по охране ЛЧ МН в АО «Транснефть – Центральная Сибирь» внедряется автоматизированная система (АС), реализующая математическую модель по управлению рисками физической безопасности [3]. Среди специализированных АС схожей направленности можно выделить разработки зарубежных компаний по управлению рисками эксплуатации МН [4, 5].

Внедрение АС потребовало модернизации бизнес-процессов информационно-аналитического обеспечения процесса охраны ЛЧ МН, в результате которого исходное состояние бизнес-процессов (рис. 1) было скорректировано (рис. 2) с учетом рекомендаций ГОСТ Р ИСО 31000–2010 «Менеджмент риска. Принципы и руководство».



Рис. 1. Информационно-аналитическое обеспечение процесса охраны ЛЧ МН – исходное состояние (IDEF0)

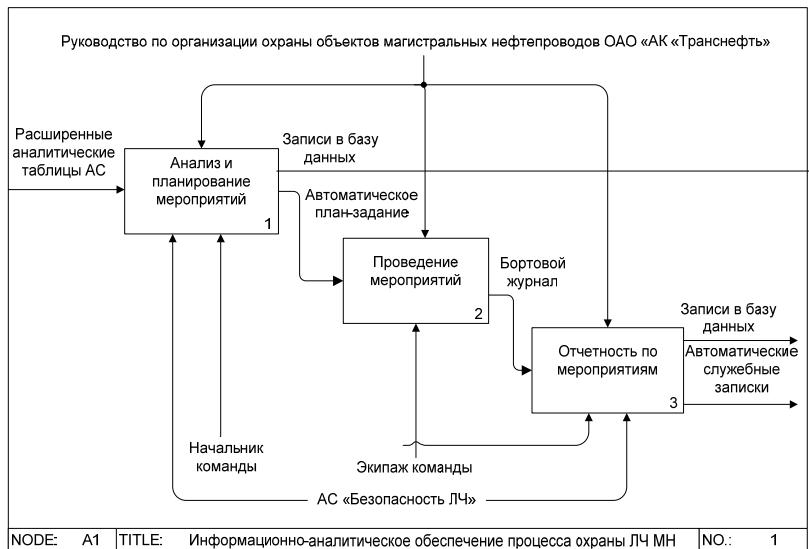


Рис. 2. Информационно-аналитическое обеспечение процесса охраны
ЛЧ МН – целевое состояние (IDEF0)

Внедрение АС было раздelenо на две очереди: «Учет мероприятий и статистика» – реализация функций документирования и статистического анализа мероприятий по обеспечению безопасности ЛЧ МН; «Планирование и управление» – реализация функций планирования и контроля мероприятий по обеспечению безопасности ЛЧ МН.

Первая очередь автоматизированной системы введена в промышленную эксплуатацию в 2013 г. По состоянию на 01.01.2015 в АС зарегистрирована информация о 26 тыс. обследованных участках МН «Самотлор–Александровское», «Александровское–Анжеро-Судженск», «Игольско-Таловое–Параиль». Работы по внедрению второй очереди АС находятся на стадии разработки технического проекта, разработаны технические требования, техническое задание, опытный экземпляр программного обеспечения. Внедрение второй очереди системы позволит провести практическое апробирование математической модели по управлению рисками ФБ.

Следует отдельно отметить создающиеся перспективы по использованию разработанной системы управления рисками физической безопасности в результате создания в организациях системы «Транснефть» ведомственной охраны и переводу процессов по охране ЛЧ МН на аутсорсинг. Предложенная система управления может использоваться при оценке качества выполнения услуг ведомственной охраны

транспортными организациями системы «Транснефть» в рамках выполнения координационной деятельности процесса охраны.

ЛИТЕРАТУРА

8. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ риска и проблем безопасности: В 4 ч. Ч. 4. Научно-методическая база анализа риска и безопасности / Науч. рук. К.В. Фролов. М.: МГОФ «Знание», 2007. 864 с.
9. Кононов А.А., Черныш К.В., Гуревич Д.С., Поликарпов А.К. Оценка рисков в иерархических структурах критически важных объектов // Труды ИСА РАН / Под ред. Д.С. Черешкина. М.: ЛЕНАНД, 2010. Т. 52. С. 5–15.
10. Кукало И.А., Грибцов С.Н. Оценка рисков физической безопасности линейной части магистрального нефтепровода // Изв. Том. политехн. ун-та. 2014. Т. 324, № 5. С. 30–42.
11. The Synergi Pipeline software [Электронный ресурс]. URL: http://www.dnv.com/services/software/products/synergi/synergi_pipeline/index.asp (дата обращения: 20.01.2015).
12. The Multi-Analytic Risk Visualization [Электронный ресурс]. URL: http://www.dnv.com/moreondnv/research_innovation/programmes/materials/sensor_s/marv.asp (дата обращения: 20.01.2015).

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ОБЛАЧНОГО ПОКРОВА ПО ОБРАБОТКЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ LANDSAT 8.

Н.А. Куртшин, С.Ю. Чупин, студенты каф. АСУ

Научный руководитель М.Ю. Катаев, профессор каф. АСУ, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, nick.kurtushin@gmail.com

Проект ГПО АСУ-1306 «Обработка спутниковых данных»

Задачи оперативного спутникового контроля природных ресурсов, исследования динамики протекания природных процессов и явлений, анализа причин, прогнозирования возможных последствий и выбора способов предупреждения чрезвычайных ситуаций являются на современном этапе неотъемлемым атрибутом методологии сбора информации о состоянии интересующей территории (страны, края, города), необходимой для принятия правильных и своевременных управленических решений [1]. Данные, получаемые при помощи Landsat, используются при решении большого числа тематических задач, включая, например, измерение протяженности и классификацию растительного покрова, определение состояния сельскохозяйственных культур, геологическое картирование, контроль эрозии почв в береговой зоне и т.д. Наиболее актуальные спутниковые данные получают со спутника Landsat 8, американского спутника дистанционного зондирования Земли, восьмого в рамках программы Landsat [2].

Основные инструменты на борту Landat 8 – это Operation Land Imager (OLI) и Thermal Infrared Sensor (TIRS). Набор инструментов OLI – основной на спутнике, он работает в 9 спектральных диапазонах, семь из которых близки к тем, которые использовались в более ранних инструментах Thematic Mapper (TM) и Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) с предыдущих спутников Landsat, за счет чего обеспечивается преемственность и совместимость с ранее накопленным массивом данных Landsat. Добавлено два новых диапазона: канал 1 (темносиний и фиолетовый) для изучения прибрежных вод и аэрозолей и канал 9 (ближний ИК) для упрощения поиска облаков на снимках.

Инструмент Thermal InfraRed Sensor (TIRS) был создан в центре NASA Goddard Space Flight Center и предназначен для получения изображений в дальнем ИК. Получение изображений происходит в двух каналах: 10 и 11, которые совместно работают в том же диапазоне, что и канал TIR на более ранних спутниках программы Landsat. Из-за того, что решение о добавлении TIRS в состав Landsat 8 принималось относительно поздно и для упрощения проектирования, TIRS имеет запланированное время работы 3 года [4].

Наибольший интерес для обработки представляют данные обработки Level 1T – реконструированные данные устройства, снабженные маркерами времени, радиометрическими коэффициентами, орбитальными координатами спутника. Спутник получает данные о местности с периодичностью в 16 дней. Все полученные снимки передаются в USGS Landsat Ground Station и в течении 24 часов становятся доступными для скачивания. Параметры продукции Landsat 8:

1. Уровень обработки: 1T (коррекция рельефа).
2. Формат изображений: GeoTIFF.
3. Размер пикселя: 15/30/100 м (панхроматический канал / мультиспектральный канал / дальний ИК).
4. Проекция: UTM, также полярная стереографическая для Антарктиды.
5. Система координат: WGS 84.

Помимо спектральных каналов, также поставляется файл MTL (AMD A6 – 1,5 ГГц, время выполнения составляет порядка 10 мин), где хранится информация о файлах – спектральных каналах, углах наклона датчиков, географических координатах изображения и др.

Также поставляется файл Quality (*BQA.TIF), каждый пиксель которого содержит целочисленные значения, представляющие битовые комбинации, описывающие состояние поверхности, атмосферы и информацию о «поврежденных» пикселях. Следующая таблица иллюстрирует значения битов в файле Quality [4].

Таблица 1

Спектральные диапазоны Landsat 8

Спектральный канал	Длины волн, мкм	Разрешение, м
Канал 1 – Побережья и аэрозоли	0,433–0,453	30
Канал 2 – Синий	0,450–0,515	30
Канал 3 – Зеленый	0,525–0,600	30
Канал 4 – Красный	0,630–0,680	30
Канал 5 – Ближний ИК	0,845–0,885	30
Канал 6 – Ближний ИК	1,560–1,660	30
Канал 7 – Ближний ИК	2,100–2,300	30
Канал 8 – Панхроматический	0,500–0,680	15
Канал 9 – Перистые облака	1,360–1,390	30
Канал 10 и 11 – дальнее ИК	11000–13000	30

Облачность детектируется алгоритмом ACCA (Automated Cloud Cover Assessment). Используя значения битов (14–15) в файле BQA, была построена маска облачности для снимка части Томской области (июль 2014 г.). В зависимости от значения двойных битов, вероятность облачности для текущего пикселя распределяется следующим образом:

1. 00 – «Не определено» (алгоритм не подтверждает существование облачности).
2. 01 – «Нет» (вероятность облачности очень мала: 0–33%).
3. 10 – «Возможно» (вероятность облачности 33–66%).
4. 11 – «Да» (высокая вероятность нахождения облачности: 67–100%).

Таблица 2
Описание битовых комбинаций BQA

QA, бит	Описание
0	Свободная область
1	Поломка кадра
2	Преграда ландшафта
3	Зарезервировано
4–5	Вода
6–7	Зарезервировано
8–9	Зарезервировано
10–11	Снег/лед
12–13	Перистые облака
14–15	Облака

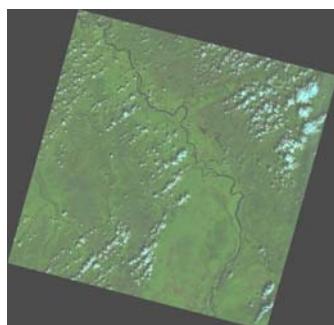


Рис. 1. Снимок части Томской области

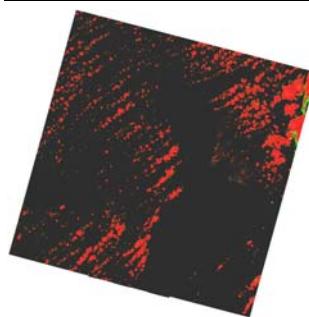


Рис. 2. Мaska облачности

На рис. 1 изображена местность на севере Томской области, июль 2014 г. Хорошо видны территории Васюганского болота, реки и редкая облачность, а также тени от облачности.

На рис. 2 черным цветом обозначены зоны, в которых облачность маловероятна, зеленым – где вероятность облачности составляет 33–67%, красным – наиболее высокая вероятность нахождения облака.

Таким образом, с помощью построенной маски облачности можно выделить части снимка, не пригодные для обработки, детектирования растительности и пожаров. Для изучения типов поверхности необходимо провести атмосферную коррекцию, что будет выполнено нами в дальнейших исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кашик В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: учеб. пособие. М.: Логос, 2001. 264 с.
2. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. М.: Изд-во А и Б, 1997. 296 с.
3. Географические информационные системы и дистанционное зондирование // <http://gis-lab.info/Landsat missions> <http://landsat.usgs.gov/>
4. Куртушин Н.А., Чупин С.Ю. Применение спутниковых данных Landsat в задачах дистанционного зондирования Земли. М., 1980.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ТЕСТИРОВАНИЯ ПЕРСОНАЛА КАК ЭЛЕМЕНТА СИСТЕМЫ КАДРОВОГО МЕНЕДЖМЕНТА

Н.А. Митник, студентка каф. АСУ

Научный руководитель Е.Б. Грибанова

г. Томск, ТУСУР, ФСУ, ledinatalia@yandex.ru

Тестирование как метод оценки персонала при приеме на работу давно распространен на Западе. Начиная с 60-х годов XX в. создавались различные формы и методы этой процедуры.

Сегодня тестирование соискателя при приеме на работу является одним из самых распространенных инструментов для оценки его компетенций.

Бессспорно, применение тестовых методик в кадровом менеджменте является логичным, так как рынок труда предлагает работодателям большое количество специалистов, из которых необходимо выбрать самого достойного и подходящего предприятию.

Отбор персонала на предприятии является одной из центральных функций менеджмента персонала, поскольку именно люди обеспечивают эффективное использование любых видов ресурсов, имеющихся в распоряжении организации, независимо от ее сферы деятельности,

корпоративной культуры, этапа развития. В условиях ужесточения конкуренции возрастают требования к качеству подготовки персонала, поэтому руководители предприятий стремятся привлечь уже состоявшихся специалистов, количество которых, по понятным причинам, ограничено. От того, насколько эффективно менеджеры по персоналу справляются с привлечением людей, в организации складывается представление об ее надежности и стабильности [1].

Порой менеджеру по персоналу сразу трудно принять решение, подходит ли тот или иной кандидат для должности, на которую он претендует, насколько успешно он будет работать, добиваться реальных результатов. Такие задачи решает информационная система тестирования персонала, включающая в себя различные типы тестирования: психологическое, профессиональное, тесты, позволяющие выявить аналитические способности кандидатов, способность к логическому мышлению и др. В свою очередь, каждый тип тестирования содержит различные виды тестов, которые позволяют оценить скорость и точность выполнения работы, аккуратность, умение быстро ориентироваться, личные склонности, общие способности, пригодность претендента для решения конкретных проблем. Также професионализм, степень развития наиболее важных качеств, уровень умственных способностей, склонность к обучению, скорость мышления, память, темперамент, деловые качества и навыки, способность к управлению людьми, коммуникабельность, честность и др. [2].

Из вышесказанного следует, что практика тестирования получает распространение на российском рынке труда. Внедрение этого метода оценки и отбора персонала значительно облегчает работу кадровых служб и предприятий. В процессе работы HR-менеджер вынужден выполнять массу рутинных операций и обрабатывать большие массивы информации, поэтому разработка информационной системы позволит сократить трудозатраты на подготовку материалов для тестирования, значительно облегчить процедуру самого процесса тестирования и анализ его результатов [3]. Также разработанная система позволяет снизить затраты предприятия на привлечение сторонних специалистов (услуги психолога), которые необходимы для принятия конечного решения кадровика. Однако полностью сводить процедуру подбора персонала к сухой статистике тестов не рекомендуется в первую очередь из-за погрешности, присутствующей в результатах тестов. Еще необходимо учитывать, что тестирование – это всего лишь один из возможных методов оценки персонала при приеме на работу, и он не является единственным и правильным. К тому же установлен факт, что тесты выявляют больше негативных качеств человека, чем позитив-

ных. Поэтому рекомендуется использовать несколько методов при оценке и подборе персонала.

Это доказывает, что HR-менеджер – это главный субъект в кадровом менеджменте, от решения которого зависит дальнейшая судьба организации. Ведь правильно подобранные кадры – это залог успешного бизнеса в современном мире.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Тестирование* // [Электронный ресурс]. URL: http://www.staffexpert.ru/up/Article/?article_id=266 (дата обращения: 01.03.2015).
2. *Тестирование как инструмент отбора персонала* // [Электронный ресурс]. URL: http://www.rabota.ru/rabotodatejam/podbor_personalna/otsenka_testom.html (дата обращения: 01.03.2015).
3. Купер Д., Робертсон И.Т., Тинлайн Гордон. Отбор и найм персонала: технологии тестирования и оценки // Вершина. 2007. С. 145–224.

ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕДИЦИНСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

А.М. Ооржак, студент каф. АСУ

*Научный руководитель М.Ю. Катаев, профессор, каф. АСУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, oaldyn@mail.ru*

В настоящее время информационные технологии проникли практически во все сферы нашей жизнедеятельности. Миллионы людей по всему миру вовлечены в работу, связанную с автоматизированными программными системами, поддерживающими различные производственные процессы. При этом для правильного функционирования программных продуктов необходима поддержка пользователей.

Для поддержки пользователей на данный момент активно развиваются различные структурные направления, одним из этих направлений является медицинская информатика, обслуживающая применение информационных технологий в медицине, включая как автоматизацию отдельных сегментов, так и комплексную автоматизацию всех бизнес-процессов амбулаторно-поликлинических учреждений посредством медицинских информационных систем (МИС) [2, 3].

В данном случае рассматривается ОГАУЗ «Областная клиническая больница (ТОКБ)», которая является ведущим многопрофильным учреждением Томской области, включающим в себя консультативно-диагностическую поликлинику, стационар на 1025 коек, в состав которого входит 25 специализированных отделений, отделение экстренной и консультативной медицинской помощи, пансионат [1].

Управление такой организацией является трудоемким процессом. Для решения этой проблемы используется онтологический анализ.

Онтологии имеют непосредственное отношение к построению базы знаний (БЗ) и частично к реализации интеллектуального интерфейса. Этот метод позволяет обеспечить одинаковое понимание всеми пользователями смысла применяемых при решении терминов, их атрибутов и отношений между ними. Термин «**онтология**» в искусственном интеллекте употребляется в контексте с такими понятиями, как концептуализация, знания, модели знаний, системы, основанные на знаниях.

Онтология – это концептуализация предметной области. Переход от общего описания предметной области к более детальному представлению с помощью концептуальной схемы. Пример концептуальной схемы представлен на рис. 1.

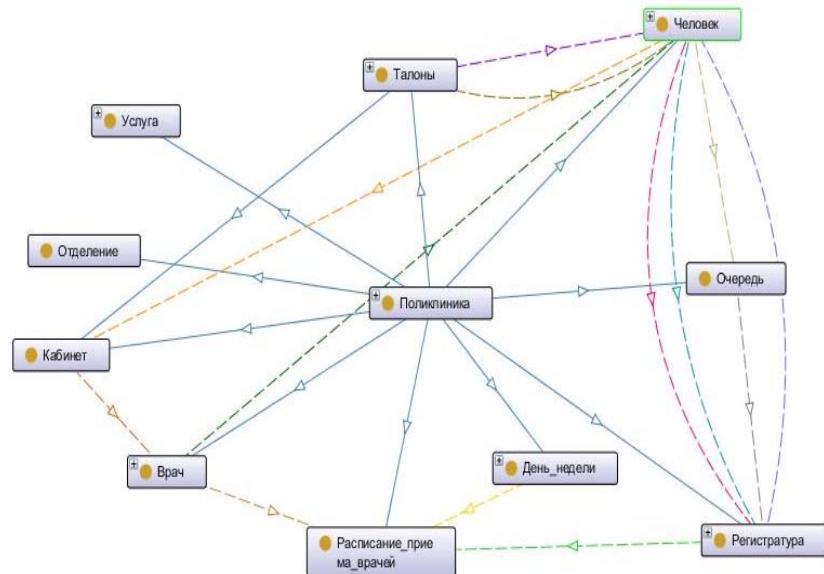


Рис. 1. Концептуальная схема предметной области

Существуют некоторые типы онтологий, такие как метаонтология, онтология предметной области, онтология конкретной задачи и сетевые онтологии. В последнее время наиболее популярно используется онтология предметной области. Она важна для специфицирования и проектирования приложений и их данных в некоторой проблемной области. Онтология предметной области используется как общий концептуальный базис для разработки приложений в предметной области эффективного компактного представления системы знаний конкретной области.

ЛИТЕРАТУРА

1. ОГАУЗ «Областная клиническая больница» (ТОКБ) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.okb.tomsk.ru/>
2. Аксенова О.Н., Новицкий Р.Э. Медицинская информационная система как объект венчурного инвестирования в ИТ-технологии для здравоохранения // Менеджер здравоохранения. 2008. №6.
3. Гусев А.В. Медицинские информационные системы в России: текущее состояние, актуальные проблемы и тенденции развития // Информационные технологии в медицине. 2011–2012. М.: Радиотехника, 2012.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОМ ROBOBUILDER

С.А. Пекарских, студент каф. БИС

*Научный руководитель Е.С. Шандаров, ст. преподаватель каф. ЭП
г. Томск, ТУСУР, svetlana.pekarskikh@mail.ru*

Антрапоморфная робототехника активно развивается и имеет большие перспективы. Областью применения таких роботов может быть социальная работа (помощь больным и пожилым людям), развлечение людей, работа в сфере обслуживания (официанты, ресепшн), работа на опасных для жизни людей объектах, рутинная работа на заводах.

Одним из таких антропоморфных роботов является RoboBuilder 5720T. Этот робот имеет 16 приводов со встроенными PID-регуляторами, датчики звука, расстояния и положения, модуль Bluetooth [1]. Для создания новых движений робота может использоваться программа MotionBuilder, а для программирования линий поведения (сенсорных реакций) – программа ActionBuilder. Файл движения, записанный в формате RoboBuilderMotion (*.rbm), содержит все данные, необходимые для чтения и воспроизведения данного движения роботом. Файл движения состоит из сцен, т.е. один файл движения может содержать как одно простое движение из одной сцены, так и сложное, воспроизводя множество последовательно идущих сцен.

В лаборатории робототехники и искусственного интеллекта ТУСУРа был реализован проект «Создание библиотеки движений для антропоморфного робота RoboBuilder». Имея большую библиотеку движений, появилась необходимость организовать пакетную обработку *.rbm файлов и их отправку контроллеру робота для воспроизведения в реальном времени. Таким образом, перед нами была поставлена задача обеспечить управление роботом RoboBuilder в среде операционной системы Linux.

Реализация. Фактически файлы движений содержат в себе информацию, в каком положении должен находиться каждый привод в

конце исполнения простого движения. Протокол, поддерживаемый контроллером робота, позволяет управлять приводами в режиме реального времени. Команды протокола представляют собой строки с двоичными данными. Параметры, указываемые в строке: ‘байт1’ – заголовок (Header), ‘байт2’ – момент силы (Torque) и номер привода (wCK ID), ‘байт3’ – целевая позиция (Target position) и ‘байт4’ – контрольная сумма (CheckSum).

Например, команда, поворачивающая сервомотор ID1 в позицию 200 с моментом силы 1, будет содержать данные из 4 шестнадцатеричных чисел [0xFF] + [0x21] + [0xC8] + [0x69] [2].

Если нужно записать синхронное движение нескольких модулей, тогда в ‘байт3’ записывается информация о количестве wCK, в ‘байт4’ записывается позиция wCK ID0, в ‘байт5’ – позиция wCK ID1 и т.д. Последний байт содержит контрольную сумму [3].

Для отправки команд роботу из файлов *.rbm нами был разработан скрипт на языке Python: rbm2robot.py. Имя *.rbm файла для обработки указывается в параметрах командной строки.

Для организации интерфейса пользователя нами было решено использовать возможности WWW. Для этого была построена система в составе: веб-сервер, веб-приложение, программа-демон планировщик заданий, скрипт для связи компьютер–робот по каналу Bluetooth.

Веб-сервер обеспечивает функционирование веб-приложения. Веб-приложение организует интерфейс пользователя, выбор *.rbm файла из списка, формирование задания на исполнение. При разработке приложения использовался язык PHP.

Программа-демон планировщик обеспечивает последовательную обработку заданий и вызывает для исполнения скрипт rbm2robot.py. Для организации последовательной обработки программа периодически просматривает содержимое папки заданий и создает лист команд на исполнение.

Испытания программно-аппаратного комплекса показали хорошую работу как системы в целом, так и отдельных ее компонентов. Поставлена задача расширения функциональности для одновременного управления несколькими роботами.

Заключение. В данной работе было спроектировано и разработано программное обеспечение для управления роботами RoboBuilder с компьютера на ОС Linux. Проведены успешные испытания.

ЛИТЕРАТУРА

1. *USER'S GUIDE // RoboBuilder Co., Ltd. P. 8.*
2. *Understanding wCK module and C programming with RoboBuilder // RoboBuilder Co., Ltd. P. 34–35, 70.*
3. *User's manual // RoboBuilder Co., Ltd. P. 35.*

УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС

«КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА»

К.В. Попов, студент ФСУ

г. Томск, ТУСУР, x-sator12@mail.ru

Наряду с общими принципами вращения, переноса и изменения масштабов геометрических фигур существуют математические методы построения изображений в аксонометрии и перспективе; способы описания кривых в явной и параметрической форме на плоскости и в пространстве; конические сечения, методы интерполяции посредством дуг окружностей, кубические сплайны, параболическое сглаживание (сопряжение кривых), кривые Безье и β -сплайны кривые; описание поверхностей.

Совокупность методов и алгоритмов в виде конечной программы, позволяющая наглядно и интерактивно иллюстрировать основные методы и способы работы с компьютерной графикой в учебном процессе, является целью данной работы.

Реализация совокупности методов и алгоритмов в виде конечной программы позволяет наглядно и интерактивно иллюстрировать основные методы и способы работы с компьютерной графикой в учебном процессе, а также использовать результаты измерений цвета для дальнейшей работы с цветокоррекцией.

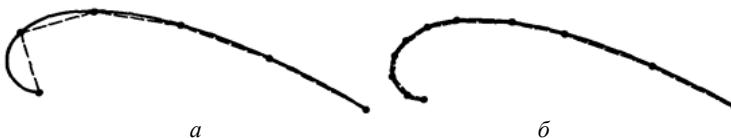


Рис. 1. Точечное представление кривых: *а* – равномерная плотность точек вдоль кривой; *б* – плотность точек возрастает с уменьшением радиуса кривизны

Кривая может быть представлена совокупностью точек. Если точки расположены близко друг от друга, то, соединяя их отрезками прямой, мы получим изображение кривой.



Рис. 2. Один сегмент кубического сплайна

Уравнение одного параметрического сегмента сплайна таково:

$$P(t) = \sum_{i=1}^4 B_i t^{i-1}, \quad t_1 \leq t \leq t_2.$$

Математическое параметрическое представление кривой Безье имеет вид

$$P(t) = \sum_{i=0}^n B_i J_{n,i}(t), \quad 0 \leq t \leq 1,$$

где базис Безье или Бернштейна, или функция аппроксимации

$$J_{n,i}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i}, \quad \binom{n}{i} = \frac{n!}{i!(n-i)!}.$$

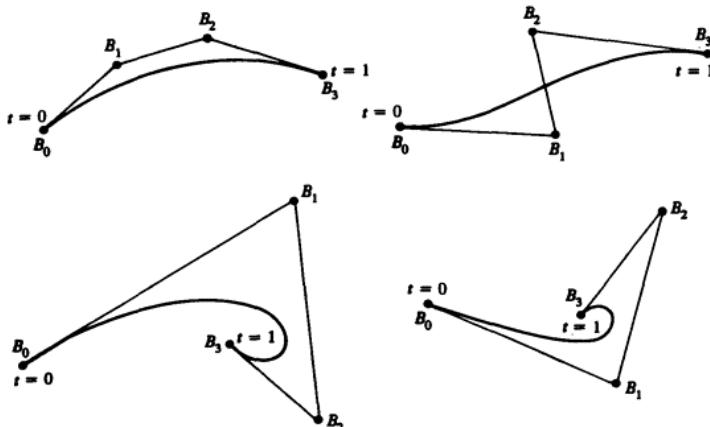


Рис. 3. Многоугольники Безье для кубических кривых

B-сплайн имеет вид

$$P(t) = \sum_{i=1}^{n+1} B_i N_{i,k}(t), \quad t_{\min} \leq t \leq t_{\max}, \quad 2 \leq k \leq n+1.$$

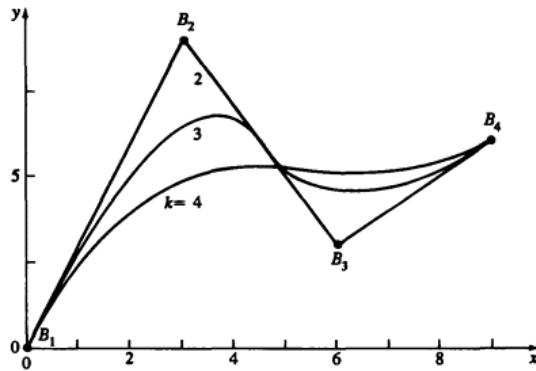


Рис. 4. Зависимость формы В-сплайна от его порядка

Результаты работы. Были проведены исследовательская работа в предметной области, поиск и изучение методов измерения и количественного выражения цвета и цветовых различий, принципы формирования цвета аддитивным смешением трех основных цветов, связи между координатами цвета (цветности) и субъективными характеристиками цвета: светлотой, цветовым тоном, насыщенностью, построение алгоритмов и проектирование поставленной задачи. Проведен поиск аналогов по решению поставленной задачи с учетом всех предъявленных требований и ограничений. Получен опыт работы с кривыми и плоскостями, кубическими сплайнами, кривыми Безье, β -сплайнами. Изучены основы технологий HTML, CSS; языков программирования PHP, JavaScript (рис. 4).

После чего была разработана программа, в которой реализованы алгоритмы работы с кривыми и плоскостями, кубическими сплайнами, кривыми Безье, β -сплайнами, диаграммой цветности МКО.

Заключение. Результатом работы является поиск и изучение совокупности методов и алгоритмов и разработка программы, в которой реализованы алгоритмы работы с кривыми и плоскостями, кубическими сплайнами, кривыми Безье, β -сплайнами, диаграммой цветности МКО и которая позволит наглядно и интерактивно иллюстрировать основные методы и способы работы с компьютерной графикой в учебном процессе.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

ДЛЯ СЕРВИСНОГО РОБОТА «ОФИЦИАНТ»

Д.И. Ример, Д.А. Смагилов, студенты каф. ЭП

*Научный руководитель Е.С. Шандаров, ст. преподаватель каф. ЭП
г. Томск, ТУСУР, mityarim@mail.ru*

Сервисный робот – это устройство, выполняющее действия, полезные для человека или окружающей среды, но не задействованное в сфере автоматизации производства. Выделяют две основные категории этого вида робототехнических систем: персональные сервисные роботы, предназначенные для удовлетворения личных нужд, и профессиональные сервисные роботы, занятые в бизнесе или на службе государства. Согласно отчету Международной федерации робототехники (IFR) за 2014 г., в период с 2014 по 2017 г. рынок сервисных роботов ожидает взрывной рост и их доля существенно превысит долю роботов, занятых в промышленности [1].

Одним из таких сервисных роботов может стать робот-официант. Роботы-официанты не только могут создать популярность ресторана,

но и быструю окупаемость. По нашим расчётом, срок окупаемости такого робота составит около 12 месяцев. И это без учета привлеченных клиентов и чаевых [2].

В России ресторанов, обслуживаемых роботами, нет. Всего единицы ресторанов мира внедрили роботов в обслуживание. К примеру, в Бангкоке ресторан *Najime* (Хаджиме) обслуживается огромным роботом, который перемещается по рельсам внутри стеклянного ограждения, а блюда подаются через специальные окошки [3]. Или ресторан в китайском городе Харбин. В нем роботы перемещаются по специальной светоотражающей полосе. Однако эти роботы выполняют свою работу «механически», без «огонька», не создавая при этом эмоционального контакта с клиентом. Мы предлагаем использовать платформу интеллектуального антропоморфного робота в качестве основы для «Официанта». Привлекательный внешний вид, близкий к человеческому, возможность свободного движения и физического взаимодействия с окружающими предметами, голосовой интерфейс – все это может сделать взаимодействие человек–машина более тесным.

Реализация. Антропоморфный робот *Nao* был выбран для реализации. Его дизайн и возможность к распознаванию речи, лиц отлично подходят для выполнения им функций официанта. *Nao* обладает большим набором датчиков, имеет 25 степеней свободы, что позволяет ему совершать человекоподобные движения. Он может подключаться к сети Интернет. Вычислительная мощность *Nao* позволяет реализовать такие функции, как распознавание образов в режиме реального времени, преобразование текста в речь, выделение из окружающего шума отдельных слов и фраз и пр. *Nao* работает под управлением кастомизированной версии *Gentoo Linux – OpenNao* [4], что позволяет использовать широкий набор программного обеспечения и библиотек функций. Программирование робота производится с помощью специального визуального ПО *Choreograph*.

Был определен следующий набор функций робота-официанта:

- распознавание и запись в память лиц клиентов;
- знакомство клиентов с меню;
- запись заказов и привязывание их к лицам клиентов;
- отправка заказа на кухню;
- выдача заказов клиенту.

Указанный набор функций является не полным. Безусловно, для создания полноценного робота-официанта количество функций должно быть больше. Ограничения связаны с ранней текущей стадией создаваемого продукта.

Изучая работы коллег [5, 6], был сделан вывод о том, что для эффективного взаимодействия человек–машина имеет большое влияние сценарий.

Следует отметить, что при разработке приложений для антропоморфных роботов важна не только правильность программного кода, но и анимация движений робота. Платформа Aldebaran Robotics Nao позволяет сопровождать движения звуками, речью, мерцанием свето-диодов. Всё это позволяет представить робота не как бездушную, отталкивающую машину, а добавить ему «человечности» – эмоции, человекоподобные движения, что в свою очередь улучшает взаимодействие человека и робота. С антропоморфными роботами проще всего взаимодействовать естественной речью.

Сценарий взаимодействия робота и человека выглядит следующим образом: робот передвигается к столу клиента, пытается распознать его лицо, в случае если такового нет в базе, запоминает и приступает к приветствию. Далее предлагает меню на выбор, к примеру: «Что вы желаете: кофе, чай, сок?». После этого робот переходит в режим ожидания ответа, в это время робот вычленяет из окружающих звуков ключевые слова, в данном случае это: «кофе», «чай», «сок». Таким образом, клиент может сказать: «Чай, пожалуйста», «Я бы хотел кофе» и т.д. Таким образом, робот запомнит то, что желает клиент. Все ключевые слова и фразы входят в словарь. Слова и фразы, не находящиеся в нём, не могут быть распознаны в данной реализации. После подтверждения клиентом правильности заказа робот переходит к следующему клиенту, если такой имеется. Собрав заказы, робот возвращается на кухню и транслирует заказы речью. Возможно отправлять заказ непосредственно на кухню в виде электронного письма.

После получения блюд робот следует к клиентам, распознает их лица, проверяет соответствие заказа и клиента. Вручает каждому клиенту его заказ, желает приятного аппетита и возвращается на место.

Для реализации программного обеспечения использовалась среда программирования Nao Choregraphe. Программа представляет собой набор блоков, соединенных между собой, функционал некоторых был расширен с помощью языка Python.

Испытания робота-официанта проводились в лабораторных условиях и в режиме демонстрации на презентации студенческих проектов в рамках курса Global Software Engineering (17 января 2015 г., Томск). Испытания проводились при различных уровнях постороннего шума, разными участниками, играющими роль «клиентов». Во всех испытаниях робот распознавал ответы «клиентов», запоминал и распознавал их лица. При взаимодействии с пользователями были выявлены и исправлены недочеты в интерфейсе.

Испытания показали, что разработанное ПО пригодно к использованию. Степень проработки сценария мы оценили как «хорошую». Дизайн, анимация, продуманная речь робота позволяют пользователю быстро адаптироваться.

Испытания выявили недостатки ПО: ограниченная функциональность робота: малое количество блюд, необходимость клиенту запоминать меню, отрицание типа «Я не хочу чай, а хочу кофе» выдаст результат «Клиент заказал чай». При сильном шуме повышена вероятность некорректно распознать ответ клиента или вообще не распознать.

Заключение. В процессе выполнения данной работы было создано ПО для робота-официанта на платформе Aldebaran Robotics Nao. Испытания показали, что разработанное ПО готово к использованию, но ограничено внешними факторами и имеет ряд недостатков, описанных выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Executive Summary*: World Robotics 2014 Service Robots [Электронный ресурс]. Электронный журнал 2014. URL: http://www.ifr.org/uploads/media/Executive_Summary_WR_2014.pdf (дата обращения: 10.02.2015).
2. *Dyn-soft Робот-Официант*. Интеллектуальный робототехнический комплекс для баров, кафе и ресторанов [Электронный ресурс]. URL: <http://robin.dynsoft.ru/forrestaurant.php> (дата обращения: 10.02.2015).
3. *Richard Lai*. Engadget.com. Robot waiters serve food and dance moves in Thailand, secretly plotting humiliation revenge [Электронный ресурс]. URL: <http://www.engadget.com/2010/04/04/robot-waiters-serve-food-and-dance-moves-in-thailand-secretly-p>, (дата обращения: 10.02.2015).
4. *NAO Technical overview// NAO Software 1.14.5 documentation* [Электронный ресурс]. URL: https://community.aldebaran-robotics.com/doc/1-14/family/robots/index_robots.html, (дата обращения: 10.02.2015).
5. *Zimina A.N., Ermakova P.S., Shandarov E.S. Robot-Assistant Behavior Analysis for Robot-Child Interactions // Innovations in Information and Communication Science and Technology, Third Postgraduate Consortium International Workshop (Tomsk). 2013. Р. 119–127.*
6. *Шандаров Е.С., Зимина А.Н., Ермакова П.С. Анализ поведения робот-ассистента в рамках разработки сценариев взаимодействия робот-ребенок // Гуманитарная информатика: Междисциплинарный сб. статей. 2014. Вып. № 8.*

ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ОСВЕЩЕНИЕ» ПО ДИСЦИПЛИНЕ «БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНДЕЯТЕЛЬНОСТИ»

A.A. Рюмкин, студент каф. АСУ

Научный руководитель В.В. Романенко, доцент каф. АСУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, rumster_rt@mail.ru

Проект ГПО АСУ-1301 «Разработка виртуальных лабораторных работ»

Данная статья посвящена разработке виртуального лабораторного практикума по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности». Целью

являлась разработка виртуальной лабораторной работы «Освещение» (рис. 1), в которой необходимо было произвести ряд измерений с помощью специального прибора – люксметра. Данные, полученные после измерения, необходимо занести в таблицы. Работа предназначена для студентов как дистанционной, так и очной формы обучения.

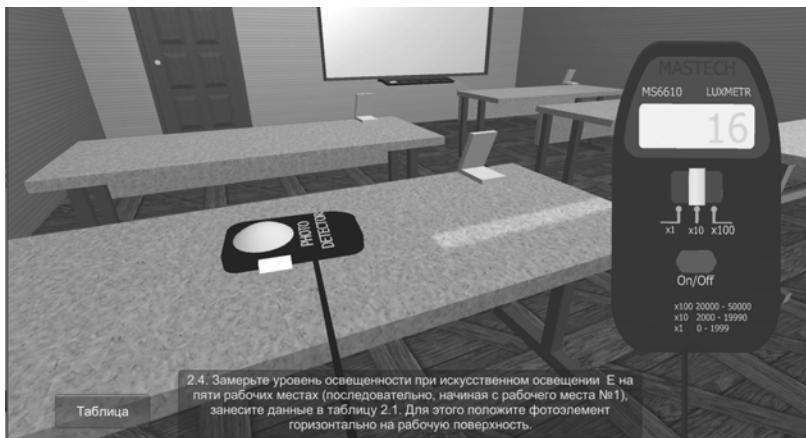


Рис. 1. Окно выполнения лабораторной работы

Выполнение работы возможно в двух режимах:

1. В локальном режиме. Пользователь запускает среду для выполнения лабораторных работ, вводит логин и пароль, после чего переходит в виртуальное окружение для ее выполнения. После завершения работы отчет сохраняется в зашифрованном виде, после чего отправляется в центр проверки по e-mail. Для проверки правильности выполнения работы используется специальная динамическая библиотека (DLL). Если проверка пройдена, работа автоматически будет зачтена. Если нет – пользователю будет отправлено по e-mail ответное письмо с причиной незачета.

2. В режиме онлайн. В этом случае пользователь проходит авторизацию на сайте факультета дистанционного обучения (ФДО) ТУСУРа, затем переходит по ссылке в окно с виртуальным окружением для выполнения работы, функционирующее в системе Moodle [1]. После завершения работы на серверной части происходит проверка правильности заполнения отчета. Если проверка пройдена, работа автоматически будет зачтена. Если нет – пользователь увидит сообщение о причине незачета.

Во время выполнения каждого этапа лабораторной работы пользователю необходимо заполнять таблицы (рис. 2).

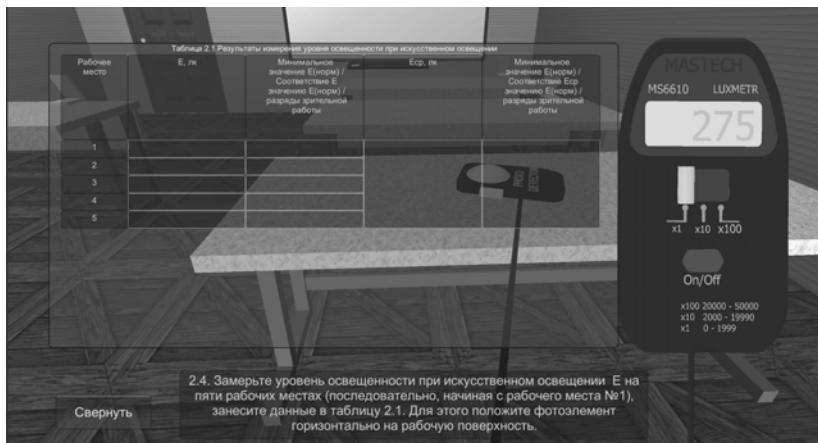


Рис. 2. Таблица

Лабораторные работы выполнены с использованием 3D-моделирования, а также характеризуются тем, что пользователь взаимодействует с объектами от первого лица. Виртуальное лабораторное окружение создавалось в среде 3D-моделирования Unity3D [2]. 3D-модели выполнены в редакторах Google SketchUp [3] и 3ds Max.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов А.М. Работа в системе дистанционного обучения Moodle. Харьков: Изд-во ХНАГХ, 2009. 292 с.
2. Goldstone W. Unity Game Development Essentials. Packt Publishing Ltd, 2009. 302 с.
3. Петелин А. SketchUp – просто 3D!: учебник-справочник Google SketchUp v. 8.0 Pro. Кн. 2. Эксперт. Интернет-издание, 2012. 186 с.

РАЗРАБОТКА ПОДПРОЕКТА «СТИШОК С ДВИЖЕНИЯМИ» ДЛЯ ПРОЕКТА «РОБОТ-НЯНЯ» О.Е. Шандарова, студентка ЭНИН, ТПУ

Научный руководитель Е.С. Шандаров, ст. преподаватель каф. ЭП
г. Томск, ТУСУР, vilka-xd@yandex.ru

Социальная робототехника – новое направление в науке, психологии и технике, включающее робототехнические системы в социальные взаимодействия. Социальные роботы – это перспективная ниша как с точки зрения исследований, так и бизнеса.

Примерами социальных роботов могут быть: робот «Паро» – выглядит, как детеныш гренландского тюленя и оказывает успокаиваю-

щее действие, вызывает эмоциональную реакцию у пациентов в домах престарелых и больницах; робот *Nexi* – может мигать, пожимать плечами, изображать мимику на лице; робот *Autom* предназначен для помощи людям, желающим уменьшить свой вес; робот-бармен *ARMAR* (разработчик *Karlsruhe Institute of Technologys*) в зависимости от заказа приносит напитки и еду.

Проект «Робот-няня» реализуется в лаборатории робототехники и искусственного интеллекта ТУСУРа с 2012 г. Целью проекта является создание программно-аппаратного комплекса, реализующего функции помощника воспитателя детского сада. Идея проекта заключается в том, что воспитатель в детском саду не может в течение дня оказать достаточно внимания всем детям из группы. «Робот-няня» должен помочь в этом, заняв детей полезным делом хотя бы на часть дня [1, 2].

Архитектура проекта включает в себя антропоморфную робототехническую платформу с развитыми средствами коммуникации и набор программ, реализующих различные сценарии человеко-машинного взаимодействия.

С момента старта проекта было реализовано несколько десятков сценариев, часть которых после тестирования на фокус-группах были одобрена для включения в состав комплекса. Одним из таких сценариев стал подпроект «Стишок с движениями».

Различные формы «Стишков с движениями» активно используются в педагогической практике при работе с детьми от полутора до 5 лет. Детки как бы иллюстрируют стишок движениями, это расширяет их словарный запас, развивает координацию движений, образное мышление и воображение, тренирует внимание и память. Для ребенка это дополнительная форма игры.

Таким образом, перед нами были поставлены следующие задачи:

- выбрать стих для прототипа;
- разработать набор движений для анимации;
- запрограммировать «чтение» роботом стиха и анимации;
- провести испытания.

В качестве робототехнической платформы для прототипа был использован робот *NAO* от компании *Aldebaran Robotics*. Эта платформа обладает встроенными возможностями по анализу и синтезу голоса, развитыми анимационными возможностями. Программирование робота производится с помощью системы визуального программирования *Choreographe*.

В качестве стиха была выбрана потешка «У оленя дом большой...». В соответствии с рекомендациями и текстом стишко был разработан сценарий для робота. Сценарий предусматривал отдельные анимации для каждой строчки. Число строк – 23. Поскольку строки

идут одна за другой, необходимо было разработать не только сами анимации, но и переходы между ними. Важным параметром являлось время, необходимое для «чтения» роботом каждой строки, поскольку «чтение» и анимации должны быть синхронизованы. Поскольку, как правило, время, необходимое для выполнения движений, больше, чем на «чтение», синхронизация проводилась по исполнению движений. Несмотря на наличие большого количества степеней свободы робота, было принято решение отказаться от перемещений по поверхности для улучшения параметров равновесия. Для создания анимаций были задействованы все приводы робота.

Эксперимент. Испытания подпроекта «Стишок с движениями» проводились в лабораторных условиях и в режиме демонстрации на выставке достижений молодых ученых РостУР-2014 13 ноября 2014 г. в Краеведческом музее г. Томска. Демонстрация на выставке проводилась перед фокус-группами – детьми в возрасте от 3 до 7 лет.

Испытания показали, что созданный прототип принимается представителями целевой аудитории положительно, большая часть детей старательно повторяла движения робота. Степень проработки сценария мы оценили как «хорошую». Дизайн, анимации робота в целом являются достаточно наглядными и легко понимаются детьми.

К недостаткам прототипа можно отнести не всегда верно выбранную скорость чтения стишка и неочевидность некоторых анимаций.

Заключение. В процессе выполнения данной работы был создан прототип подпроекта «Стишок с движениями». Были разработаны сценарий человека-машинного взаимодействия, программное обеспечение для робота NAO, проведены испытания. Признано, что работу необходимо продолжать, внеся изменения в текущую версию, также необходимо дополнить прототип несколькими стихами. Также целесообразно дополнить анимацию цветовыми сигналами робота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шандаров Е.С., Зимина А.Н., Ермакова П.С. Анализ поведения робота-ассистента в рамках разработки сценариев взаимодействия робот–ребенок // Гуманитарная информатика: Междисциплинарный сб. статей. 2014. вып. 8.
2. Zimina A.N., Ermakova P.S., Shandarov E.S. Robot-Assistant Behavior Analysis for Robot-Child Interactions // Innovations in Information and Communication Science and Technology. Third Postgraduate Consortium International Workshop (Tomsk). 2013. P. 119–127.

БАЗА ЗНАНИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

В.С. Шараев, студент каф. ЭМИС

Научный руководитель Н.В. Замятин, профессор, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, tusurovec@gmail.com

В настоящее время спрос на интеллектуальные приложения продолжает оставаться актуальным [1]. Развиваются методы, средства и системы принятия решений, извлечения, анализа и моделирования знаний, анализа исходных текстов и понимания их смысла, управления технологиями производства. Множество современных методов разработки интеллектуальных программных систем (ИПС) и экспертных систем (ЭС) «предлагают» представлять декларативно знания (базы знаний), отделяя их и от процедурной части (решателей), и от баз данных. ИПС и ЭС активно используют онтологии данных и знаний либо в качестве входной информации, либо как информацию о структуре обрабатываемой информации. Онтологии знаний, в частности, обеспечивают эффективное управление декларативными знаниями. Отладка и сопровождение знаний могут осуществляться экспертами предметной области, тогда как отладка и сопровождение компонентов-решателей осуществляется инженерами (программистами и проектировщиками). Распространено использование онтологий на этапах определения требований, их моделирования, проектирования обрабатываемых и хранимых данных разрабатываемых систем. Такое применение онтологий для некоторых видов программного обеспечения позволило снизить трудоемкость создания и сопровождения программ.

Наиболее популярными используемыми в программной инженерии онтологиями являются онтология предметной области и онтология задач. Онтология предметной области важна для специфирования и проектирования приложений и их данных в некоторой проблемной области, а онтология задач необходима для проработки функциональности приложений, решающих некоторые типы задач. В предметных областях, связанных с научными исследованиями, с проектированием объектов новой техники и технологий, онтологии используют для постановки прикладных задач и создания решателей задач.

Энергетическая стратегия Российской Федерации определяет решение задач рационального использования топливно-энергетических ресурсов в энергоемких отраслях для энергетического сектора экономики страны приоритетными направлениями развития [2]. Нормативными документами дано следующее определение понятию «энергетическая эффективность»: это характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затра-

там энергетических ресурсов (ЭР), произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу.

Для исследования вопросов повышения энергоэффективности в работе рассматривается процесс кирпичного производства. Кирпичное производство – комплекс технологически связанных оборудования, расположенного в обособленных производственных зданиях, которые включают в себя резательные аппараты, туннельные сушила, печи и вспомогательное оборудование, предназначенное для производства кирпича.

Целью является обеспечение эффективного принятия решений в области повышения энергетической эффективности работы кирпично-го производства путем создания экспертной системы поддержки принятия решений.

В ходе исследования вопросов повышения энергоэффективности были решены следующие задачи:

- обзор и анализ существующих методов повышения энергоэффективности производства продукции на кирпичном производстве;
- формирование базы знаний экспертной системы на основе онтологии с использованием оригинального языка представления знаний CLIPS;
- прогнозирование значений показателей энергоэффективности производства с целью упреждающего управления для выявления и предупреждения причин излишнего потребления ресурсов на производство кирпичной продукции, для этого требуется прогнозировать поведение показателей энергоэффективности предприятия;
- разработка программного обеспечения, экспертной системы поддержки принятия решения для повышения энергоэффективности производства продукции на кирпичном производстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шалфеева Л.А. Возможности использования онтологий при разработке и сопровождении программных систем // ИАПУ ДВО РАН. 2011. С. 3–5.
2. Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 28.12.2013) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.07.2014).

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА
И ПОДБОРА НОВЫХ КАДРОВ
В ТОМСКОМ ОТДЕЛЕНИИ ОАО «СБЕРБАНК РОССИИ»**
Н.П. Сибирякова, студента каф. АСУ

*Научный руководитель: И.А. Красиков, ассистент каф. АСУ
г. Томск, ТУСУР, nataliasibiryakova70@gmail.com*

Управление персоналом – деятельность, направленная на обеспечение организации качественным персоналом, способным выполнять возложенные на него трудовые функции, и оптимальное его использование. Управление персоналом является неотъемлемой частью качественных систем управления организации.

Предметной областью автоматизации является процесс учета кадров и подбора нового квалифицированного персонала в соответствии с требованиями, предъявляемыми работодателями.

Отбор кадров обычно производится путём определения наиболее подходящих кандидатов из резерва, созданного в ходе набора. В целом решение о выборе подходящего кандидата принимается на основе таких факторов, как образование кандидата, уровень его профессиональных навыков, опыт предшествующей работы, личные качества.

Цель автоматизированной системы – увеличение скорости работы отдела по работе с персоналом за счет автоматизации следующих процессов: поиск существующих кадров, обработка заявок кандидатов на соискание должности на предприятии.

Задачи автоматизированной системы:

1. Обработка входной информации о кандидатах и выдача выходного отчета в удобном для восприятия виде.
2. Принятие решения о приеме на работу кандидата.
3. Поиск информации о кандидатах по различным критериям.

Автоматизированная система состоит из пяти подсистем (рис. 1).

Подсистема А1 «Подсистема регистрации» предназначена для ввода данных о кандидате в ИС. Данные вводятся на основе штатного расписания, инструкции отдела кадров ОАО «Сбербанк», Трудового кодекса, должностных инструкций и устава предприятия. На вход поступают документы: личные (копия паспорта; копия трудовой книжки; копия военного билета), документы об образовании (копия документа об образовании), документы о семейном положении (копия свидетельства о заключении брака). Формированием подсистемы занимается сотрудник отдела кадров. На выходе формируется анкета кандидата.

Подсистема А2 «Подсистема собеседования» предназначена для ввода и хранения информации об этапе собеседования. За ввод данных и проведение собеседования ответствен сотрудник отдела кадров. На вход поступает анкета кандидата. На выходе – отчет.

Подсистема А3 «Подсистема тестирования» предназначена для ввода и хранения информации о пройденных тестах кандидатами и их результатах. За ввод данных и проведение тестирования ответствен

сотрудник отдела кадров. На вход поступает анкета кандидата. На выходе – отчет.

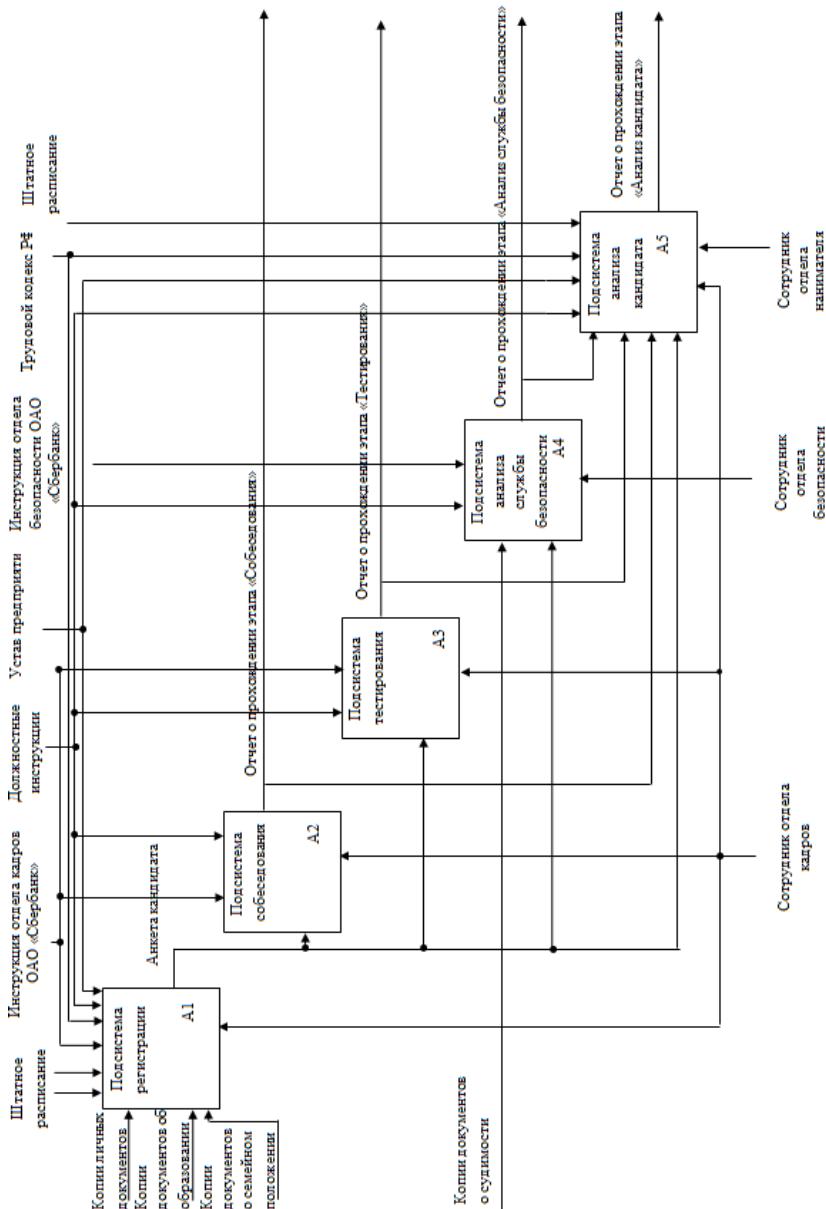


Рис. 1. SADT-модель уровня А0

Подсистема А4 «Подсистема анализа службы безопасности» предназначена для рассмотрения кандидатуры сотрудником отдела безопасности. Здесь на входе предоставляются личная карточка кандидата и документы о судимости, на управление поступает инструкция отдела безопасности ОАО «Сбербанк», на выходе формируется отчет службы безопасности. Ответственный за анализ службы безопасности – сотрудник службы безопасности.

Подсистема А5 «Подсистема анализа кандидата» предназначена для анализа и принятия дальнейшего решения о кандидате на должность. На вход поступают личная карточка кандидата и отчеты по всем ранее пройденным этапам. На управление поступают Трудовой кодекс РФ, устав предприятия, должностные инструкции и штатное расписание. Ответственный за анализ кандидата и подбор решения – сотрудник отдела кадров и сотрудник отдела нанимателя. На выходе формируется отчет.

На рис. 2 изображена концептуальная FA-модель, отражающая сущности и атрибуты.

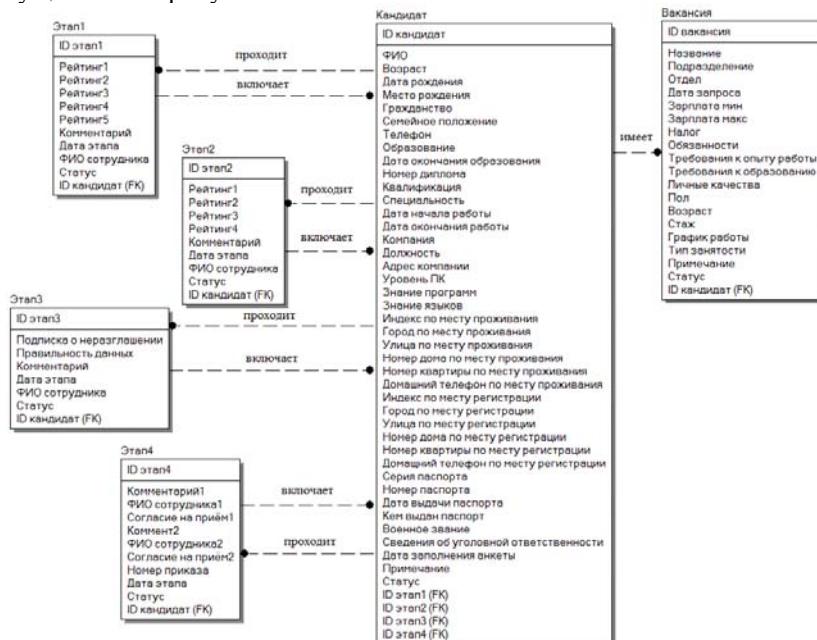


Рис. 2. FA-диаграмма концептуальной модели информационной системы

Далее была выбрана среда разработки и на основе вышеперечисленных данных был разработан интерфейс системы.

РАЗРАБОТКА ПОДПРОЕКТА «ЗНАКИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ» ДЛЯ ПРОЕКТА «РОБОТ-НЯНЯ»

A.Н. Зимина, программист, Е.В. Соколова, студентка

Научный руководитель Е.С. Шандаров, ст. преподаватель каф. ЭП

г. Томск, ТУСУР, Jacky_90@mail.ru

Проект ГПО ЭП-0703 «Видео по запросу»

Одним из перспективных направлений в науке и технике на данный момент является социальная робототехника. Одной из главных проблем внедрения робототехнических средств в сферу жизнедеятельности является взаимодействие робота и человека. На сегодняшний день существует множество примеров применения робототехники в социальных взаимодействиях. Рассмотрим один из них.

Лаборатория робототехники и искусственного интеллекта ТУСУРа занимается разработкой проекта «Робот-няня» с 2012 г. Целью проекта является создание и внедрение робототехнических программно-аппаратных средств в социальную работу с детьми дошкольного возраста. Для достижения поставленной цели проект был разделен на несколько подпроектов, которые охватывают образовательную, развивающую и игровую составляющие воспитания ребенка. Один из образовательных подпроектов описан в работах [1, 2].

Для реализации проекта было принято решение использовать человекоподобного робота, который должен обеспечить необходимый уровень эмоциональной связи ребенок–машина.

Выбор платформы неоднозначен, так как на рынке представлено множество роботов различной конфигурации. Исходя из набора технических характеристик, для решения поставленной задачи был использован робот Aldebaran Robotics NAO.

Робот Nao был выбран по ряду характеристик:

- 25 степеней свободы;
- двигательный элемент – электропривод;
- датчики: 2 камеры, 4 микрофона, сонары–дальномеры, 2 инфракрасных излучателя и приёмника, 1 инерционная панель, 9 тактильных сенсоров и 8 датчиков давления;
- средства коммуникации: речевой синтезатор, светодиодные индикаторы и 2 динамика;
- связь с роботом по WiFi и Ethernet;
- аккумулятор 27 А/ч (1,5 ч автономной работы).

Программное обеспечение проекта создавалось в программе Choregraphe. Choregraphe позволяет пользователям NAO создавать и редактировать интерактивное поведение, движения робота в удобном интерфейсе.

Интуитивно понятный графический интерфейс, набор стандартных библиотек поведения робота и расширенные функции программирования позволяют работать с NAO новичкам и опытным пользователям.

В данной работе рассмотрена разработка подпроекта образовательной составляющей воспитания ребенка. Для обучения детей был выбран урок правил дорожного движения и поведения на проезжей части. Для реализации проекта были подготовлены карточки с изображениями знаков дорожного движения и разработан сценарий урока. Сценарий урока:

- приветствие детей роботом;
- предложение выучить и повторить знаки дорожного движения;
- демонстрация карточек детям, затем роботу;
- сканирование карточек роботом;
- озвучивание текста, соответствующего показанному изображению;
- если карта незнакома или показана некорректно, робот сообщает, что он не знает, что изображено;
- по окончании урока робот благодарит детей за участие и прощается.

Для реализации этой идеи использовались такие возможности робота, как голосовой синтез текста, система технического зрения и распознавания изображений.

Процесс создания библиотеки необходимых изображений состоял из нескольких шагов. Сначала роботу NAO показывали все карточки со знаками дорожного движения по одной в течение 5–10 секунд. Когда камера робота фиксировала изображение, обводились контуры каждого знака и ему присваивалось имя, под которым он и сохранялся для последующего распознавания. Затем вносились поправки в существующие блоки на языке программирования Python согласно созданной базе изображений, где для каждого знака, сохраненного под определенным именем, присваивается нужный текст для произнесения.

Для испытания работы программы после приветствия роботу демонстрировался подготовленный набор карточек со знаками дорожного движения. Изображения показывались по одному в произвольном порядке. При отладке программы сбои возникали вследствие высокой схожести элементов, изображенных на знаках. Это приводило к тому, что робот путал значения карточек с одинаковыми элементами. Исправить такие ошибки удалось более тщательной прорисовкой контуров изображений и выбором для распознавания различных по форме элементов.

В ходе испытаний было установлено, что со своей задачей робот справляется. Разработанный сценарий действий выполняется полностью. Процент ошибки сведен к минимуму за счет описанных выше

приемов. Выявлено, что сбой может возникнуть только при очень низкой освещенности, когда изображение, передаваемое с камер, не может быть корректно идентифицировано. В этом случае робот сообщает, что он не знает, что изображено на карточке. Исправить такую ситуацию можно, повысив уровень освещенности и повторно продемонстрировав изображение роботу.

Заключение. Итогом проделанной работы является программное обеспечение, которое было разработано, протестирано в лаборатории и с успехом прошло испытание в реальных условиях при участии группы детей дошкольного возраста и учеников младших классов. Эксперимент проводился под присмотром родителей. В результате реакция участников и зрителей демонстрации проекта оказалась положительной. Сбоев в работе программы и робота не возникало.

На основании результатов, полученных при работе с данным проектом, и информации, изученной при подготовке к нему, можно сделать вывод, что разработки в данной сфере имеют широкие перспективы развития, так как гуманоидные роботы, к которым относится используемый в проекте НАО, являются одной из самых перспективных сфер научных разработок в наши дни. Это связано с тем, что между машиной такого типа и человеком возникает эмоциональная связь. Это позволяет относиться к роботу с большим доверием и вызывает дополнительный интерес к робототехнике и робототехническим средствам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шандаров Е.С., Зимина А.Н., Ермакова П.С. Анализ поведения робот-ассистента в рамках разработки сценариев взаимодействия робот–ребенок // Гуманитарная информатика: Междисциплинарный сб. статей. 2014. Вып. № 8.
2. Zimina A.N., Ermakova P.S., Shandarov E.S. Robot-Assistant Behavior Analysis for Robot-Child Interactions // Innovations in Information and Communication Science and Technology, Third Postgraduate Consortium International Workshop (Tomsk). 2013. P. 119–127.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ФИНАНСОВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

О.В. Соловьева, студентка каф. АСУ

Научный руководитель А.И. Исакова, доцент каф. АСУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, olya.solovyova@mail.ru

Финансовое планирование занимает важное место в системе управления финансами организации. В процессе планирования предприятие оценивает состояние своих финансов, выявляет возможности увеличения финансовых ресурсов и направления их наиболее эффективного использования.

тивного использования. При этом управленческие решения принимаются на основе анализа финансовой информации.

План поступления и расходования денежных средств, разработанный на предстоящий год с разбивкой по месяцам, дает только общую основу управления денежными потоками предприятия. Денежные потоки организации в течение одного месяца могут характеризоваться высокой динамикой и нестабильностью. Помочь устраниить эти недостатки может оперативное управление финансами.

Оперативное управление финансами – это совокупность организационных, методических и технологических мероприятий, обеспечивающих управление текущими финансовыми операциями и финансами ресурсами организации в краткосрочной перспективе. Основным инструментом по оперативному управлению финансами организации является платежный календарь. Платежный календарь представляет собой плановый финансовый документ, обеспечивающий ежедневное управление поступлением и расходованием денежных средств предприятия.

В идеале ведение платежного календаря в организации должно быть автоматизировано. Это позволит повысить оперативность поступления финансовой информации и исключить негативное воздействие человеческого фактора на управление текущими финансами [1].

Информационная система оперативного финансового планирования была разработана для ОАО «Корпорация развития Томской области» (КРТО) по заказу заместителя генерального директора по финансам. Деятельностью КРТО является обеспечение топливно-энергетическими ресурсами предприятия ЖКХ, социальной сферы и сельхозтоваропроизводителей Томской области. На предприятии в отделе экономического анализа и финансового контроля для ведения платежного календаря используется Microsoft Office Excel. Правда, такой способ имеет ряд недостатков: низкую оперативность в отражении информации и формировании отчетности, незащищенность от сбоев, проблему двойного ввода данных, необходимость затрат времени на перепостроение отчетности.

Для формирования платежного календаря необходимыми документами являются заявки на платежи от различных центров финансовой ответственности (ЦФО). Эти заявки создавались в форме электронных таблиц Excel. Данные в таблицы приходилось вносить вручную. Это усложняло работу заместителю генерального директора по финансам, так как перед формированием платежного календаря приходилось исправлять ошибки в таблицах. На построение самого платежного календаря уходило много времени. Поэтому было принято

решение автоматизировать ведение платежного календаря на предприятии. Информационная система должна позволять:

- создавать такие учетные документы, как заявки на платежи;
- формировать электронную отчетность, необходимую для контроля исполнения платежей, – платежный календарь;
- реализовывать поддержку процедур контроля и согласования заявок на оплату;
- разграничивать права доступа к финансовой информации для разных уровней ответственности в компании.

Совместно с заместителем генерального директора по финансам были разработаны и утверждены единая форма заявки на платежи и справочники, данные из которых будут использоваться в заявках. Так же была разработана отчетная форма платежного календаря.

Далее, изучив входные и выходные документы, была построена функциональная модель SADT. Построение SADT-модели начинается с представления всей системы в виде простейшей компоненты – одного блока и дуг, изображающих интерфейсы с функциями вне системы. На рис. 1 изображено общее представление информационной системы. Детализировав данный блок, получим диаграмму уровня A0, состоящую из трех подсистем:

- подсистемы формирования, учета и контроля заявок на платежи;
- подсистемы формирования общего платежного календаря;
- подсистемы формирования детализированного платежного календаря.



A0 – ИС оперативного финансового планирования

Рис. 1. Общее представление информационной системы

Следующим этапом разработки информационной системы является создание модели данных в нотации IDEF1X. Были созданы диаграммы уровней ER, FA и KB.

Далее были выбраны средства разработки системы, а затем были реализованы база данных и интерфейс системы.

Разработанная информационная система поможет работе отдела экономического анализа и финансового контроля. Теперь руководителям ЦФО не нужно каждый раз создавать заявки на платежи в виде электронных таблиц Excel, достаточно заполнить форму, и заявка будет сформирована автоматически. Заместителю генерального директора по финансам достаточно всего лишь выбрать тип платежного календаря (общий или детализированный), период формирования календаря и его периодичность.

В дальнейшем у информационной системы появятся новые возможности: создание диаграммы платежного календаря, формирование бюджета движения денежных средств, план – фактный анализ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Планово-экономический отдел [Электронный ресурс]. Режим доступа:
http://www.profiz.ru/peo/1_2012/platezn_kalendar/

ВЫЧИСЛЕНИЕ ФОРМАЛЬНЫХ ИНВАРИАНТНЫХ ПРИЗНАКОВ, ОПИСЫВАЮЩИХ ИЗОБРАЖЕНИЕ

Б.Б. Тарбаев, студент каф. АСУ

*Научный руководитель В.Т. Калайда, профессор каф. АСУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, enhbair@gmail.com*

В наше время в связи с тем, что информация об исследуемых и контролируемых объектах носит форму двумерных полей (изображений), задача идентификации изображений возникает практически во всех системах управления и контроля ими, и, следовательно, является актуальной проблемой.

Такие задачи характерны от систем метеорологии до систем безопасности, от исследований исторических рукописных текстов до подтверждения электронной подписи в банках.

В связи с тем, что в реальных ситуациях изображения получаются в различных условиях съёмки (уровень освещённости, аффинные и проективные искажения), то возникает проблема в формализованном описании изображения, инвариантного к таким искажениям. Частично эта проблема может быть решена использованием при описании (яркостных признаков) моментов Лежандра и Цернике, которые инвариант-

ны к аффинным преобразованиям. Однако наиболее существенные искажения, вызванные разницей освещённости, эти представления не компенсируют. Для класса функций (одномасштабного изображения одного и того же объекта) формализация по моментам по существу является выборкой случайных векторов, описывающих каждое изображение. Следовательно, необходимо формализованно представить класс изображений. Так как реализация вектора моментов $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_k)$ является случайной величиной, то класс изображений можно представить как выборку и описать его в виде многомерной функции плотности вероятности (МФПВ).

В этой связи возникает проблема выбора и обоснования методов восстановления МФПВ, наиболее точно описывающей полученную выборку и удобной в применении к задаче идентификации изображений.

Таким образом, **объектом исследования** в работе является формализованное описание изображения и класса изображений, а **предметом исследования** – влияние коэффициента размытия на качество восстановленной многомерной функции плотности вероятности.

Исходя из этого **целью работы** является алгоритм формализованного описания класса изображений в виде многомерной функции плотности вероятности.

На рис. 1 показана часть функциональной модели программной системы в нотации IDEF0.

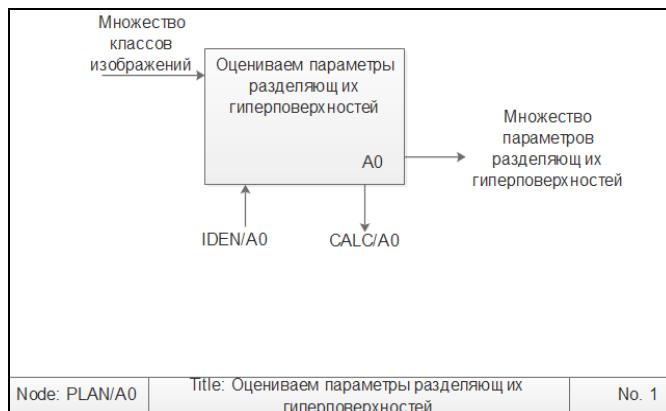


Рис. 1. Родительский блок.
Оценка параметров разделяющих гиперповерхностей

Описание IDEN/A0 представлено в работе «Идентификация полутонового изображения лица человека» С.С. Касаткина. На рис. 2 представлен результат декомпозиции родительского блока.

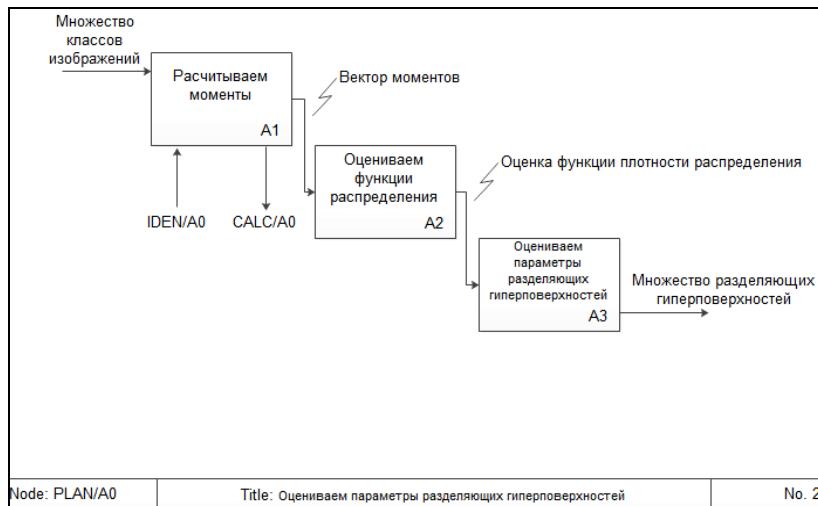


Рис. 2. Дочерняя диаграмма.
Оценка параметров разделяющих гиперповерхностей

Более подробное описание CALC/A0 представлено на рис. 3.

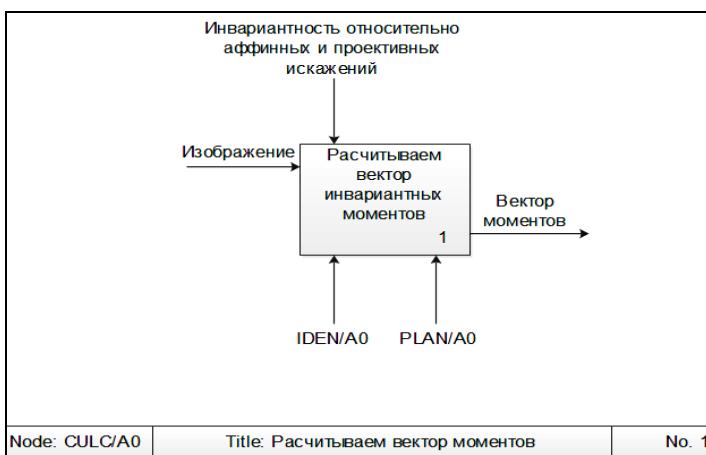


Рис. 3. Расчет вектора моментов

Теоретическое описание диаграммы CULC/A0 можно найти в работах [1, 2]. Описание работы функций «Оценка функции распределения» и «Оценка параметров разделяющей гиперповерхности» можно найти в работе [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарбаев Б.Б. Алгоритм и программная система идентификации полутонаового изображения лица человека на основе формализма Цернike: выпускная квалификационная работа: 010500.62: защищена 21.06.14: утверждена 06.06.14. Томск, 2014. 52 с.

2. Касаткин С.С. Алгоритм описания полутонаового изображения лица человека моментами Лежандра, инвариантными к аффинным преобразованиям: выпускная квалификационная работа: 010500.62: защищена 21.06.14: утверждена 06.06.14. Томск, 2014. 57 с.

3. Алгоритмы и метод формализованного описания изображения непараметрической многомерной функцией плотности вероятности распределения алгебраических моментов: Отчет о НИР/ Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники; рук. В.Т. Калайда. Томск, 2014. 45 с.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РОБОТА – МЕДИЦИНСКОГО КОНСУЛЬТАНТА

А.И. Татьянников, М.А. Соколова, студенты каф. ЭП

*Научный руководитель Е.С. Шандаров, ст. преподаватель каф. ЭП
г. Томск, ТУСУР, tatyannikov1994@mail.ru*

Социальная робототехника – новая перспективная отрасль науки и техники. В этом случае роботы не участвуют в производстве, а помогают людям, активно взаимодействуя с ними. Направления исследований в области социальной робототехники включают в себя различные аспекты человека-машинного взаимодействия, компьютерное зрение, управление движением и пр.

Одним из интересных видов роботов в этой отрасли являются роботы-помощники [1]. Эти машины могут использовать голосовое управление, имеют доступ в Интернет. Данная работа посвящена разработке прототипа робота – медицинского консультанта на основе экспертных систем.

На разработку данного проекта нас вдохновили работы русского изобретателя механических «интеллектуальных машин» С.Н. Корсакова. Его машина – плоский гомеоскоп, являющийся прототипом современной экспертной системы – позволяла определять необходимое лекарство, исходя из анализа симптомов больного.

Мы предлагаем использовать платформу интеллектуального антропоморфного робота в качестве основы для медицинского консультанта. Привлекательный внешний вид, близкий к человеческому, возможность свободного движения и физического взаимодействия с окружающими предметами, голосовой интерфейс – все это может сделать взаимодействие человек–машина более тесным.

Антропоморфный робот Nao был выбран для реализации. Его дизайн и возможность к распознаванию речи отлично подходят для вы-

полнения им функций медицинского советника. Nao обладает большим набором датчиков, имеет 25 степеней свободы. Он может подключаться к сети Интернет, что позволит отправлять данные об исследовании клиента прямо в базу данных пациентов.

При постановке задачи по созданию робота-консультанта с использованием экспертной системы был составлен список подзадач, необходимых для решения:

- формирование списка вопросов, задаваемых пациенту;
- база знаний, связывающая симптомы и диагнозы;
- разработка сценария человеко-машинного взаимодействия;
- разработка программного обеспечения робота;
- испытание прототипа.

Сценарий взаимодействия робота и человека выглядит следующим образом: потенциальный пациент обращался к роботу с целью диагностики своего состояния здоровья. Робот задает человеку вопросы из списка и получает ответы на них, как правило, в простой форме: «да» или «нет». После сопоставления вопросов и ответов с базой знаний робот сообщает пациенту диагноз.

Для организации взаимодействия использовался голосовой интерфейс робота NAO. Программирование робота производилось в среде Choregraphe. Программа представляет собой набор блоков, соединенных между собой, функционал которых мы расширяли с помощью языка Python.

Испытания проводились в лабораторных условиях и в режиме демонстрации на презентации студенческих проектов в рамках курса Global Software Engineering (17 января 2015 г., Томск). На основе результатов испытаний были сделаны выводы о внесении модификаций в ПО и расширении базы знаний.

Заключение. В процессе выполнения данной работы было создано ПО для прототипа робота-медицинского консультанта на платформе Aldebaran Robotics Nao. Проведены испытания, сформирован план модификаций и доработок.

Считаем, что данный проект мог бы успешно использоваться, например, в лечебно-профилактических учреждениях в качестве консультанта посетителей ЛПУ.

Работа была выполнена в рамках совместного с Университетом Рицумейкан учебного курса Global Software Engineering.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шандаров Е.С., Зимина А.Н., Ермакова П.С. Анализ поведения робота-ассистента в рамках разработки сценариев взаимодействия робот – ребенок // Гуманитарная информатика. 2014. Вып. 8. С. 52–64.
2. NAO Technical overview // NAO Software 1.14.5 documentation [Электронный ресурс]. URL: https://community.aldebaran-robotics.com/doc/1-14/family/robots/index_robots.html, (дата обращения: 10.02.2015).

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА СОПОСТАВИМЫХ РЫНОЧНЫХ ЦЕН ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ЗАКУПОК

E.C. Тишикевич, студент каф. АСУ

Научный руководитель Н.П. Минькова, доцент каф., к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, estishkevich@gmail.com

Одним из основных этапов при заключении государственного и муниципального заказа на поставку товаров, выполнения работ и оказания услуг является обоснование и формирование начальной максимальной цены контракта (НМЦК).

Начальная максимальная цена контракта, согласно закону № 44-ФЗ, является одновременно предельной и максимальной. Государственный заказчик не обладает правом заключения контракта на сумму, превышающую предельную начальную максимальную цену контракта. В целом, начальная максимальная цена контракта должна соответствовать рыночному уровню цен на закупаемую продукцию, включая, в частности, предполагаемую стоимость ее поставки.

Существует несколько методов определения начальной максимальной цены контракта:

1. Обоснование начальной максимальной цены контракта методом сопоставимых рыночных цен (анализ рынка).
2. Определение НМЦК нормативным методом.
3. Определение НМЦК тарифным методом.
4. Определение НМЦК проектно-сметным методом.
5. Определение НМЦК затратным методом.

Приоритетным методом для определения цены является метод сопоставимых рыночных цен (анализ рынка) [2]. Суть этого метода заключается в том, чтобы установить начальную (максимальную) цену контракта на основании информации о рыночных идентичных товарах, работах, услугах, планируемых к закупкам, или при отсутствии однородных товаров, работ, услуг.

Было проведено исследование НМЦК методом сопоставимых рыночных цен для продукции хозяйственного назначения. Был предоставлен список из 15 наименований товаров, у каждого товара было несколько реестровых номеров заказа (источников информации), откуда и были взяты цены. Цены на чистящее средство варьировались от 115 до 149 руб. за штуку, общее количество было 60 шт., на пятновыводитель цены установлены в пределах от 450 до 621 руб. за штуку, общее количество 125 шт., цена ленты сантиметровой также варьировалась от 40 до 27 руб. за штуку и т.д.

Для вычисления НМЦК методом сопоставимых рыночных цен использовалась формула (1):

$$НМЦК_{рын} = \frac{v}{n} \times \sum_i^n \Pi_i , \quad (1)$$

где $НМЦК_{рын}$ – $НМЦК$, определяемая методом сопоставимых рыночных цен (анализа рынка); v – количество (объем) закупаемого товара (работы, услуги); n – количество значений, используемых в расчете; i – номер источника ценовой информации; Π_i – цена единицы товара, работы, услуги, представленная в источнике с номером i , скорректированная с учетом коэффициентов (индексов), применяемых для пересчета цен товаров, работ, услуг с учетом различий в характеристиках товаров, коммерческих и (или) финансовых условий поставок товаров, выполнения работ и оказания услуг.

Расчет $НМЦК$ выявил, что на каждый представленный товар существует своя начальная максимальная цена контракта, так, например, $НМЦК$ для чистящего средства была 7578,5 руб., $НМЦК$ пятновыводителя 10076 руб. и т.д. С учетом всех 15 позиций товара $НМЦК$ составила 90865,23.

После вычисления начальной максимальной цены контракта необходимо выявить однородность совокупности значений выявленных цен, используемых в расчетах $НМЦК$, требуется рассчитать коэффициент вариации цены. Для этого изначально следует вычислить дисперсию и среднеквадратичное отклонение. Вычисления показали, что коэффициент вариации чистящего средства равен 0,16, а для пятновыводителя он был равен 0,17 и т.д. По всем 15 позициям товара коэффициент вариации на превысил 33%. Если коэффициент вариации окажется выше 33%, следует провести дополнительные исследования.

Цены прошлых периодов, используемые в расчетах, были приведены к текущему уровню цен путем применения коэффициента для пересчета цен прошлых периодов, рассчитанного в соответствии с формулой (2):

$$k_{пп} = \frac{100 + \sum_{t=1}^{t_{\phi}} (ИПЦ_t - 100)}{100} , \quad (2)$$

где $k_{пп}$ – коэффициент для пересчета цен прошлых периодов к текущему уровню цен; t_{ϕ} – срок формирования ценовой информации, используемой для расчета; t – месяц проведения расчетов $НМЦК$; ИПЦ _{t} – индекс потребительских цен на месяц в процентах к предыдущему месяцу, соответствующий месяцу до t включительно, установленный Федеральной службой государственной статистики.

Для прогнозирования цены на будущие периоды необходимо использовать показатели инфляции на интересующий период:

$$\text{Цена}_{\text{бп}} = (\text{Цена}_{\text{пп}}) \times \text{индекс инфляции}, \quad (3)$$

где $\text{Ц}_{\text{бп}}$ – цена будущего периода; $\text{Цена}_{\text{пп}}$ – цена предыдущего периода.

Исходя из этой формулы, вычисляется некоторая доля, которую надо прибавить к цене с учетом коэффициента пересчета, для того чтобы получить цену на интересующий период. Таким образом НМЦК на 01.07.2014 г. составляла 90865,23, но к 01.12.2014 г. цена увеличилась и стала 104731,27.

Заключение. В ходе выполнения работы была изучена информация о методе сопоставимых рыночных цен и произведена реализация планирования закупок, используя этот метод. Также были рассмотрены способы пересчета и индексации цены контракта. Рассмотрены способы пересчета и индексации цены на прошедший и будущий период, произведена проверка на выявление однородности цен.

На основе полученных данных и изученной информации в дальнейшем предполагается автоматизировать реализацию метода сопоставимых рыночных цен при планировании закупок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 05.04.2013 №44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных (муниципальных) нужд».

2. Приказ Министерства экономического развития РФ от 2 окт. 2013 г. №567 «Об утверждении методических рекомендаций по применению методов определения начальной (максимальной) цены контракта, заключаемого с единственным поставщиком (подрядчиком, исполнителем)».

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

A.B. Тищков, студент каф. ЭМИС

*Научный руководитель Н.В. Замятин, профессор, каф. АОИ, д.т.н.
г. Томск, Tishkovarv@sibur.ru*

В настоящее время проблема энергосбережения и повышения энергетической эффективности является одной из важнейших проблем современной промышленности. Важным аспектом реализации политики энергосбережения на промышленных предприятиях является внедрение инноваций в области повышения энергоэффективности. Таковыми можно считать разработку мероприятий и программы мер, направленных на повышение энергетической эффективности промышленных предприятий, с комплексным использованием современного обо-

рудования и соответствующей организацией производственного процесса. В мероприятиях будут предложены различные методики, такие как система сбалансированных показателей, системный подход, бенчмаркинг, система жизненных циклов оборудования, энергоанализ, энергоменеджмент, метод анализа иерархий, метод экспертных оценок [1].

Возможным инновационным подходом к решению проблемы энергосбережения являются разработка и внедрение информационной системы (ИС), осуществляющих оптимальное управление энергоемкими технологическими объектами. Большинство промышленных технологических объектов являются многомерными, т.е. имеющими многочисленные взаимосвязанные входные и выходные переменные. При разработке ИС многомерным объектом необходимо учитывать множество факторов, таких как: распределенность и многочисленность контролируемых и регулируемых параметров объекта; взаимное влияние соседних зон объекта друг на друга; наличие шумов в каналах управления и измерения; сложность применяемого критерия оптимальности; необходимость реализации управляющих воздействий в реальном масштабе времени; изменение погодных условий и т.д. Для учета этих особенностей в состав ИС включается база знаний, содержащая множество алгоритмов обработки информации, поэтому при разработке математического и алгоритмического обеспечения ИС в настоящее время широко применяются методы искусственного интеллекта (нечеткая логика, нейронные сети, мультиагентные системы и т.д.).

При оценке результата вычисления энергоэффективности оборудования учитываются различные варианты развития событий, т.е. разрабатываются сценарии с рядом вероятных и опасных условий, а также дается оценка финансовых последствий осуществления таких сценариев [2]. У каждого варианта свои значения входных переменных.

В таблице представлена реализация оценки показателей энергоэффективности оборудования определенного иерархического уровня на предприятии с помощью нечеткой логики [3].

Одним из начальных этапов проектирования ИС является выбор структуры системы управления. Как правило, структура системы управления многомерным объектом выбирается иерархической. Одним из важных показателей эффективного функционирования ИС является обеспечение поддержки принятия решений эргатическим элементом в стрессовых ситуациях при работе в условиях неопределенности. С помощью метода Шортлифа–Бьюкенена [4] производится последовательный расчет и выбирается наиболее предпочтительный вариант.

Пример оценки энергоэффективности оборудования предприятия

Шаг алгоритма	Результат выполнения шага алгоритма
Определяем переменные, включаемые в математическую модель	Входные переменные. Потребление электроэнергии (кВт/ч). Производительность (КПД). Срок окупаемости (СО). Жизненный цикл (изношенность оборудования) (ЖЦ). Рентабельность инвестиций в данное оборудование (РИ). Выходная переменная. Ремонтопригодность оборудования (РПО)
Для каждой переменной задаем функции принадлежности	Все функции трапециевидные или треугольные. Параметры функций подбираются, исходя из смысла переменной. Все переменные имеют логические значения – низкое, среднее и высокое. Переменные описываются трапециевидной функцией принадлежности, имеют логическое значение yes
Формирование базы правил системы нечеткого вывода (пример)	Если низкий КПД или низкий ЖЦ, то результат низкий. Если средний КПД и средний ЖЦ, но СО высокий, то результат средний. Отвергаются системы оборудования со сроком окупаемости более нормы. Если СО и РИ имеют логическое yes, то результат высокий
Вычисление результатов	Получение четкого значения результата

Применение ИС для решения задач анализа и синтеза оптимального управления энергоемкими технологическими объектами позволяет снизить затраты энергоресурсов и повысить качество выпускаемой продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стокилл Д. Энергоэффективность в перерабатывающей промышленности: Руководство пользователя по стабильной энергоэффективности. М., 2013. 51 с.
2. Семененко М.Г. Оценка эффективности инвестиционных проектов на основе нечеткой логики / М.Г. Семененко, Т.В. Лесина //Финансовая аналитика: проблемы и решения. 2011. № 29. С. 63–68.
3. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: учеб. / Под ред. Н.Д. Егупова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 744 с.
4. Артемова С.В., Павлов В.И., Артемов А.А., Муромцев Д.Ю. Поддержка принятия решения эргатическим элементом в условиях неопределенности методом Шортлифа–Бьюкенена // Вестник Тамбовского ун-та. Сер. Естественные и технические науки. 2013. Т. 18, вып. 4. С.1435–1439.

АНАЛИЗ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ РЕГИСТРАТУРЫ ПОЛИКЛИНИКИ

E.A. Туркова, студентка каф. АСУ

***Научный руководитель М.Ю. Катаев, профессор, каф. АСУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, lena.tukova@mail.ru***

При проектировании и реализации большой медицинской информационной системы важным является понятие бизнес-процесса. Типичный бизнес-процесс включает в себя потоки информации, материальных средств, пациентов, определяет последовательность возникновения событий, порождает более частные подпроцессы; в свою очередь, каждый бизнес-процесс является составной частью более общего процесса, в конечном итоге представляющего функционирование всего лечебного учреждения. Выделены следующие основные бизнес-процессы, протекающие в рамках областной клинической больницы:

- управление входным потоком пациентов (расписание, график, талоны);
- основной процесс лечения (последовательность врачебных приемов);
- назначение и исполнение диагностических и лечебных назначений;
- выписка больничных листов;
- контроль обоснованности выписки льготных препаратов.

В общем виде процесс управления входным потоком пациентов выглядит следующим образом:

1. На основе наличия некоторого объема ресурсов лечебного учреждения составляется расписание работы врачей, в котором учитываются факторы наличия помещений, персонала, оборудования и т.д.

2. Общее расписание работы проецируется на отрезок времени, осуществляется привязка работы специалистов к конкретным числам; здесь происходит более точный учет обстоятельств и корректировка графика их работы.

3. За несколько дней до даты приема происходит лимитирование талонов на основе существующего графика работы и при необходимости их корректировка.

4. Регистратурой осуществляется выдача талонов на текущий прием и в виде предварительной записи.

5. Заполненные талоны поступают на вход следующему процессу – врачебному приему; на этом данный процесс завершается.

Регистратура является точкой входа в систему, в ее обязанности входит идентификация пациента, проверка возможности обслуживания, заведение амбулаторной карты, если пациент пришел в первый раз, и выдача талона (или нескольких) на прием.



Рис. 1. Место регистратуры в общей структуре больницы

Проблемы регистратуры, возникающие во время работы:

- 1) большое количество посетителей за один день (около 1000);
- 2) необходимость подбора оптимального времени для посещения одним пациентом нескольких специалистов за день;
- 3) неравномерный темп реализации талонов (большая часть талонов, около 60%, реализуется в первые два часа работы регистратуры) (рис. 2);

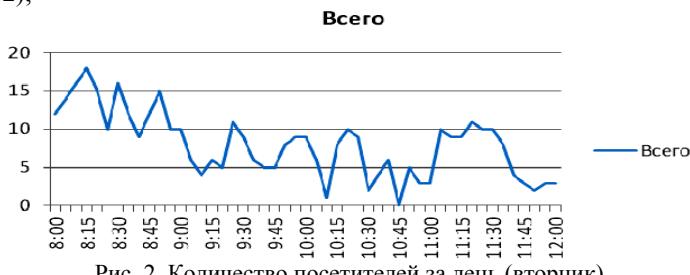


Рис. 2. Количество посетителей за день (вторник)

- 4) необходимость корректировки расписания: от плановой корректировки расписания следующего месяца, до снятия талонов специалиста на текущий день, например в случае его болезни;

5) необходимость отображения расписания для посетителей различными средствами (например, на настенных мониторах или на сайте больницы).

ЛИТЕРАТУРА

1. *ОГАУЗ «Областная клиническая больница»* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://okb.tomsk.ru/>
2. *Медицинская информатика* [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://krasgmu.ru/sys/files/ebooks/el_medinfo/2060.html.
3. *Вендрев А.М.* Методы и средства моделирования бизнес-процессов. М.: Весть-Метатехнология, 2004. 32 с.

СОЗДАНИЕ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА

И.А. Уртамова, студентка каф. АСУ

*Научный руководитель С.Л. Миньков, доцент каф. АСУ, к.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, urytamova@gmail.com*

Создание веб-сайтов является одной из важнейших технологий разработки ресурсов Интернет. Хороший сайт, вбирая в себя всю полезную информацию, является лучшей визитной карточкой фирмы, работая на нее в любое время суток.

Создание функционирующего интернет-магазина и продвижение его на рынке услуг. Объектом исследования данной работы является процесс электронной торговли. Шоу-рум занимается продажей женской одежды. На данный момент он является молодой компанией, поэтому наибольшее внимание необходимо уделить созданию простого удобного пользовательского интерфейса интернет-магазина, а также лаконичного дизайна, который привлек бы потенциальных потребителей.

После исследования деятельности предприятия была создана функциональная модель системы, представленная на рис. 1. Модель состоит из трех подсистем: создание каталога товаров, создание клиентской базы, продажа товара.

A1 – «Создание каталога товаров» – на этом этапе происходит ввод, хранение и обновление данных о товарах. Данные о новых товарах вводятся в панель управления CMS с помощью клавиатуры. В дальнейшем эти данные служат для составления каталога товаров и для оформления заказа.

A2 – «Создание клиентской базы» – на этом этапе происходит ввод, хранение и обновление данных о клиентах магазина. Ввод данных происходит с помощью формы регистрации на сайте, данные вводит пользователь с клавиатуры. Эти данные может изменять админи-

стратор в панели управления. Далее данные зарегистрированных пользователей используются для оформления заказов.

А3 – «Продажа товара» – на этом этапе клиент выбирает понравившийся ему товар на сайте и оформляет заказ, также с помощью сайта. Администратор просматривает данные заказа и при необходимости изменяет их. При успешном оформлении заказа клиенту предоставляется чек на оплату, содержащий все необходимые данные. После чего изменяется история заказов клиента и наличие заказанного товара в магазине. На основе всех полученных сведений администратор составляет отчет по продажам.

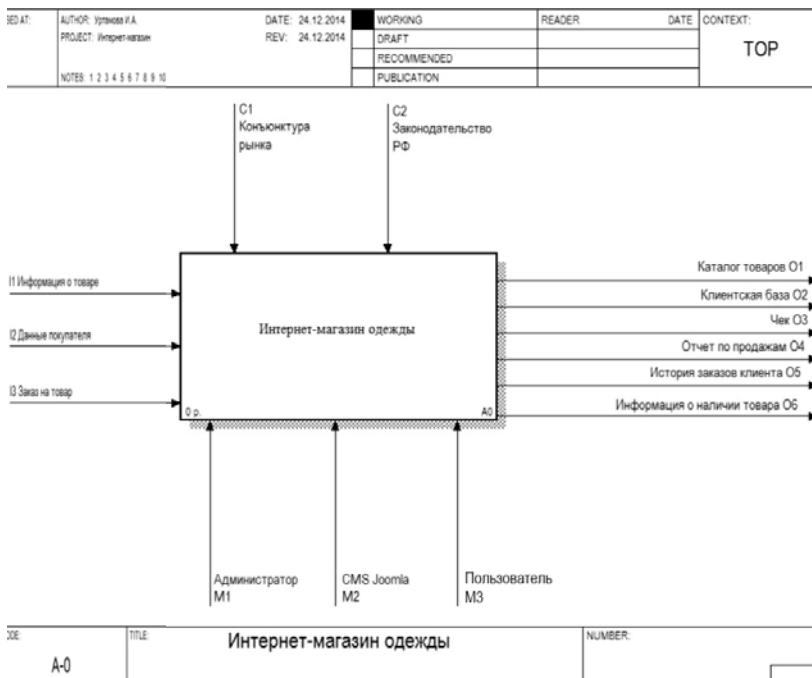


Рис. 1. Диаграмма A0 «Интернет-магазин одежды»

Аналоги. На российском рынке функционирует множество интернет-магазинов, предоставляющих пользователям самые различные услуги. Мною были рассмотрены в частности магазины женской одежды. По данным сайта redpig.ru [1] одними из самых популярных сайтов на данный момент являются: wildberries.ru, lamoda.ru, asos.com. Сайты этих фирм имеют очень удобный интерфейс и сразу привлекают внимание пользователей ярким дизайном. Первые две фирмы также

попали в рейтинг «Forbes: 20 крупнейших интернет-магазинов России». Именно эти три сайта послужили ориентирами для создания требований к моему проекту.

Среда разработки. Было принято решение разрабатывать сайт с помощью CMS. CMS (Content management system) – информационная система или компьютерная программа, используемая для обеспечения и организации процесса создания редактирования и управления контентом. Для анализа были выбраны следующие CMS: Drupal, Joomla, Wordpress.

WordPress [2]. Процесс установки WordPress достаточно прост. Его очень легко освоить и применять по своему усмотрению в дальнейшем. Существенным плюсом данного движка является наличие большого количества тем, которые можно использовать для оформления внешнего вида и функционального наполнения сайта. Создание любого проекта на базе данной системы не вызывает особых трудностей и не требует от пользователя серьезных специальных знаний.

Joomla. Процесс установки данной системы полностью автоматизирован и максимально упрощен. Количество разных тем для оформления сайта достаточно велико и разнообразно. Весь спектр необходимых настроек можно осуществить из административной панели. Большим плюсом данной CMS является наличие большого количества расширений, которые могут быть установлены с использованием специального инсталлятора.

Drupal. Процесс установки Drupal достаточно прост. Однако интеграция новых шаблонов потребует начальных знаний и навыков программирования. Для администрирования сайтов, созданных на базе Drupal, также потребуются определенные знания и навыки. Добавление материалов можно осуществлять при использовании визуального редактора. Гибкость системы обеспечивает большое число различных плагинов, которые позволяют создавать разноплановые сайты разных уровней сложности.

Именно три описанные бесплатные CMS системы являются самыми распространенными среди вебмастеров рунета. Создание сайтов на их основе будет наиболее простым и выгодным. Рабочие форумы и сообщества пользователей систем помогут справиться с любой неожиданностью или исправить возникшую ошибку.

В итоге для разработки интернет-магазина была выбрана CMS Joomla v.3.

С учетом всех требований была разработана бета-версия интернет-магазина. Была создана внутренняя структура сайта и разработан дизайн. В качестве основных цветов для сайта были выбраны преимущественно светлые оттенки. Также добавлены основные модули для работы интернет-магазина.

В дальнейшем необходимо проработать маркетинговую сторону проекта. В итоге вывести сайт на рынок услуг г. Томска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Как выгодно купить одежду через Интернет. Лучшие интернет-магазины одежды и обуви [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://redpig.ru/luchshie-internet-magaziny-odezhdy/>
2. Обзор бесплатных CMS [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cmsmagazine.ru/library/items/cms/drupal_joomla_wordpress/.
3. Joomla! По-русски [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://joomlaportal.ru/>.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА УКРАШЕНИЙ ИЗ НАТУРАЛЬНЫХ КАМНЕЙ

О.А. Васильева, студентка каф. АСУ

*Научный руководитель С.Л. Миньков, доцент каф. АСУ, к.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, olgandrvasiljeva@gmail.com*

Целью работы является проект интернет-магазина для электронной коммерциализации изделий ручной работы. Данный ресурс позволяет осуществить просмотр и покупку товаров с помощью платежной системы с предоставлением услуг курьера.

Основным этапом в проекте является проектирование базы данных (БД). Перед созданием БД необходимо располагать описанием выбранной предметной области, которое должно охватывать реальные объекты и процессы, иметь всю необходимую информацию для удовлетворения предполагаемых запросов пользователя и определить потребности в обработке данных.

Поэтому создание концептуальной модели началось с первичного анализа информационных потребностей пользователей. В роли пользователей выступают как потенциальные покупатели, так и администрация магазина.

Для начала рассматривались потребности покупателей. При входе в магазин пользователь должен получить: удобный доступ к товарам – поиск товаров по ключевым словам, распределение товаров по категориям; продуманную навигацию; получение полной информации о товаре: цена, название, описание. Также у покупателя должна быть возможность оставлять комментарии к товарам, писать предложения / замечания администрации магазина.

Далее рассматривались потребности администрации. Администрации магазина необходима хорошая административная панель для добавления новых категорий, товаров, редактирование слайдера, добавление/редактирование страниц в навигации («О себе», «Как заказать» и др.). Должна быть реализована возможность удобного отсле-

живания заказов, получение оповещения о новом заказе по электронной почте.

После проведения анализа потребностей пользователей были выявлены следующие сущности: камни, зодиак, комментарии, вопрос, ответ, категория продукта, продукт, заказ продукта, статус заказа, итоговый заказ, адрес, город, страна, поставка.

База данных магазина создана в системе управления базами данных (СУБД) «PostgreSQL» [1]. Основные возможности данной СУБД – функции, которые являются блоками кода, исполняемые на сервере, а не клиенте БД. Они могут писаться на чистом «SQL», реализация дополнительной логики выходит за рамки (например, циклы) и требует использования некоторых языковых расширений. Функции могут писаться на многих языках.

Преимущества данной системы:

1. Стоимость: распространяется бесплатно.
2. Расширяемость: имеется множество надстроек.
3. Масштабируемость: возможность создания реплик, кластеров.
4. Гибкость: возможность гибкой настройки СУБД согласно аппаратному обеспечению.

Обработка данных осуществляется с помощью ORM, которая облегчает взаимодействие с БД.

Концептуальная модель была создана в «PowerDesigner» [2].

Проектирование БД является очень важным этапом, от которого зависят последующие этапы разработки СУБД. Время, затраченное разработчиком на проектирование БД, обычно окупается высокой скоростью реализации проекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Официальный сайт Sybase CIS* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.sybase.ru/products/powerdesigner> (дата обращения: 5.03.2015).
2. *Официальный сайт Postgresql* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.postgresql.org/> (дата обращения: 5.03.2015).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПРОХОЖДЕНИЯ РОБОТОМ DARWIN OP ПОЛОСЫ ПРЕПЯТСТВИЙ ДЛЯ ПРОЕКТА LEAGUE OF EVERYBODY

Д.О. Якушин, магистрант каф. УИ

*Научный руководитель Джо-Хо Ли, профессор
г. Кусацу, университет Рицумейкан, yakushin.dmitriy@gmail.com*

Робототехника – это прикладная наука, требующая огромного количества знаний из таких дисциплин, как кибернетика, механика, информатика, электротехника, а также новейших передовых достижений

из различных отраслей. Повсеместное внедрение роботов и интеграция их в повседневный, обыденный процесс позволяет: интенсифицировать производство, увеличить мощности, облегчить жизнь человека и сделать ее более комфортной. На текущий момент существующий уровень технологического развития позволяет сконструировать человекоподобного робота, который не будет уступать человеку, а в некоторых областях даже превосходить. Однако скорость развития программного обеспечения, алгоритмов и необходимых функций для базового взаимодействия с окружающим миром и объектами остается медленной. Такие алгоритмы, как управление ходьбой, прыжками, восхождением и спуском по лестнице, распознавания объектов, содержат нерешенные проблемы и требуют глубоких знаний в данных областях. Количество исследовательских лабораторий и специалистов в робототехнике крайне мало, в первую очередь из-за финансовых проблем, не каждый исследователь может позволить себе дорогостоящую платформу и программное обеспечение для разработки.

Проект League of Everybody (LoE) представляет собой платформу для разработки и удаленного тестирования программного обеспечения для человекоподобного робота с взаимодействием с реальным окружением при помощи моделей краудсорсинга и геймификации [1]. Участникам проекта предоставляется возможность написать свой собственный программный код, а также разработать новые либо оптимизировать старые программные алгоритмы для реального человекоподобного робота Darwin Open Platform. LoE-система аккумулирует все программные решения для робота, загруженные на сервер.

Перед участниками была поставлена задача: робот должен достичь места назначения, обходя белые препятствия, робот начинает движение каждый раз из стартовой зоны. Поле соревнований изображено на рис. 1, стартовая зона покрашена в желтый цвет, место назначения обозначено зеленой зоной и имеет зеленую цветовую марку на стене.

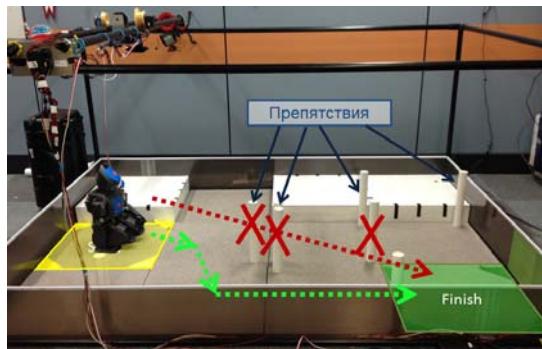


Рис. 1. Установка для проведения соревнований LoE

Поскольку создание программного обеспечения для антропоморфного робота представляет сложную задачу для неподготовленного исследователя, перед нами была поставлена цель: разработать программу-пример, которая реализует базовые алгоритмы для решения поставленной задачи – преодоления полосы препятствий.

Программа-пример содержит следующие основные структурные блоки:

- управление движением (БУД);
- обработка информации с камеры (БОИ);
- принятие решений (БПР).

БУД обеспечивает всенаправленное движение робота с сохранением устойчивости. Параметры, регулирующие движение робота: ширина, угол поворота и высота шага – возможно изменять в ходе исполнения программы. При изменении данных параметров корректируются траектория движения и характер движения. Кроме этого, БУД предоставляет доступ к управлению положении головы, что используется для слежения за целью с помощью установленной видеокамеры.

БОИ использует объекты поставляемой с роботом библиотеки Camera и ImgProcess для захвата изображения с камеры [2]. У блока две основные задачи: поиск конечной цели и детектирование препятствий. Преобразование полученного изображения с камеры из формата RGB в HSV производится для корректной процедуры поиска цветовой маски кадра для детектируемого цвета. Далее происходит вычисление центра масс цветовой маски и передача координат положения найденного объекта в блок УД для управления положением головы робота.

Детектирование препятствий осуществлялось при помощи гистограммы направленных градиентов: после нахождения цветовой маски для белых препятствий, кадр сегментировался на десять вертикальных областей, для каждой из которых находилось количество пикселей искомого цвета, обработка изображения показана на рис. 2.

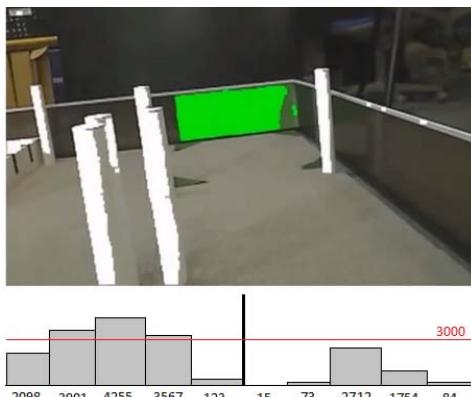


Рис. 2. Изображение, обработанное с камеры робота. Решение 320×240 пикселей

Верхняя часть изображения отсекалась и не участвовала в расчетах, так как не несет полезной информации о препятствиях, а также вносит помехи в расчеты из-за наличия окружения поля. Из полученного массива определялось расположение препятствий: слева, по центру или справа. Если одно из значений превышало допустимый предел 3000 пикселей, предполагается, что в этом участке находится препятствие. Значение допустимого предела был определено экспериментальным путем.

БПР. Задачи блока: формирование команд для блока УД с целью обхода препятствий, детектирование падений и обработка нештатных ситуаций, движение по азимуту к конечной цели. Для упрощения модели было принято решение постоянно и безотрывно следить за конечной целью, одновременно вычисляя положение препятствий. Алгоритм предполагает, что если центральный путь чист, можно идти к цели напрямую, если же путь преграждает препятствие, то начать движение по азимуту к цели в противоположном направлении от препятствия. Так как обрабатываемый участок кадра выбран снизу, робот продвигается все ближе и ближе к цели, даже если далее находится очередное препятствие, где включается обход препятствия вновь.

Реализация программы-примера производилась на языке C++, сборка готовой программы производилась в операционной среде робота.

При проведении испытаний мы изменяли яркость и плотность фоновой засветки, а также конфигурацию лабиринта и положение конечной цели. Было проведено 42 испытания, в 70% случаев робот успешно достигал конечной цели. Абсолютно все участники проекта воспользовались данной программой для разработки собственных алгоритмов.

Заключение. В результате проделанной работы была разработана программа-пример, позволяющая участникам проекта LoE быстрее и легче интегрироваться в процесс участия. Высокий процент участников, использовавших пример, показывает обоснованность необходимости в создании данной программы. В результате испытаний программа показала свою высокую устойчивость как при множестве проходов, так и при изменении конфигурации полосы препятствий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Yakushin D.O., Lee J.H.* Cooperative robot software development through the internet // System Integration (SII), 2014 IEEE/SICE International Symposium on – IEEE. Tokyo (Japan), 2014. P. 577–582.
2. *Inyong H., Yusuke T.* Development of Open Humanoid Platform DARwIn-OP // SICE Annual Conference – IEEE. Tokyo (Japan), 2011. P. 2178–2181.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АРХИВА ОРГАНИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ ИМУЩЕСТВЕННЫХ ОТНОШЕНИЙ АДМИНИСТРАЦИИ ЗАТО СЕВЕРСК

В.О. Язынина, студентка

*Научный руководитель М.В. Григорьева, доцент каф. АСУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, voyazynina@mail.ru*

Основные задачи архивной службы любой организации – это обеспечение хранения документации и оперативное предоставление необходимой информации о текущей деятельности организации. Цель данной работы – автоматизировать деятельность архива Управления имущественных отношений администрации ЗАТО Северск (далее – Управление).

Автоматизация проводилась в несколько этапов: изучение сведений об организации учета проектной и исполнительной документации в архиве Управления; формулирование задачи разрабатываемой информационной системы; анализ входной и выходной информации; проектирование и разработка информационной системы «Учет технической и проектно-исполнительской документации в Управлении имущественных отношений администрации ЗАТО Северск».

Описание предметной области. Управление осуществляет функции по управлению муниципальным имуществом (за исключением жилых помещений), функции по оказанию муниципальных услуг и право-применительные функции в сфере имущественных отношений [1].

В произвольный момент времени невозможно точно сказать, над какими документами работает какой-либо отдел или исполнитель, какова история и текущее состояние того или иного вопроса, кому была передана та или иная проектно-исполнительная документация и имеется ли конкретный документ в архиве Управления. И поэтому возникает необходимость в создании информационной системы по учету движения проектно-исполнительной документации.

Проектирование информационной системы. После изучения основных правил работы архивов организаций, входных и выходных документов [2], определения задач информационной системы была построена функциональная SADT-модель архива Управления имущественных отношений администрации ЗАТО Северск, в которой были выделены четыре основные функции:

- зарегистрировать запросы клиентов;
- зарегистрировать техническую, проектно-исполнительскую документацию;

– учитывать движение технической, проектно-исполнительной документации. Декомпозиция этой функции, были выделены следующие функции: передавать документацию; уничтожать документацию; формировать отчетность;

– контролировать исполнение запросов клиентов.

SADT-модель уровня A0 представлена на рис. 1.

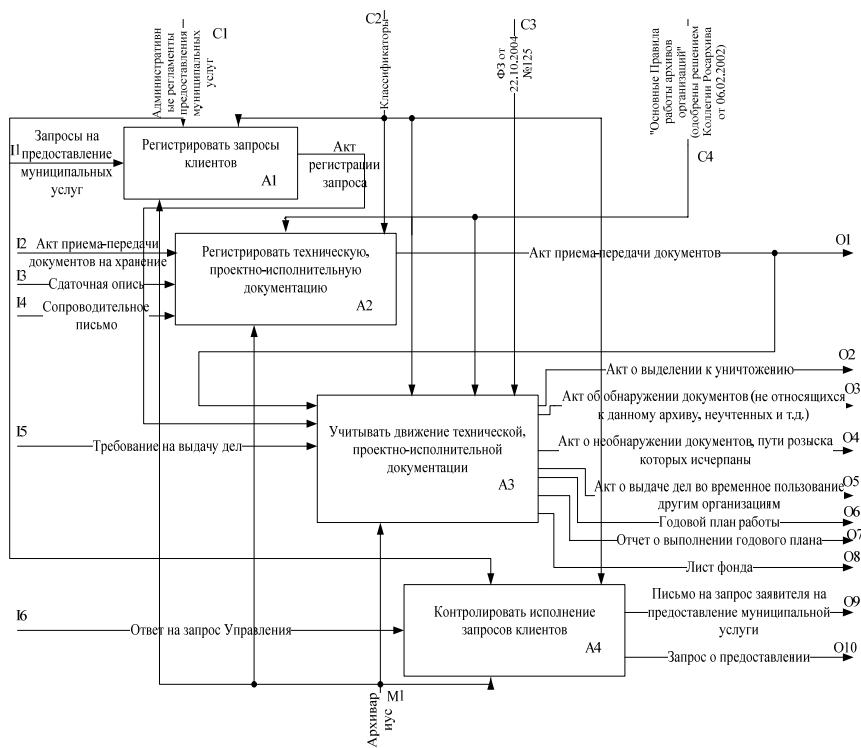


Рис. 1. Диаграмма А0 «Информационная система «Учёт технической и проектно-исполнительной документации в архиве Управления имущественных отношений администрации ЗАТО Северск»

Учитывая то, что проектируемая система подразумевает для своей работы наличие базы данных, на этапе проектирования была разработана концептуальная модель базы данных в нотации IDEF1X.

Информационная система разработана средствами 1С:Предприятия

Заключение. Результатом представленной работы является информационная система и опыт классического структурного проектирования.

рования: разработаны модели в нотации IDEF0, IDEF1X, структура метаданных средствами конфигуратора 1С:Предприятия, а также интерфейс, содержащий экранные формы, отчёты и документы. Информационная система в настоящий момент проходит этап тестирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Управление имущественных отношений администрации ЗАТО Северск. Официальный сайт [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.uio.seversknet.ru> (дата обращения: 11.04.2014).
2. Основные правила работы архивов организаций [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ohranatruda.ru/> (дата обращения: 21.07.2014).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РОБОТА С НАЛИЧИЕМ ПРЕПЯТСТВИЙ

*И.В. Заворотный, студент каф. АСУ
г. Томск, ТУСУР, cr-10@mai.ru*

В настоящее время существует потребность в облегчении работы человека как на производстве, так и в других сферах деятельности, за счет автоматизации и роботизации процессов. В непрерывной динамике сменяющих друг друга технологий, создание роботехники стало одним из ключевых моментов повышения эффективности производства. Роботизация открывает широкие горизонты развития многих аспектов человеческой деятельности. На сегодняшний день главная задача инженеров в сфере роботехники – создание механизмов, способных быстро и качественно обучить роботов определенным навыкам. В своей исследовательской работе я бы хотел продемонстрировать один из методов обучения робота определенному умению. Моя деятельность заключается в создании алгоритма, отвечающего за поведение робота, а именно в нахождении груза и перемещении его в заданную позицию.

Данная работа актуальна, так как в настоящее время существует потребность в облегчении работы человека и в уменьшении затрат, к примеру, на разгрузку товара. Деятельность одного робота может заменить деятельность нескольких человек и дорогостоящую технику, а также поможет сберечь здоровье человека, которое может пострадать от несчастных случаев.

Робот будет функционировать с помощью нейронной сети, которая будет обучаться на основе генетического алгоритма. Нейронная сеть состоит не более чем из трех слоев, так как при увеличении числа слоев увеличивается время обучения сети.

Робот располагается на поле, которое поделено на тайлы. Также на поле располагаются груз и конечная точка. На рис. 1 представлено игровое поле с роботом, грузиком и конечной точкой.

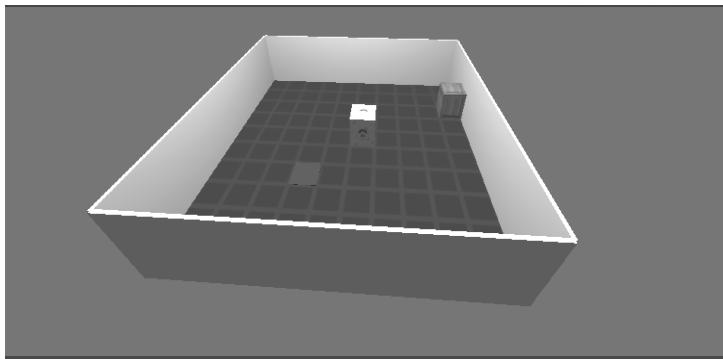


Рис. 1. Игровое поле

Количество нейронов в сети можно будет варьировать для улучшения качества обучения.

Общий вид нейрона приведен на рис. 2.

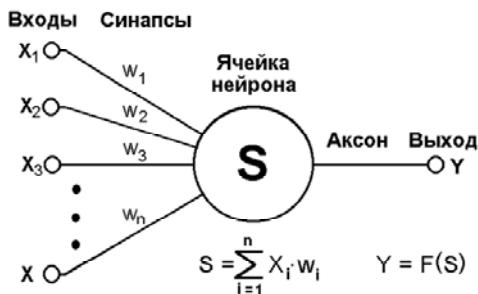


Рис. 2. Общий вид нейрона

На рис. 2 обозначено: X_i – входные данные, подаваемые на сеть, а именно: координаты робота, координаты грузика, координаты целевой точки, бит, который говорит, был ли взят груз или нет, а также предыдущие координаты робота; w_i – весовые коэффициенты нейрона в диапазоне от $-0,5$ до $0,5$, а $S = \sum_{i=1}^n X_i w_i$ – численный вид ячейки нейрона.

Выход нейрона $Y = F(S)$ есть функция его состояния и называется активационной функцией.

Генетический алгоритм включает следующие этапы:

- Создание новой популяции.
- Скрещивание.
- Мутация.
- Уничтожение особей.

Другой способ обучение робота состоит в использовании конечного автомата. Конечный автомат – абстрактный автомат, число возможных состояний которого конечно. Конечный автомат может быть задан в виде упорядоченной пятерки $M = (V, Q, q_0, F, \delta)$, где V – входной алфавит (конечное множество входных символов), из которого формируются входные цепочки, допускаемые конечным автоматом; Q – множество состояний; q_0 – начальное состояние ($q_0 \in Q$); F – множество заключительных состояний ($F \subset Q$); δ – функция переходов, определенная как отображение $\delta: Q \times V^* \rightarrow \{0, 1\}$.

В данном случае автомат реализован следующим образом: поле, на котором располагаются груз, конечная точка и робот имеют две маркировки. Первая маркировка поля будет относительно груза, а вторая – относительно конечной точки. Точка, в которой располагается груз, имеет маркировку ноль. Клетки, формирующие кольцо вокруг нулевой клетки, имеют маркировку один. Клетки, располагающиеся кольцом на уровень выше, имеют маркировку два и т.д. Аналогично составляется маркировка поля относительно конечной точки. Каждая маркировка означает состояние робота, и цель робота на каждом шаге – перейти в лучшее состояние и таким образом добраться до цели.

Для обучения робота была выбрана нейронная сеть, так как конечный автомат не умеет приспосабливаться к изменениям обстановки и его надо переделывать, тогда как нейронная сеть сама должна переобучиться и адаптироваться ко всем изменениям условий среды.

СОЗДАНИЕ БИБЛИОТЕКИ ДВИЖЕНИЙ ДЛЯ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА ROBOBUILDER

Д.В. Жулаева, студентка каф. УИ

*Научный руководитель Е.С. Шандаров, ст. преподаватель каф. ЭП
г. Томск, ТУСУР, zhulaeva.darya@mail.ru*

Социальная робототехника – одна из самых интересных сфер робототехники на сегодня. Данная область довольно молодая и активно развивающаяся. Однако уже сейчас включает в себя различные отрасли деятельности. К примеру, это могут быть роботы-помощники, выполняющие простые, однотипные работы по дому: робот-пылесос,

роботы, способные включить или выключить какой-либо прибор. Причем выполнять эти функции они могут как в присутствии, так и в отсутствие хозяина. Другим примером может служить робот-няня, помогающий скрасить одиночество пожилым или больным людям, у которых в силу каких-то причин ограничена возможность контакта с внешним миром. Подобный робот может также развлечь или успокоить ребенка в больнице в случае карантина.

Еще одним способом применения роботов в рамках социальной робототехники может служить их использование для выступлений на шоу, презентациях и выставках с целью привлечения внимания к чему-либо или для развлечения публики. Для более броского и эмоционального шоу целесообразно выбрать антропоморфного робота.

Антропоморфный робот – это робот, похожий на человека. Их использование превращает представление в незабываемое и яркое шоу. Но использование антропоморфных роботов значительно усложняет подготовку к шоу ввиду сложности разработки программ. При стандартном подходе к созданию шоу при участии роботов необходимо раз за разом создавать одни и те же движения, используемые в различных частях представления, что значительно увеличивает время на подготовку.

Реализация. Перед нами была поставлена задача создать библиотеку движений робота, в которую входили бы движения, используемые в танцах, и движения, необходимые для ходьбы. Для реализации были использованы антропоморфные роботы RoboBuilder [1]. RoboBuilder состоит из 16 модулей, которые могут быть по-разному скомпонованы. Каждый модуль содержит сервопривод со встроенным ПИД-контроллером, что обеспечивает точное позиционирование. Для поставленных задач была выбрана человекоподобная конструкция робота.

При выполнении поставленной задачи мы использовали результаты, полученные нашими коллегами ранее в работе [2].

Движения роботов условно можно разделить на простые и сложные. К простым относятся движения, не требующие перемещения в пространстве, такие как движения рук, различные наклоны. Сложные движения, такие как стойка на голове, ласточка, кувырки, выпады, требуют применения большего числа сервоприводов, они смотрятся более впечатляюще.

При создании движений у робота RoboBuilder важно достичь максимальной плавности и схожести с человеческими движениями, при этом не должен терять равновесия и падать.

Сохранение равновесия – самое важное при создании движений. Важно учитывать не только сами движения, но и позы, при помощи

которых можно перейти от одного движения к другому, так называемые промежуточные экшены. Если уделять недостаточное количество внимания на сохранение устойчивости при создании библиотеки движений, то представление может потерпеть фиаско.

Конструкция RoboBuilder включает в себя 16 сервоприводов. Для получения человекоподобных движений необходимо задействовать большое их количество, именно на этом этапе работы возникают трудности по удержанию равновесия. Изменяя угол поворота одного сервопривода, необходимо менять углы поворота других, иначе падение неминуемо. При этом важно следить за тем, чтобы движения были плавными и нерезкими.

Для реализации задачи при создании библиотеки движений была использована программа MotionBuilder [3]. Здесь движения записываются в блоки «motion», которые в свою очередь разбиваются на подблоки «scene». Мы можем регулировать время перехода робота из одного «scene» в другое. Созданные движения могут быть сохранены на жестком диске в виде файлов *.rbm.

В дальнейших рассуждениях примем за начальное положение робота как стоящего на выпрямленных ногах с прямыми руками в положении «упущены» (рис. 1).



Рис. 1. Начальное положение робота

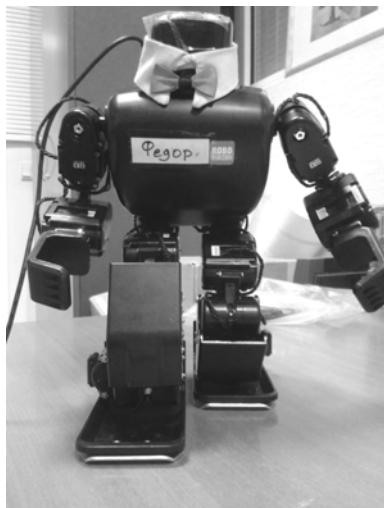


Рис. 2. Приседание с вытянутой ногой

Разберем, как создаются движения, на примере приседания. В случае с человеком никто и никогда не станет задумываться о том, какие мышцы он задействует для того, чтобы присесть, эту работу ав-

томатически, на уровне рефлексов, выполняет центральная нервная система. В случае с роботом продумывать и прописывать то, какой привод и насколько необходимо повернуть, должен разработчик.

Для того чтобы присесть, из начального положения необходимо перенести центр тяжести, для этого задействовать сервоприводы расположенные в «газовой области», повернуть расположенные на «коленях» приводы на одинаковый угол, помимо этого, необходимо изменить угол поворота сервоприводов, расположенных в «стопах» робота. Для простого приседания этого будет достаточно, выполнить это можно с использованием одной «scene». При создании более сложного приседания (выставляя одну ногу вперед) количество сцен увеличивается и появляется необходимость в использовании приводов, расположенных в «руках», без этого задача о сохранении равновесия превращается в невыполнимую (рис. 2). Проверять робота на равновесие нужно в каждый этап выполнения того или иного движения, при этом учитывая заряд батареи и поверхность, на которой выполняется постановка движения. Если не брать в расчёт степень шероховатости, то при замене поверхности устойчивое в одном случае движение может стать абсолютно нестабильным в другом.

Таким образом, постоянно проверяя устойчивость робота на каждом этапе работы, были созданы следующие движения:

- движения рук и ног,
- приседания,
- кувырок вперед,
- кувырок назад,
- стойка на одной ноге,
- «ласточка».

Испытания. После проведенной работы для того чтобы проверить работоспособность библиотеки, все движения были объединены в танец, демонстрация которого проводились в лабораторных условиях во время многочисленных презентаций. Испытания выявили недостаток созданной библиотеки – малое число основных и промежуточных движений.

Заключение. В процессе выполнения работы была создана библиотека движений для робота RoboBuilder. Испытания показали, что библиотека движений готова к использованию, но желательна доработка путем увеличения числа основных и переходных движений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *RoboBuilder User Tutorial* // RoboBuilder Co., Ltd, 2010. 186 p.
2. Шепелева Н.Е. Разработка программного обеспечения для андроидных роботов RoboBuilder // ВКР.70801-01 81 01, 2013.
3. *Motion Builder Tutorial* // RoboBuilder Co., Ltd, 2010. 56 p.

АЛГОРИТМ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПО ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

И.М. Журавлев, студент каф. ПрЭ

Научный руководитель К.В. Бородин, ст. преподаватель каф. ПрЭ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, bkirill@hotbox.ru

Современное общество предъявляет все большие требования к скорости и точности выполнения работ, но главное – к их себестоимости. Выполнение батиметрических измерений сопряжено с определенными трудностями, такими как громоздкое оборудование, большое количество занятых в процессе работы людей, длительное время выполнения измерений. Применение автоматизированной плавающей платформы позволяет значительно сократить время и стоимость выполнения работ.

Автоматическое перемещение по водной поверхности можно разделить на две задачи:

- 1) оплыв объекта по контуру;
- 2) оплыв водной поверхности.

Оплыв объекта по контуру выполняется путем непрерывного измерения глубины и следования лодки по заданной глубине в пределах заданного участка акватории. При отклонении измеренной глубины от заданных значений происходит коррекция курса.

Основной задачей оплыва контура является запись точек контура объекта (x, y) с заданной глубиной (z) в оперативную память микроконтроллера. Таким образом, мы получим контур, ограничивающий акваторию с глубинами больше либо меньше заданной.

Оплыв водной поверхности выполняется следующим образом. Перед началом оплыва задается массив точек контура, ограничивающего оплываемую акваторию. В качестве массива точек могут использоваться данные, полученные при оплыве объекта по контуру.

Общий алгоритм оплыва следующий:

- 1) выбирается, по какой из осей будет происходить оплыв и направление движения – от минимального значения к максимальному или наоборот;
- 2) лодка перемещается в исходную точку;
- 3) лодка ориентируется вдоль оси, по которой будет выполняться оплыв;
- 4) задается точка изменения траектории, отстоящая от текущей на заданный шаг вдоль оси оплыва;
- 5) осуществляется движение вдоль оси оплыва к точке поворота;
- 6) по достижении заданной точки формируются сигналы управления для двигателей рулевой машины для выполнения поворота на 90° ;

- 7) осуществляется движение перпендикулярно оси оплыва к точке поворота;
- 8) задается точка на пересечении направления движения и контура;
- 9) по достижении заданной точки формируются сигналы управления для двигателей рулевой машины и маршевого двигателя для выполнения поворота на 90° ;
- 10) задается точка изменения траектории, отстоящая от текущей на заданный шаг вдоль оси оплыва;
- 11) осуществляется движение вдоль оси оплыва к точке поворота. При этом если лодка выходит за контур, движение продолжается вдоль контура, до перемещения на заданный шаг вдоль оси оплыва;
- 12) по достижении заданной точки формируются сигналы управления для двигателей рулевой машины и маршевого двигателя для выполнения поворота на 90° ;
- 13) осуществляется движение перпендикулярно оси оплыва к точке поворота;
- 14) задается точка на пересечении направления движения и контура;
- 15) повторяются пункты 9–13 до достижения противоположной крайней точки оси оплыва;
- 16) осуществляется возврат в исходную точку по кратчайшему расстоянию.

На рис. 1 показан путь прохождения лодки по акватории, в автоматическом режиме с использованием указанного выше алгоритма.

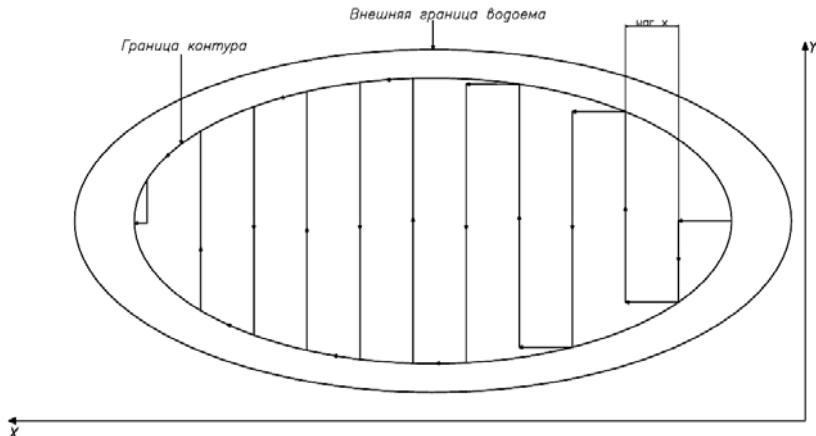


Рис. 1. Маршрут прохождения лодки по водной поверхности, ограниченной контуром

В общем случае водоем может иметь сколь угодно сложную форму контура береговой линии и соответственно границ оплыванием акватории. В процессе анализа контура производится проверка на наличие точек перегиба. При необходимости сложный контур разбивается на несколько простых контуров. Для каждого контура строится два маршрута оплыва акватории (по двум осям). Для выбора маршрута движения и последовательности оплыва простых контуров используются критерии минимизации пути и количества маневров, при этом учитывается текущий запас хода лодки.

Поддержание заданного курса. При движении между промежуточными точками необходимо поддерживать заданное направление движения. Это выполняется при помощи GPS-координат: рассчитывается угол движения лодки (через обратную геодезическую задачу) и сравнивается с заданным. При наличии отклонения от маршрута – может быть вызвано ветром, течением, волнением – выполняется коррекция направления при помощи руля. При движении лодки вычисляется расстояние до исходной точки и определяется запас хода по емкости аккумуляторов. Если запас хода приближается к расстоянию до исходной точки, происходит прерывание текущего маршрута с фиксацией точки прерывания. Лодка возвращается на исходную точку. После замены аккумулятора лодка перемещается в точку прерывания и продолжает движение по прерванному маршруту.

Исходными данными являются координаты пунктов Q_1 и Q_2 на сфере – ϕ_1, λ_1 и ϕ_2, λ_2 (рис. 2). Определяемыми величинами являются: расстояние между пунктами и начальный азимут направления с точки Q_1 на пункт Q_2 – σ, α_1 .

Алгоритм вычисления заданного курса:

- преобразовать углы ϕ_1 и λ_1 в декартовы координаты,
- преобразовать углы ϕ_2 и λ_2 в декартовы координаты,
- развернуть координатные оси вокруг оси Z на угол λ_1 ,
- развернуть координатные оси вокруг оси Y на угол $(90^\circ - \phi_1)$, преобразовать декартовы координаты в сферические.

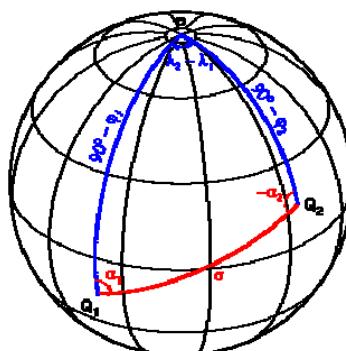


Рис. 2. Маршрут прохождения лодки по абсолютным координатам

Результаты работы. Данный алгоритм был создан и успешно протестирован на имеющейся модели при различных типах ограничивающего контура.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морозенко В.В. Оптимальный алгоритм перемещения объектов имитационной модели с древовидной топологией // Математика программных систем: Межвуз. сб. научн. тр. / Перм. ун-т. Пермь, 2007.
2. Москалев А.В. Рекурсивный оптимальный алгоритм перемещения объектов в n-мерном единичном кубе // Современная математика и математическое образование, проблемы истории и философии математики: Междунар. конф. Россия, Тамбов, 22–25 апреля 2008. г. Тамбов, 2008.

СЕКЦИЯ 11

ФИЗИЧЕСКАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Председатель секции – Троян Павел Ефимович,

зав. каф. ФЭ, профессор, д.т.н.;

зам. председателя – Смирнов Серафим Всееволодович,

проф. каф. ФЭ, д.т.н.

МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ КВАДРУПОЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАСС-ЗАРЯДОВОГО СОСТАВА ИОНОВ ПУЧКОВОЙ ПЛАЗМЫ

З.А. Бадмажапов, студент каф. ЭП

Научный руководитель А.В. Тюньков, доцент каф. физики, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, andrew71@sibmail.com

Измерение масс-зарядового состава ионов плазмы, создаваемой электронным пучком в форвакуумной области давлений (1–100 Па), имеет практическое значение, поскольку такая плазма может являться универсальным и эффективным «инструментом» для осуществления процессов обработки поверхности [1]. Применение стандартного масс-спектрометрического оборудования для измерения состава ионов такой плазмы затруднено, поскольку длина свободного пробега ионов не превышает единиц миллиметров. Использование инверсного времязадерживающего спектрометра [2] не позволило достичь необходимого разрешения по изотопам отдельных элементов [3].

В настоящей работе представлено устройство и принцип работы модернизированного квадрупольного масс-анализатора RGA-100, обладающего высокой разрешающей способностью и предназначенного для исследования масс-зарядового состава ионов пучковой плазмы, генерируемой в форвакуумной области давлений плазменным источником электронов.

Масс-спектрометр. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Система регистрации ионов представляет собой модифицированный квадрупольный масс-спектрометр RGA-100, в состав которого входит система извлечения (электроды 9–11), фильтр масс 12, блок управления 14, ионизацияная лампа 15, стационарная система откачки. Для извлечения ионов из плазмы ионизатор спектрометра заменен на извлекающий узел, представляющий трех электродную систему извлечения 9–11. Электроды выполнены из дюралюми-

ния и электрически изолированы друг от друга и от других частей анализатора и вакуумной камеры.

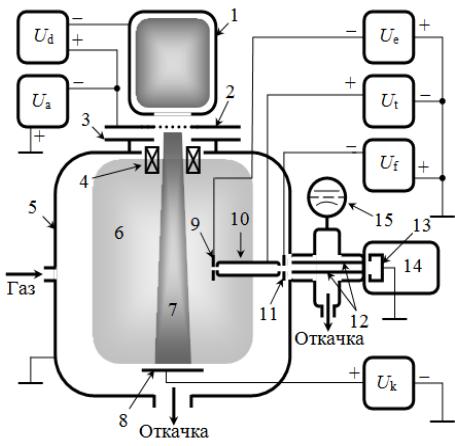


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – полый катод; 2 – анод с перфорированным электродом; 3 – ускоряющий электрод; 4 – фокусирующая система; 5 – вакуумная камера; 6 – пучковая плазма; 7 – пучок электронов; 8 – коллектор; 9 – извлекающий электрод; 10 – труба дрейфа; 11 – фокусирующий электрод; 12 – квадрупольные стержни фильтра масс; 13 – цилиндр Фарадея; 14 – блок управления спектрометром; 15 – ионизациянная лампа. Источники питания: U_d – разряда с полым катодом, U_a – ускоряющего напряжения, U_e – извлекающего электрода, U_t – трубы дрейфа, U_f – фокусирующего электрода, U_k – коллектора

Первый электрод системы – извлекающий электрод 9 (диск толщиной 2 мм с апертурой \varnothing 0,7 мм в центральной части). Размещается извлекающий электрод непосредственно в области генерации плазмы. Труба дрейфа 10 длиной 160 мм (внешний диаметр – 16, внутренний 10 мм) размещается в центральной части извлекающего узла. Фокусирующий электрод 11 с отверстием в центральной части \varnothing 5 мм установлен за электродом 10. Извлекающий узел с одной стороны, обеспечивает перепад давления между вакуумной камерой и откачиваемым объемом спектрометра (2–3 порядка), с другой стороны, транспортировку ионов в область фильтрации спектрометра 12 и цилиндра Фарадея 13 в среде высокого вакуума. Остальные части квадрупольного масс-спектрометра (цилиндр Фарадея и фильтр масс 12) не были подвергены конструктивным изменениям. Поскольку цилиндр Фарадея находится под потенциалом земли, то коллектор 8 помещается под положительный относительно земли потенциал величиной $U_k = 30$ В, направляющий ионный поток к месту регистрации.

Для направления ионного потока в область сепарации на электроды 9–11 подаются следующие потенциалы: $U_e = -30$ В, $U_t = 2,5$ В, $U_f = -60$ В. Уменьшение данных значений приводит к уменьшению амплитуды сигнала, а увеличение – к незначительному росту и нежелательным пробоям.

На рис. 2 представлен масс-спектр ионов плазмы кислорода и углеводородов, генерируемой плазменным электронным источником на основе тлеющего разряда с полым катодом [4].

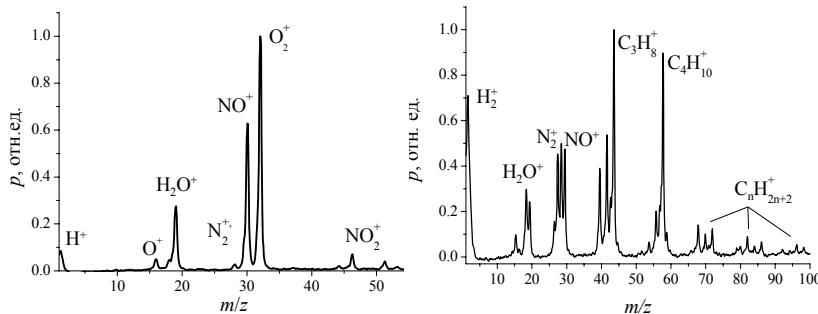


Рис. 2. Масс-спектр ионов пучковой плазмы кислорода (слева) $I_d = 170$ мА; $U_d = 370$ В и углеводородов (справа) $I_d = 150$ мА; $U_d = 490$ В; $I_a = 30$ мА; $U_a = 3$ кВ; $p = 5$ Па; расстояние между извлекающим электродом и осью пучка электронов 9 см

В качестве рабочих газов также использовались аргон, азот. Полученные спектры свидетельствуют о возможности детального анализа пучковой плазмы.

Заключение. Проведенные измерения масс-зарядового состава ионов пучковой плазмы показали, что модифицированная конструкция квадрупольного анализатора RGA-100 позволяет проводить детальный масс-зарядовый анализ ионов пучковой плазмы основных газов, применяемых в работе электронного источника (аргон, азот, кислород, углеводороды). Стоит отметить, что конструкция спектрометра позволяет без каких-либо изменений проводить измерения масс-зарядового состава плазмы генерируемой в области более высокого вакуума.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Oks E.M., Burdovitsin V.A., Medovnik A.V., Yushkov Yu.G.* // Rev. Sci. Instrum. 2013. Vol. 84. P. 023301.
2. *Gushenets V.I., Vizir A.V., Tynkov A.V. et al.* // Rev. Sci. Instrum. 2014. Vol. 85. P. 02A738.
3. *Yushkov Yu.G., Oks E.M., Tyunkov A.V., Zolotukhin D.B., Savkin K.P.* // Rev. Sci. Instrum. 2014. Vol. 85. P. 083306..
4. *Бурдовицин В.А., Жирков И.С., Окс Е.М., Осипов И.В., Федоров М.В.* // ПТЭ. 2005. № 6. С. 66.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНИЦИРОВАНИЯ ДУГОВОГО РАЗРЯДА
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫМ РАЗРЯДОМ ПО ПОВЕРХНОСТИ
ДИЭЛЕКТРИКА В ФОРВАКУУМНОМ ДИАПАЗОНЕ
ДАВЛЕНИЙ**

*И.Ю. Бакеев, студент каф. ЭП,
А.В. Казаков, аспирант, А.В. Медовник, доцент, к.т.н., каф. физики
г. Томск, ТУСУР, bakeeviyu@mail.ru*

Для импульсных плазменных источников на основе дугового разряда важным параметром является стабильность зажигания основного разряда. Достаточно распространенным методом зажигания дугового разряда в импульсных источниках, функционирующих в традиционном диапазоне давлений ($10^{-4} - 10^{-1}$ Па), является использование систем инициирования на основе вспомогательного разряда по поверхности диэлектрика [1]. Однако применение подобных систем в форвакуумном диапазоне давлений требует дополнительного исследования.

Цель данной работы состояла в разработке физико-математической модели инициирования дугового разряда вспомогательным разрядом по поверхности диэлектрика в форвакуумном импульсном источнике электронов для пояснения происходящих при этом процессов и выявления степени влияния на них давления.

Физико-математическая модель. За основу разработанной физико-математической модели была взята модель импульсного пробоя по поверхности диэлектрика в вакууме [2, 3], существенную роль в которой играет десорбция газа с поверхности диэлектрика. Ключевое отличие в разработанной модели от [2, 3] состоит в учете наличия остаточного газа в разрядном промежутке, влиянием которого на зажигание разряда невозможно пренебречь в форвакуумном диапазоне давлений.

Основные положения модели состоят в следующем:

– При приложении импульса напряжения начинается автоэлектронная эмиссия электронов из катода в тройной точке (точке, где граничат металл, диэлектрик и вакуум) согласно формуле Фаулера–Нордгейма [4]:

$$j = 1,55 \cdot 10^{-6} \frac{E^2}{t^2(y) \cdot \varphi} \exp\left(-\frac{6,85 \cdot 10^7 \cdot \varphi^{3/2}}{E} \theta(y)\right), \quad (1)$$

где j – плотность тока; E – напряженность электрического поля в тройной точке (3); φ – работа выхода электронов из катода; $t(y)$ и $\theta(y)$ – функции величины

$$y = 3,62 \cdot 10^{-4} \cdot E^{1/2} \cdot \varphi^{-1}.$$

Для практических расчетов обычно принимают $t^2(y) \approx 1,1$; $\theta(y) \approx 0,95 - 1,03y^2$.

– В рамках модели рассмотрение процессов начинается с момента установления поверхностного заряда диэлектрика до стационарного состояния [5], вследствие чего считается, что поток электронов вдоль диэлектрика движется с постоянной скоростью, причем электроны периодически соударяются с поверхностью диэлектрика, при этом набирают энергию, соответствующую коэффициенту вторичной электронной эмиссии, равному единице.

– Соударение электронов с диэлектрической поверхностью приводит к десорбции газовых молекул, за счет чего повышается давление в области движения электронов.

– Образованные за счет ионизации как остаточного, так и десорбированного газов ионы движутся согласно электрическому полю к катоду, испытывая соударения с молекулами газа. Распределение потенциала электрического поля определяется уравнением Пуассона:

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} = -\frac{\rho(x)}{\epsilon_0}, \quad (2)$$

где φ – электрический потенциал; x – координата, отсчитываемая от поверхности катода вдоль поверхности диэлектрика; $\rho(x)$ – объемная плотность зарядов; ϵ_0 – электрическая постоянная.

Напряженность в тройной точке E определяется формулой.

$$E = -\frac{d\varphi}{dx} \cdot \epsilon \cdot k, \quad (3)$$

где ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика; k – коэффициент усиления электрического поля, обусловленный наличием микроострий на поверхности катода [4].

– Появление ионов вблизи тройной точки приводит к увеличению напряженности электрического поля. Следовательно, возрастают интенсивности автоэлектронной эмиссии, десорбции и ионизации газа.

– С течением времени развитие данных процессов может привести к превышению плотностью автоэлектронного тока некоторой пороговой величины (10^9 A/cm^2 [4]), что приводит к взрыву микроострий на поверхности катода и последующему формированию катодного пятна [4], что считается критерием зажигания основного разряда.

На основе вышеописанной физико-математической модели с применением методов численного моделирования были проведены расчеты. В результате была получена зависимость минимального напряже-

ния зажигания U_{MIN} от давления остаточного газа P , представленная на рис. 1, совместно с результатами экспериментов.

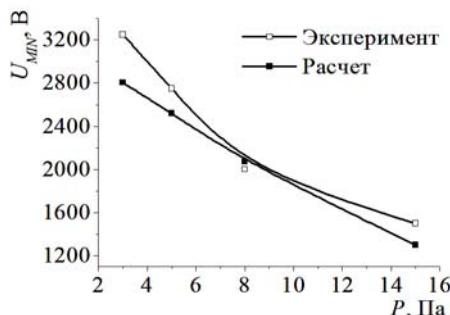


Рис. 1. График зависимости минимального напряжения зажигания U_{MIN} от давления остаточного газа P

Заключение. В результате выполнения работы была разработана модель инициирования дугового разряда вспомогательным разрядом по поверхности диэлектрика в форвакуумном импульсном источнике электронов. На основании данной модели были произведены расчеты, результаты которых качественно и количественно совпадают с результатами экспериментов, что говорит о справедливости основных положений модели. Полученные результаты свидетельствуют о существенном влиянии давления газа в форвакуумном диапазоне на процессы инициирования дугового разряда.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-08-31075.

ЛИТЕРАТУРА

1. Boxman R.L. Triggering mechanisms in triggered vacuum gaps // IEEE Trans. Electron Devices. 1977. Vol. 24, № 2. P. 122–128.
2. Anderson R.A. Mechanism of pulsed surface flashover involving electron-stimulated desorption / R.A. Anderson, J.P. Brainard // Journal of Applied Physics. 1980. Vol. 51, № 3. P. 1414–1421.
3. Pillai A.S. Surface flashover of solid dielectric in vacuum / A. S. Pillai, R. Hackam // Journal of Applied Physics. 1980. Vol. 53, № 4. P. 2983–2987.
4. Месяц Г.А. Импульсная энергетика и электроника. М.: Наука, 2004. 704 с.
5. Boersch H. Oberflaechenentladung ueber isolatoren im vacuum / H. Boersch, H. Hamisch, W. Ehrlich // Zeitschrift fuer angewandte Physik. 1963. Vol. 15. P. 518–525.

**МОДУЛЯТОР МАХА–ЦЕНДЕРА
ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ**

Д.В. Билевич, студент каф. ФЭ

*Научный руководитель И.В. Кулинич, аспирант каф. ФЭ
г. Томск, ТУСУР, bilevichdmitry@ya.ru kulinich@micran.ru*

*Проект ГПО ФЭ-1403 «Моделирование технологических процессов
создания наноэлектронных устройств»*

Сегодня обмен информации между точками, находящимися на большом расстоянии осуществляется при помощи радиоволн, распространяющихся по воздуху. Приборы, позволяющие передавать радиосигнал, представляют набор различных СВЧ-схем, связанных между собой. Между схемами распространение радиосигнала осуществляется при помощи электрического сигнала по коаксиальному кабелю с частотой более 2 ГГц, что приводит к затуханию и ограничивает объем информации, передаваемой за одну порцию сигнала. Альтернативным способом передачи информации на более высоких частотах является её передача при помощи оптического сигнала по оптоволоконному кабелю [1]. Для использования оптоволоконного кабеля необходимо создание интегральных приборов, связывающих электрический сигнал с оптическим. Одним из основных элементов интегральных приборов связи электромагнитного сигнала в оптическом диапазоне с сигналом в СВЧ-диапазоне является модулятор Маха–Цендера, позволяющий записать информацию на электромагнитный сигнал в оптическом диапазоне [2].

В настоящей работе представлены результаты исследования, направленные на создание модулятора Маха–Цендера в интегральном исполнении.

В основе работы модулятора Маха–Цендера лежит принцип разделения оптической волны на две, последующей модуляции одной из волн и сложении оптической волны в одну.

Распространение оптической волны в волноводе основано на принципе полного внутреннего отражения от стенки волновода, следовательно, подобрав необходимый угол, можно изменять направление движения волны без потерь, а также деление волны на части с необходимой интенсивностью.

Результат моделирования распространения волны можно наблюдать по градиенту яркости изображения. Из рис. 1, *a* видно, что при неоптимальном угле поворота волновода наблюдается распространение волны (светлые участки) как в волноводе, так и в подложке. Из рис. 1, *b* видно, что при оптимальном угле поворота волновода распространение волны происходит только по волноводу. Моделирование

проводилось с помощью приборно-технологического комплекса COMSOL Multiphysics [3].

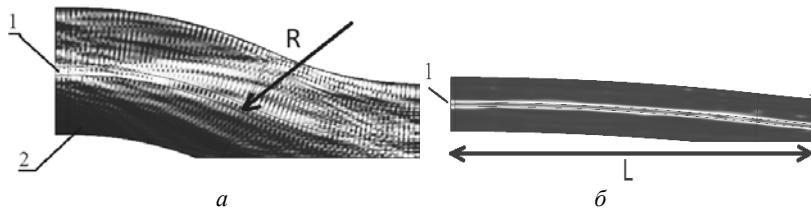


Рис. 1. Результаты моделирования распространения волны по волноводу:
1 – волновод; 2 – подложка;
а – малый радиус кривизны, б – оптимальный радиус кривизны

В результате проведенного моделирования оптимальный радиус составил $R = 1800$ мкм, длина данного участка составила $L = 450$ мкм.

Разделение оптической волны на две возможно путем подбора радиусов искривления волноводов и расстояния между двумя расположеными участками волноводов. От расстояния между этими волноводами и их протяженности зависит степень деления световой волны. Протяженность была взята в 5 раз меньше, чем длина участка искривления волновода ($S = 90$ мкм). Как видно из рис. 2, а, большая часть интенсивности пропускаемой волны уходила во второй волновод, при увеличении расстояния между волноводами наблюдалось уменьшение интенсивности, уходящей во второй волновод, и увеличение интенсивности в первом волноводе. Путём моделирования было подобрано оптимальное расстояние между двумя волноводами (рис. 2, б).

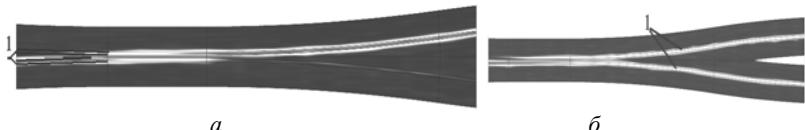


Рис. 2. Результаты моделирования деления волны на две: 1 – волновод;
а – расстояние между волноводами 1 мкм;
б – расстояние между волноводами 1,82 мкм

При оптимальном расстоянии между волноводами ($d = 1,82$ мкм) и протяженностью ($S = 90$ мкм) интенсивность волны делится поровну.

Заключение. В работе представлены результаты технологического моделирования геометрических параметров модулятора Маха–Цендера. В результате проведенной работы были найдены критические углы кривизны волновода, позволяющие изменять направление движения оптической волны. Найдены оптимальные геометрические

параметры модулятора, позволяющие произвести деление оптической волны на две с необходимой интенсивностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электрические характеристики коаксиального кабеля [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.tvbs.ru/page/coaxial-3.html> (дата обращения: 18.11.2014).
2. Парыгин В.Н., Балакий В.И. Оптическая обработка информации. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. 142 с.
3. COMSOL Inc. Reference manual. November 2013. 1270 p.

ПОЛУЧЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК НИТРИДА КРЕМНИЯ МЕТОДОМ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ (PECVD) БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АММИАКА

А.С. Черных, студент, И.В. Кутков, аспирант каф. ФЭ

*Научный руководитель М.В. Степаненко, инженер-технолог 2-й кат.
г. Томск, ЗАО НПФ «Микран», andreikofet92@mail.ru*

Пленки нитрида кремния широко используются в опто- и наноэлектронике. Характеристики пленки нитрида кремния зависят от соотношения Si/N атомов, водородных включений и иных примесей в осажденных пленках.

В данной работе используется метод получения пленки нитрида кремния с помощью PECVD-технологии на установке Oxford Plasmalab System 133. Плазмохимическое осаждение (PECVD) дает большие возможности по варьированию свойств получаемых пленок нитрида кремния с помощью параметров процесса: давление, температура подложки, потоки газов, ВЧ/НЧ мощность генераторов, соотношение времени подачи ВЧ/НЧ мощности.

В PECVD-технологии для получения пленок нитрида кремния наиболее распространенным является использование смеси следующих газов: SiH₄, NH₃, N₂ [1, 2]. В данной работе с целью уменьшения содержания водорода в пленках использовались следующие газы: SiH₄ и N₂.

Эксперимент по осаждению нитрида кремния проводился на 100 мм полуизолирующих GaAs пластинах. Перед пассивацией каждая пластина проходила химическую обработку. Пассивация производилась в режимах, изменения поочередно параметры процесса.

Тестируемые пленки сравнивались по электрической прочности при токе 10 мкА, скорости травления в буферном травителе и среднему разбросу емкости конденсаторов одного номинала по пластине.

Эксперимент показал, что тестируемые параметры пленок находятся в линейной зависимости от потока N₂, давления в рабочей камере

ре и температуры. Увеличение данных технологических параметров приводит к увеличению электрической прочности, уменьшению скорости травления и равномерности пленки по пластине.

Оставшиеся параметры процесса, представленные на рис. 1–3, в ходе эксперимента показали неоднозначное воздействие на параметры пленок.

При увеличении потока силана (SiH_4) электрическая прочность уменьшается от 9 до 2,8 МВ/см. Скорость в буферном травителе уменьшается от 105 до 18 нм/мин при $2,2 \text{ см}^3 \cdot \text{мин}$, что соответствует меньшему содержанию водорода в полученной пленке. Разброс по емкости уменьшается с 14 до 6,5% и минимален при $1,8 \text{ см}^3 \cdot \text{мин}$ (5,1%).

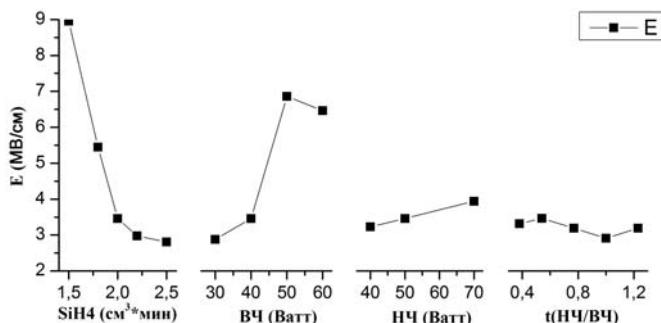


Рис. 1. Зависимость электрической прочности от потока силана, высокочастотной мощности (ВЧ), низкочастотной мощности (НЧ), отношения длительности подачи ВЧ/НЧ мощностей

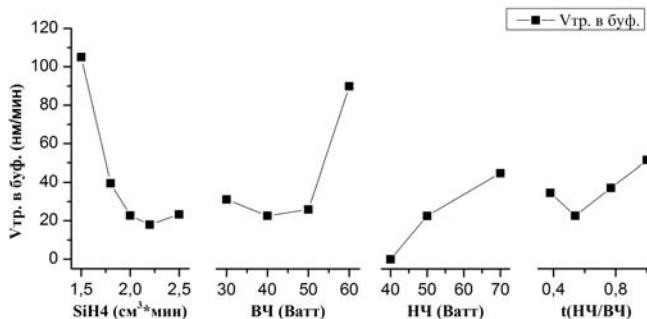


Рис. 2. Зависимость скорости травления в буферном травителе от потока силана, высокочастотной мощности (ВЧ), низкочастотной мощности (НЧ), отношения длительности подачи ВЧ/НЧ мощностей

Увеличение ВЧ мощности генератора способствовало увеличению электрической прочности с 3 до 6 МВ/см и разброса по емкости – от

3,5 до 16,5%. Скорость травления изменяется от 31 до 22 нм/мин, а при 60 Вт мощности наблюдается резкое увеличение до 90 нм/мин.

Изменение НЧ мощности генератора в сторону увеличения показало незначительное улучшение электрической прочности с 3,3 до 4 МВ/см, уменьшение разброса по емкости – от 8,5 до 4%. Но привело к увеличению скорости травления пленки.

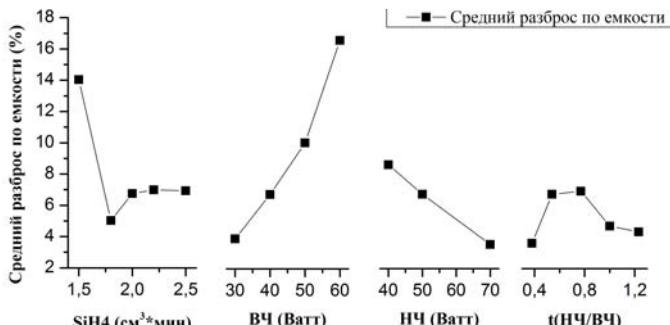


Рис. 3. Зависимость среднего разброса по емкости от потока силана, высокочастотной мощности, низкочастотной мощности, отношения длительности подачи ВЧ/НЧ мощностей

Рост отношения длительности импульсов подаваемой мощности НЧ/ВЧ генераторов показал незначительное влияние на электрическую прочность (значение варьируется от 2,8 до 3,4 МВ/см), скорость травления пленки изменяется от 34 до 51 нм/мин с минимумом в точке 0,54 (22 нм/мин). В точках 0,54–0,77 наблюдается максимальный разброс по емкости (7%).

По данной теме требуются дальнейшие исследования. Планируется оптимизация процесса осаждения под различные технические задания, для которых придется искать компромисс между электрической прочностью, скоростью травления в буферном травителе и разбросом по емкости. Возможно, появятся дополнительные критерии качества пленки нитрида кремния, полученного по технологии PECVD без использования аммиака.

ЛИТЕРАТУРА

1. *A Novel scheme for the Deposition and Spectroscopic Ellipsometry Characterization of PECVD. Silicon – based, Dielectric Layers for Optoelectronics Applications* // Csmantech [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.csman-tech.org/Digests/2004/2004Papers/8.7.pdf> (дата обращения: 20.02.15).

2. *Characterization and Optimization of Low Stress PECVD Silicon Nitride for Production GaAs Manufacturing* // Csmantech [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.csasmantech.org/Digests/2004/2004Papers/12.4.pdf> (дата обращения: 21.02.15).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОРЦЕВЫХ БАРЬЕРОВ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК ВОЛЬФРАМА НА ПАРАМЕТРЫ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ GaAs СВЧ-ТРАНЗИСТОРОВ

А.И. Казимиров, аспирант, А.А. Чиняков, студент каф. ФЭ

Научный руководитель Е.В. Ерофеев, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, alexeychinyakov@gmail.com

*Проект ГПО ФЭ-1405 «Зависимость электрофизических свойств
тонких пленок, полученных магнетронным распылением,
от параметров процесса»*

Омические контакты – это контакты металл–полупроводник, в которых не проявляется потенциальный барьер на границе раздела. Для этих контактов характерны низкое контактное сопротивление и линейная ВАХ [1]. Омические контакты являются неотъемлемой частью любого полупроводникового прибора.

Омические контакты должны обладать низким приведенным контактным сопротивлением, гладкой морфологией поверхности и ровным краем контактной площадки, термически стабильными электрическими параметрами. Получение омических контактов, удовлетворяющих всем этим требованиям, является сложной задачей.

В работе [2] был исследован омический контакт Ge/Au/Ni/Ta/Au с торцевым диффузионным барьером на основе пленки Та. Целью данной работы является исследование влияния торцевых барьеров на основе пленок вольфрама на параметры омических контактов GaAs СВЧ-транзисторов.

На пластину диаметром 100 мм, содержащую гетероструктуру GaAs/AlGaAs/InGaAs ($n = 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$) и двухслойную фоторезистивную маску под омические контакты, последовательно наносились пленки Ni/Ge/Au (5/25/100 нм). После этого вакуумную камеру установки электронно-лучевого напыления развакуумировали и пластина делилась на 8 частей. На пятую, шестую и седьмую части с использованием магнетронной системы распыления в атмосфере Ar напылялись диффузионные торцевые барьеры – вольфрамовые пленки толщинами соответственно 50, 75 и 100 нм ($\mathbf{W}_{\text{MS-50}}$, $\mathbf{W}_{\text{MS-75}}$, $\mathbf{W}_{\text{MS-100}}$). Затем все части загружались в установку напыления и на них напылялась пленка Au толщиной 200 нм.

Далее каждая часть делилась ещё на четыре части – таким образом были сформированы четыре группы образцов (по восемь штук образцов в каждой группе). Образцы каждой группы подвергались термической обработке в вакууме. Время обработки для образцов всех групп было одинаковым и составляло 3 мин. Температура обработки

для групп с первой по четвертую составляла 200, 260, 320 и 380°C соответственно.

После этого с использованием метода линии передач (TLM) измерялось контактное сопротивление сформированных омических контактов.

Построим графики зависимостей контактного сопротивления образцов от температуры вжигания $\rho_{\text{CONT}} = f(T)$ (рис. 1).

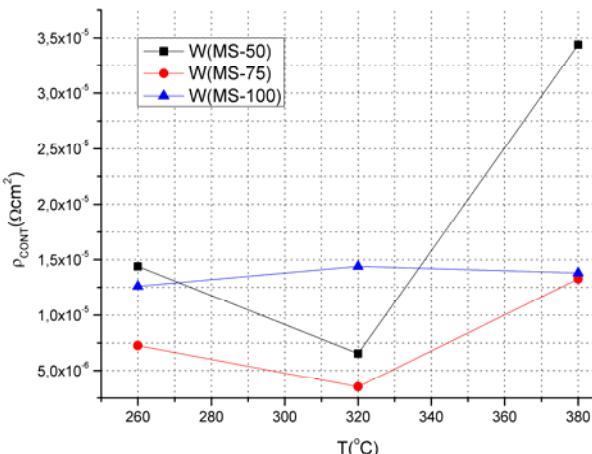


Рис. 1. $\rho_{\text{CONT}} = f(T)$ для образцов с вольфрамовыми торцевыми барьерами толщинами 50, 75 и 100 нм

Лучшей морфологией поверхности и ровным краем площадки после отжига при температуре $T = 200^\circ\text{C}$ в течение времени $t = 3$ обладают контакты с торцевыми диффузионными барьерами на основе вольфрамовых пленок толщиной 100 нм (рис. 2).

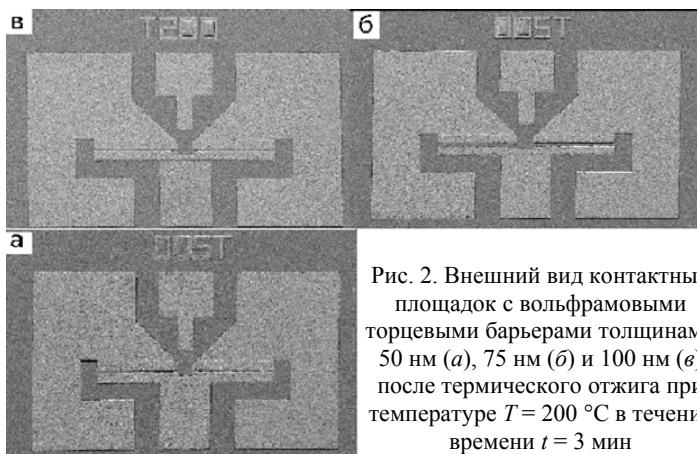


Рис. 2. Внешний вид контактных площадок с вольфрамовыми торцевыми барьерами толщинами 50 нм (а), 75 нм (б) и 100 нм (в) после термического отжига при температуре $T = 200^\circ\text{C}$ в течение времени $t = 3$ мин

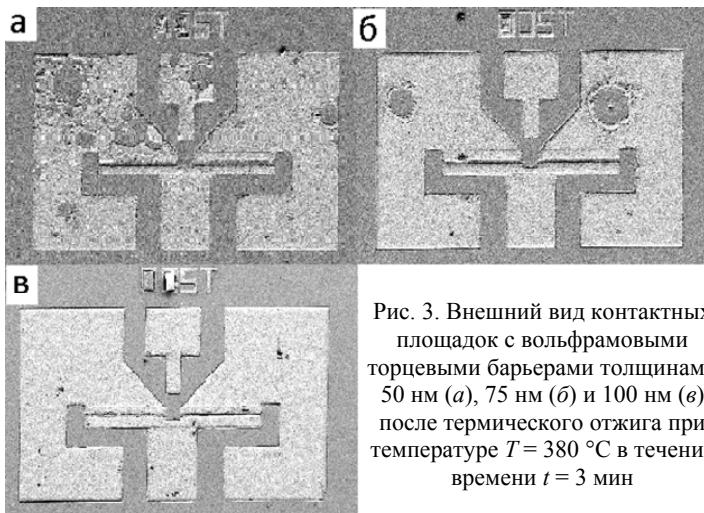


Рис. 3. Внешний вид контактных площадок с вольфрамовыми торцевыми барьерами толщинами 50 нм (а), 75 нм (б) и 100 нм (в) после термического отжига при температуре $T = 380^{\circ}\text{C}$ в течение времени $t = 3$ мин

Отжиг контактов с торцевыми диффузионными барьерами на основе вольфрамовых пленок всех толщин (50, 75 и 100 нм) при температуре $T = 380^{\circ}\text{C}$ (рис. 3) приводит к локальным нарушениям целостности контактных площадок. Причем чем меньше толщина вольфрамовой пленки, осажденной с использованием магнетронной системы распыления, тем большая площадь площадок разрушается.

ЛИТЕРАТУРА

- Гуртов В.А. Твердотельная электроника: учеб. пособие. М.: Техносфера, 2005. 492 с.
- Ерофеев Е.В., Казимиров А.И., Ишуткин С.В., Кагадей В.А. Омический контакт к p+-GaAs с торцевым диффузионным барьером // Доклады ТУСУРа. 2013. №3(30), ч. 1. С. 62–67.

ПЛЁНКИ НИТРИДА ТИТАНА КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ЗАТВОРНОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ СИЛОВЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУРНЫХ GaN-ТРАНЗИСТОРОВ

И.В. Федин, магистрант, А.И. Казимиров, аспирант каф. ФЭ

Научный руководитель Е.В. Ерофеев, к.т.н., начальник лаборатории
усилительных МИС НПК-М ЗАО «НПФ «Микран»
г. Томск, ТУСУР, fedinivanvladimirovich@mail.ru

Появившись в середине 70-х годов прошлого века, силовые MOSFET-транзисторы, благодаря большей скорости переключения и

высокой эффективности по сравнению с биполярными транзисторами, стали повсеместно использоваться в силовой электронике: источниках питания, DC-DC преобразователях, контроллерах двигателей и пр. Однако сейчас, после непрерывного развития в течение более чем трех десятилетий, производительность MOSFET-транзисторов достигла своего теоретического предела. Следующим шагом в развитии силовой электроники стало появление мощных транзисторов на основе нитрида галлия (GaN) [1, 2].

Уникальные физические характеристики нитрида галлия в сравнении с кремнием позволяют достичь значительных улучшений в производительности: понижение сопротивления открытого канала, рост скоростей переключения, сохранение надежности при высоких уровнях температуры и радиации, уменьшение размеров упаковки. Возможность очень быстрого переключения практически без потерь, появляющаяся при использовании GaN-транзисторов, означает возможность повысить энергоэффективность и уменьшить размер преобразователя, а также уменьшить себестоимость его изготовления за счет отказа от ряда дорогостоящих пассивных элементов (фильтров) схемы [3–6].

В настоящее время в технологии изготовления мощных GaN-транзисторов широко используется затворная металлизация на основе пленок Ni/Au [7]. Однако перспективным материалом затворной металлизации могут послужить тонкие пленки нитрида титана (TiN). Пленки TiN обладают исключительной твердостью, высокой износостойкостью, высокой температурой плавления, химической инертностью, термодинамической стабильностью [7], что позволяет создавать силовые GaN-приборы с уникальными электрическими и надежностными характеристиками.

Однако электрофизические параметры тонких пленок TiN очень чувствительны к способу и режиму их получения [8], поэтому часто ставится задача по минимизации электрического сопротивления пленок металлизации путем подбора оптимального режима их нанесения.

В данной работе представлены результаты исследования влияния мощности разряда и потока азота в парогазовой смеси Ar+N₂ на удельное электрическое сопротивление и скорость роста пленок нитрида титана, полученных методом реактивного магнетронного распыления.

Пленки нитрида титана осаждались методом реактивного магнетронного распыления на подложки из кремния Si (111) при комнатной температуре. На подложке формировалась фоторезистивная маска в виде последовательности резистивных элементов известной топологии, что позволяло определить удельное сопротивление пленок. Перед осаждением пленок подложки проходили обработку в водном растворе

соляной кислоты для удаления собственного окисла с последующей промывкой в деионизованной воде и сушкой в потоке очищенного азота. Вакуумная откачка проводилась до остаточного давления атмосферы не хуже $p = 4,5 \cdot 10^{-5}$ Па. Мишень проходила предварительную очистку распылением в атмосфере аргона в течение $t = 10$ мин.

На рис. 1 приведена зависимость скорости роста плёнок нитрида титана от мощности разряда ($P = 250, 500$ и 750 Вт) для трёх потоков азота ($j_n = 3, 7$ и $14 \text{ см}^3/\text{мин}$).

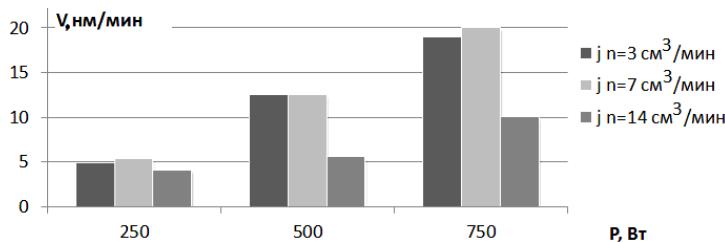


Рис. 1. Зависимость скорости роста V плёнок TiN от мощности разряда P для потоков азота $j_n = 3, 7$ и $14 \text{ см}^3/\text{мин}$

Как видно из рис. 1, повышение мощности разряда приводит к повышению скорости роста плёнок TiN, что может быть вызвано активацией реакций между большим числом радикалов. Увеличение потока азота до $j_n = 14 \text{ см}^3/\text{мин}$ вызывает снижение скорости роста, что может быть следствием уменьшения длины свободного пробега частиц нитрида титана, вследствие ухудшения степени вакуума.

На рис. 2 приведена зависимость удельного сопротивления плёнок нитрида титана от мощности разряда ($P = 250, 500$ и 750 Вт) для трёх потоков азота ($j_n = 3, 7$ и $14 \text{ см}^3/\text{мин}$).

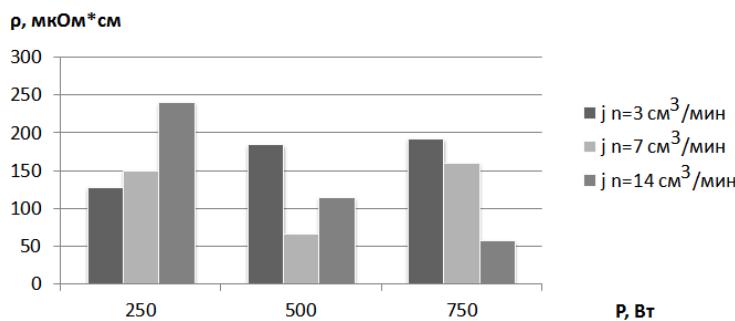


Рис. 2. Зависимость удельного сопротивления тонких плёнок TiN от плотности потока азота j_n в смеси для мощностей разряда $P = 250, 500$ и 750 Вт

Как видно из рис. 2, характер зависимости сопротивления ρ от потока азота j_n для разных мощностей разряда не одинаков. При малых потоках азота в смеси с увеличением мощности разряда P наблюдается рост удельного сопротивления ρ пленок.

Однако с увеличением плотности потока азота в смеси до $j_n = 14 \text{ см}^3/\text{мин}$ наблюдается обратная зависимость, что может быть обусловлено изменением размера зёрен тонкой плёнки.

Заключение. В работе рассмотрено влияние потока азота j_n и мощности разряда P на скорость роста V и удельное электрическое сопротивление ρ плёнок нитрида титана, осаждаемых на полупроводниковые подложки. Показано, что:

1. Скорость роста V плёнок TiN прямо пропорционально зависит от мощности магнетронного разряда P и обратно пропорционально от потока азота j_n .
2. Значение удельного электрического сопротивления плёнок ρ определяется режимом напыления.
3. Минимальное значение $\rho = 58,5 \text{ мкОм}\cdot\text{см}$ было достигнуто при потоке азота $j_n = 14 \text{ см}^3/\text{с}$ и мощности разряда $P = 750 \text{ Вт}$.

Авторы работы выражают благодарность коллективу НПК «Микроэлектроника» ЗАО «НПФ «Микран» за содействие в проведении экспериментальной части работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, договор № 02.G25.31.0091.

ЛИТЕРАТУРА

1. Briere M. GaN-based Power Device Platform. The arrival of a new paradigm in conversion technology [Электронный ресурс]. URL: <http://www.powersystemdesign.com> (дата обращения: 13.02.15)
2. *GaN-on-Silicon wafers: the enabler of GaN power electronics* [Электронный ресурс]. URL: http://www.yole.fr/iso_upload/mag/powerdev_january2012_ir.pdf (дата обращения: 13.02.15)
3. Würfl J., Hilt O., Bahat-Treidel E. et al. Technological approaches towards high voltage, fast switching GaN power transistors // ECS Trans. 2013. Vol. 52, № 1. P. 979–989.
4. Würfl J., Hilt O., Bahat-Treidel E. et al. Breakdown and Dynamic Effects in GaN Power Switching Devices // 40-th International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS). 2013.
5. Hilt O., Bahat-Treidel E., Cho E. et al. Impact of Buffer Composition on the Dynamic On-State Resistance of High-Voltage AlGaN/GaN HFETs // 24th Int. Symp. on Power Semiconductor Devices and ICs (ISPSD). 2012. P. 345–348.
6. Meneghesso G., Zanandrea A., Stocco A. et al. GaN-HEMTs devices with Single- and Double-heterostructure for power switching applications // IEEE Int. Reliab. Phys. Symp. (IRPS). Monterey, CA, USA. 2013. P. 3C1.1–3C1.7.

7. Нитрид титана [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Нитрид_титана (дата обращения: 15.02.2015).
8. Nadia Saoula, Karim Henda et Rafika Kesri. Influence of nitrogen content on the structural and mechanical properties of tin thin films // Plasma fusion res. Series. 2009. Vol. 8. P. 1403–1407.

**ВЛИЯНИЕ ОБРАТНОГО ИОННОГО ПОТОКА НА
ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОГО ИСТОЧНИКА
ЭЛЕКТРОНОВ НА ОСНОВЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА
В ФОРВАКУУМНОМ ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ**

М.П. Фомичев, студент каф. ЭП,

А.В. Казаков, аспирант, А.В. Медовник, доцент, к.т.н., каф. физики

Научный руководитель В.А. Бурдовицин, профессор каф. физики, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, andrykazakov@gmail.com

Использование дугового разряда с катодным пятном в импульсном форвакуумном плазменном источнике электронов [1] обусловлено стремлением к увеличению максимальной амплитуды и длительности тока пучка. Особенности функционирования устройств на основе дугового разряда достаточно подробно изучены в традиционном диапазоне давлений 10^{-5} – 10^{-2} Па [2]. В то же время использование дуги в форвакуумных источниках электронных пучков практически не исследовано. В форвакуумном диапазоне давлений 3–15 Па вследствие ионизации рабочего газа электронным пучком в пространстве дрейфа формируется обратный ионный поток, который, проникая в разрядный промежуток, оказывает влияние на параметры источника при использовании тлеющего разряда с полым катодом для образования плазмы [3]. Наличие обратного ионного потока может также оказать влияние на работу источника на основе дугового разряда, так как область отбора электронов из разрядной плазмы достаточно удалена от катодного пятна.

Целью данной работы является исследование влияния обратного ионного потока на функционирование импульсного плазменного источника электронов на основе дугового разряда с катодным пятном в форвакуумном диапазоне давлений.

Описание экспериментальной установки и методики эксперимента. Конструкция источника (рис. 1) включает в себя медный стержневой катод 1 диаметром 5 мм, который заключен в керамический изолятор 2. Анод 3 представляет собой медный полый цилиндр диаметром 100 мм, в котором на противоположном от катода основании выполнено эмиссионное окно, перекрытое мелкоструктурной сет-

кой из нержавеющей стали. Диаметр апертуры d_a эмиссионного окна в аноде изменялся с помощью металлических вставок 4. Зажигание дугового разряда осуществлялось вспомогательным разрядом по поверхности керамики между катодом 1 и кольцевым поджигающим электродом 5. Ускоряющий промежуток источника образован плоской частью анода и сеточным экстрактором 6 из нержавеющей стали, электрическое разделение которых осуществлялось капролоновым изолятором 7. Плазменный источник размещался на вакуумной камере, которая откачивалась форвакуумным насосом. Давление P изменялось в диапазоне от 3 до 10 Па подачей в вакуумную камеру рабочего газа, в качестве которого во всех экспериментах использовался воздух. Импульсный блок питания разряда 8 обеспечивал ток разряда с амплитудой $I_d = 20\text{--}40 \text{ A}$, величина которой регулировалась подачей соответствующего напряжения U_{pfl} на формирующую линию. Длительность импульсов и частота их следования во всех экспериментах составляли 200 мкс и 1,5 Гц соответственно. Подача ускоряющего напряжения U_a , величина которого составляла 8 кВ, обеспечивалась высоковольтным блоком постоянного напряжения 9.

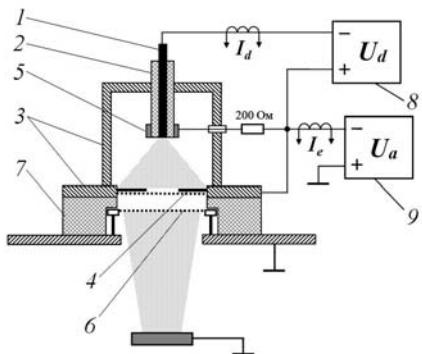


Рис. 1. Схема конструкции импульсного плазменного источника электронов на основе дугового разряда

Результаты экспериментов и их обсуждение. Экспериментально установлено, что в форвакуумном диапазоне давлений при подаче ускоряющего напряжения уменьшается величина напряжения формирующей линии U_{pfl} , которая обеспечивает поддержание тока разряда определенной амплитуды. Увеличение рабочего давления в диапазоне $P = 3\text{--}10 \text{ Pa}$ приводит к заметному снижению U_{pfl} (рис. 2, a), что, вероятно, связано с влиянием на дуговой разряд обратного ионного потока из пространства дрейфа, который возникает вследствие ионизации рабочего газа электронным пучком. Для проверки данной гипотезы поток ионов, проникающий в разрядный промежуток, ограничивался анодной апертурой, диаметр которой изменялся в диапазоне 15–90 мм.

Уменьшение диаметра анодной апертуры d_a в условиях эмиссии электронов значительно снижает влияние давления газа на напряжение формирующей линии (рис. 2, а), что косвенно подтверждает воздействие обратного потока ионов на U_{pfn} . Кроме того, установлено, что изменение давления оказывает более сильное воздействие на U_{pfn} при малых токах разряда (рис. 2, б), что также не противоречит предложенной гипотезе. Величина обратного ионного потока зависит от концентрации нейтральных частиц газа в вакуумной камере, поэтому при большем токе разряда вклад обратного потока оказывается меньше.

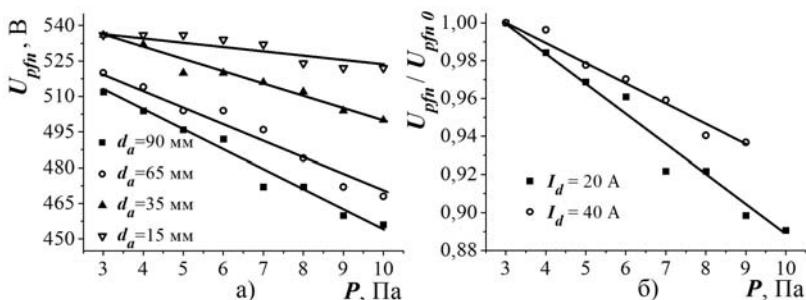


Рис. 2. Зависимость напряжения формирующей линии U_{pfn} от давления P при токе разряда $I_d = 20$ А и зависимость приведенной величины U_{pfn}/U_{pfn0} от давления при $d_a = 90$ мм, U_{pfn0} – напряжение формирующей линии при 3 Па

Заключение. Экспериментальные исследования плазменного источника электронов на основе дугового разряда с катодным пятном показали, что изменение давления в диапазоне 3–10 Па в условиях эмиссии электронов оказывает влияние на функционирование дугового разряда. При эмиссии электронов увеличение давления рабочего газа приводит к снижению напряжения формирующей линии, что, по нашему мнению, связано с обратным ионным потоком из пространства дрейфа электронного пучка.

Работа выполнена при поддержке гранта Минобрнауки № 3.49.2014/К.

ЛИТЕРАТУРА

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. Handbook of Vacuum Arc Science and Technology / Edited by R.L. Boxman, D.M. Sanders, P.J. Martin, J.M. Lafferty. New Jersey: Noyes Publication, 1995. 742 р.

3. Burdovitsin V.A., Oks E.M. Fore-vacuum plasma-cathode electron sources // Laser and particle beams. 2008. Vol. 26, Iss. 04. P. 619–635.

**ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТВЕРДОФАЗОВОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СМЕСИ Li_2CO_3 – Fe_2O_3**

Р.Н. Гамиров, О.И. Демченко, студенты каф. ФЭ

Научный руководитель Е.Н. Лысенко,

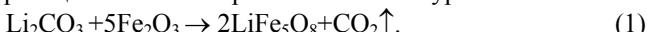
зав. лаб. ПНИЛ ЭДиП НИ ТПУ, к.ф-м.н.

г. Томск, ТУСУР, ruslis90@mail.ru

Литиевые ферриты являются технически важным материалом и находят широкое применение в СВЧ-электронике. В последнее время литиевый феррит LiFe_5O_8 привлек к себе большое внимание из-за своих возможных технологических применений. К примеру, в качестве катодного материала в перезаряжаемых литиевых батареях, вследствие его малотоксичности и низкой стоимости, для замещения более дорогих гранатов в микроволновой технике, в качестве сенсорных элементов в газовых датчиках из-за высокой температурной и химической устойчивости [1].

В данной работе приведены результаты исследований твердофазовых взаимодействий в смеси Li_2CO_3 – Fe_2O_3 при неизотермическом разогреве реакционной смеси. Особое внимание уделялось калориметрическим измерениям, поскольку применительно к смеси Li_2CO_3 – Fe_2O_3 данные по дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) ограничены [2]. По результатам калориметрических измерений проведена оценка термогравиметрической (ТГ) и ДСК зависимостей.

Методика эксперимента. В качестве исходных реагентов служили оксид железа Fe_2O_3 (марки ЧДА) и карбонат лития Li_2CO_3 (марки ХЧ). Предварительно порошки просушивались в течение 3 часов при температуре 200 °C в сушильном шкафу. Реагенты смешивались в строгой пропорции 1:5, что в процентном соотношении масс соответствует 91,5% оксида железа и 8,5% карбоната лития. Соотношение исходных компонентов в реакционной смеси рассчитывали по уравнению



Взвешивание порошков оксида железа и карбоната лития производилось на аналитических весах Shimadzu AUW220D с точностью ± 1 мг. Для получения однородной смеси порошки многократно противились через мелкое сито с ячейкой 125 мкм.

После этого смесь исходных реагентов сначала подвергали механической активации с помощью высоконапорного помола в течение 10 мин на планетарной мельнице АГО-2С [3] с использованием стальных стакана и шаров диаметром 1 см. Весовое соотношение исходных реагентов и шаров составляло 1:10. Затем смесь компактировали в таблетки холодным односторонним прессованием под давлением 200 МПа.

Калориметрические измерения проводились с использованием анализатора STA 449 C Jupiter, в тиглях Al_2O_3 в воздушной атмосфере в процессе линейного нагрева до 800 град со скоростью нагрева 5 град в минуту. Чувствительность термовесов составляла 0,1 мкг, разрешение ДСК – 1 мкВт.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Результаты измерений представлены на рис. 1 в виде зависимости ТГ/ДСК.

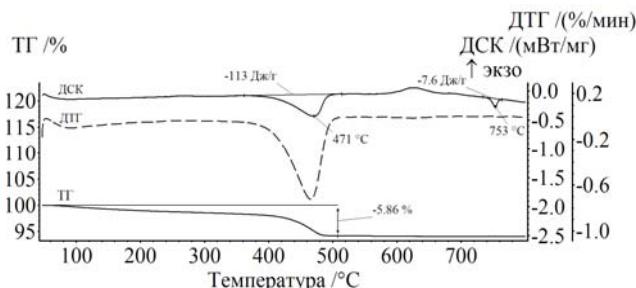


Рис. 1. Зависимость ТГ/ДСК для образца состава $\text{Li}_2\text{CO}_3\text{--Fe}_2\text{O}_3$

Из рис. 1 видно, что в процессе нагрева образца наблюдается широкий эндотермический эффект, т.е. в процессе измерений происходит реакция с поглощением тепла. По кривой ТГ наблюдается уменьшение массы на 5,86%. Уменьшение массы проходит в две стадии, в температурной области 150–380 °С с уменьшением на 0,81%, что связано с испарением влаги из объема образца. И в температурной области 380–520 °С на 5,05%, что связано с улетучиванием углекислого газа CO_2 при разложении карбоната лития Li_2CO_3 . Также в этой области температур (380–520 °С) протекает реакция ферритообразования, при этом на ДСК кривой виден широкий эндотермический эффект с пиком при температуре 471 °С, при этом было поглощено 113 Дж/г. Данное значение соответствует теоретическим данным уменьшения веса в соответствии с формулой (1) [4].

В области высоких температур по окончании реакции при температуре 753 °С можно наблюдать небольшой эндотермический пик, связанный с $\alpha \rightarrow \beta$ переходом (переход порядок–беспорядок) образовавшегося на тот момент небольшого количества фазы LiFe_5O_8 .

Данный результат соответствует результатам термического анализа для механоактивированной смеси литиевого феррита [4], поэтому следует ожидать образование LiFe_5O_8 с высокой степенью гомогенности и концентрации конечной фазы при использовании температуры синтеза 800 °С и времени 2 ч.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суржиков А.П., Лысенко Е.Н., Малышев А.В., Казаковская О.Г. Твердофазный синтез пентаферрита лития из механоактивированной смеси $\text{Li}_2\text{CO}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ // Матер. Междунар. науч.-техн. конф. 2012. Ч. 2. С. 45–47.
2. Baba P.D., Argentina G.M., Courtney W.E., Dionne G.F., Temme D.H. Fabrication and properties of microwave lithium ferrites // IEEE Trans Magn 8. 1972. P. 83–94.
3. Патент Российской Федерации №4264434/33. Центробежная мельница. Заявка. 18.06.87. Опубликовано 15.11.94.
4. Левин Б.Е., Третьяков Ю.Д., Летюк Л.М. Физико-химические основы получения, свойства и применение ферритов. М.: Металлургия, 1979. 471 с.

ПОЛУЧЕНИЕ СУБМИКРОННОГО Т-ОБРАЗНОГО ЗАТВОРА СВЧ GaAs-ТРАНЗИСТОРА С ОДИНАРНЫМ РЕЦЕССОМ МЕТОДОМ НАПРАВЛЕННОГО ДВОЙНОГО УГЛОВОГО НАПЫЛЕНИЯ

И.В. Кулинич, аспирант каф. ФЭ,

Е.В. Ерофеев, начальник лаб. усилительных МИС

ЗАО «НПФ «Микран», к.т.н.

Научный руководитель В.А. Кагадей, профессор, каф. ФЭ, д.ф.-м.н.

г. Томск, ТУСУР, kulinich@micran.ru

Наиболее простым из известных косвенных методов получения субмикронного Т-образного затвора СВЧ GaAs-транзистора с высокой подвижностью электронов (НЕМТ) является метод наклонного напыления затвора. Данный метод до сих пор не нашёл промышленного применения в силу нерешённости проблемы получения затворов одинаковой длины по всей площади пластины [1]. Предложенный в [2] метод направленного двойного углового напыления с компенсацией смещения положения затвора решает эту проблему. В настоящей работе впервые продемонстрировано применение данного метода для создания Т-образного затвора, симметрично расположенного в одинарном рецессе GaAs рНЕМТ.

Методика получения первичной и вторичной масок методом направленного двойного углового напыления с компенсацией смещения положения затвора, а также осаждения металлического затвора представлена в работе [2]. На рис. 1 представлено микроизображение попечного сечения фоторезистивной первичной маски (окно длиной 800 нм) и Al_2O_3 вторичной маски (окно длиной 200 нм), через которые осуществлялось травление подзатворного заглубления и последующее формирование металлического Ti/Pt/Au затвора.

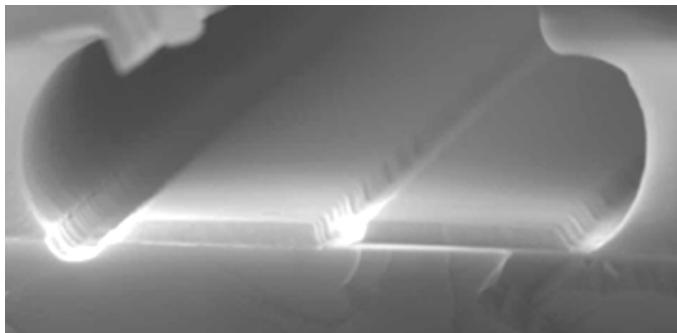


Рис. 1. Микроизображение поперечного сечения первичной и вторичной масок после травления подзатворной области

Видно, что после проведения операции травления рецесса в растворе $C_6H_8O_7/NH_3/H_2O_2$ подзатворное углубление в окне вторичной маски не образуется. Это, по-видимому, связано с запылением поверхности GaAs материалом вторичной маски, произошедшим во время её осаждения методом электронно-лучевого напыления.

Для проверки данной гипотезы и определения длины подпьела было произведено одинарное напыление вторичной маски и последующее травление GaAs в окне сформированной маски. На рис. 2 представлено микроизображение поперечного сечения структуры, полученной после травления рецесса.

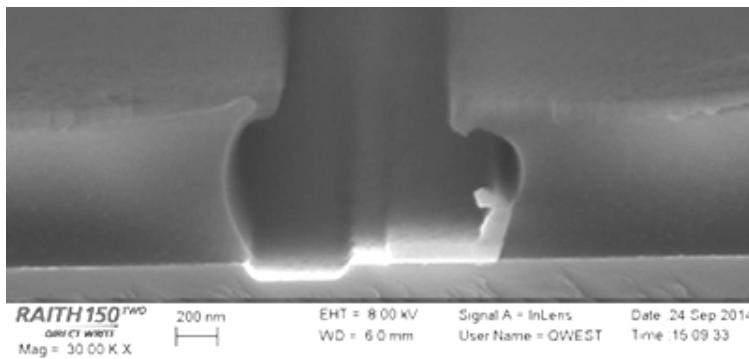


Рис. 2. Микроизображение поперечного сечения первичной и вторичной масок с одинарным напылением вторичной маски после травления рецесса

Видно, что заглубление в GaAs образуется, но начинается на расстоянии около 150 нм от края вторичной маски, что доказывает наличие подпьела тонкого слоя Al_2O_3 на поверхности GaAs.

Для удаления тонкого слоя Al_2O_3 с поверхности GaAs в окне вторичной маски использовался травитель HF:NHF₄:H₂O. Перед этим для удаления остаточного резиста подложка GaAs обрабатывалась в кислородной плазме мощностью 300 Вт в течение 1 мин. Травление плёнки Al_2O_3 осуществлялось погружением пластины в травитель на 8 с, при этом осуществлялась ультразвуковая активация раствора. После этого осуществлялось травление рецесса. На рис. 3 представлено микроизображение поперечного сечения маски с потравленной подзатворной областью.

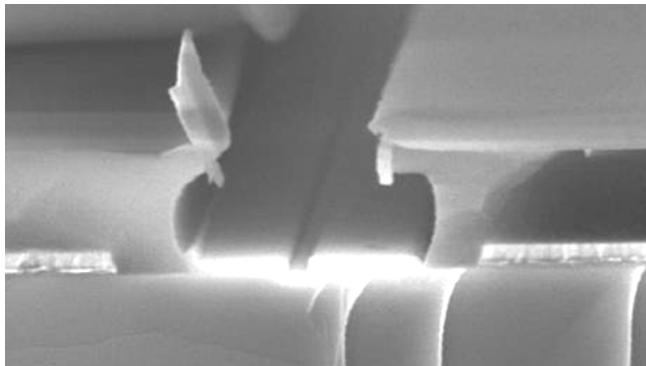
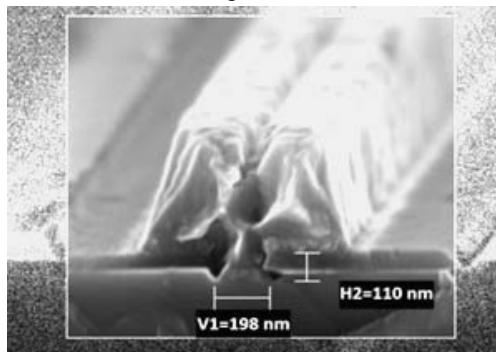


Рис. 3. Микроизображение поперечного сечения первичной и вторичной масок после травления рецесса

Видно, что в окне вторичной маски сформировалось подзатворное заглубление классической формы.

На рис. 4 представлено микроскопическое изображение Т-образного затвора с длиной основания 200 нм, полученного после осаждения трёхслойной композиции металлов Ti/Pt/Au в окно вторичной маски. Аспектное соотношение высота/длина затвора составила 0,55.

Рис. 4. Микроизображение поперечного сечения Т-образного затвора транзистора с одинарным рецессом



Заключение. В работе представлена технология изготовления субмикронного Т-образного Ti/Pt/Au затвора GaAs СВЧ-транзистора с одинарным рецессом с помощью двойного направленного углового напыления с компенсацией смещения положения затвора. В результате проведенных экспериментов обнаружено, что при осаждении вторичной маски происходит подпыление тонкой плёнки Al₂O₃ в формируемое окно, что препятствует последующему травлению подзатворного заглубления. Найден метод удаления подпыла в химическом растворе HF:NHF₄:H₂O и разработан процесс формирования одинарного рецесса в окне вторичной маски.

Работа выполнена при содействии Фонда поддержки малых форм предприятия У.М.Н.И.К.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лапин В.Г., Красник В.А., Петров К.И., Темнов А.М. Мощные GaAs полевые СВЧ-транзисторы со смещенным затвором. XI Междунар. конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». Сб. материалов. 10–14 сентября 2001 г., Севастополь, Крым, Украина. Севастополь. 2004. С. 135–136.

2. Кулнич И.В., Ерофеев Е.В., Кагадей В.А. Получение субмикронных Т-образных затворов СВЧ-транзисторов с большим аспектным соотношением методом двойного углового напыления диэлектрической маски // XIII науч.-техн. конф. «Твердотельная электроника, сложные функциональные блоки РЭА». г. Дубна, 8–10 октября 2014. Дубна. 2014. С. 74–77.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕНТРОВ ЛЬЮИСА И БРЕНСТЕДА С ПОМОЩЬЮ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Т.Х. Фам, М.С. Головко, Ч.А. Кужугет, студенты каф. ФЭ

Научный руководитель Е.В. Саврук, доцент каф. ФЭ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, utka05_08@mail.ru

Проект ГПО ФЭ-1404 «Экспериментальные методы
диагностики наноструктур и наноматериалов»

В настоящее время много внимания уделяется развитию наноэлектроники, конструкционные элементы которой характеризуются не только наноразмерами, но и принципиально новыми физическими эффектами, как, например, кванторазмерные эффекты, т.е. те эффекты, которые происходят в объектах, размеры которых сравнимы с длиной волны де Бройля. Однако создание таких объектов, например наноразмерных диэлектрических и полупроводниковых слоев, связано со значительными трудностями. Наиболее важной проблемой является подготовка поверхности подложек для данных слоев, поскольку свойства таких слоев определяются не только использованными материалами, но и физико-химическими свойствами данных поверхностей.

Поверхность подложек представляет собой двумерный дефект с разорванными химическими связями, которые образуют уровни Тамма и в зависимости от положения их в запрещенной зоне относительно уровня Ферми могут быть или донорными, или акцепторными центрами, которые являются центрами физической и химической адсорбции. Одна и та же хемосорбированная частица на поверхности одного и того же материала выступает как акцептором (центром Льюиса), так и донором (центром Бренстеда), обладая определенным средством, как к свободному электрону, так и к свободной дырке. Эти центры играют важную роль как в процессе катализа, так и в процессах переноса заряда.

Однако существуют определенные трудности в идентификации данных центров и в определении их количественной оценки. Наиболее перспективным методом для их исследования является ИК-спектроскопия, в частности Фурье- и Рamanовская спектроскопии. Но прямыми измерениями спектров отражения сложно выявить данные центры, поэтому в данной работе исследовалась адсорбция пиридина на поверхности Al_2O_3 (рис. 1).

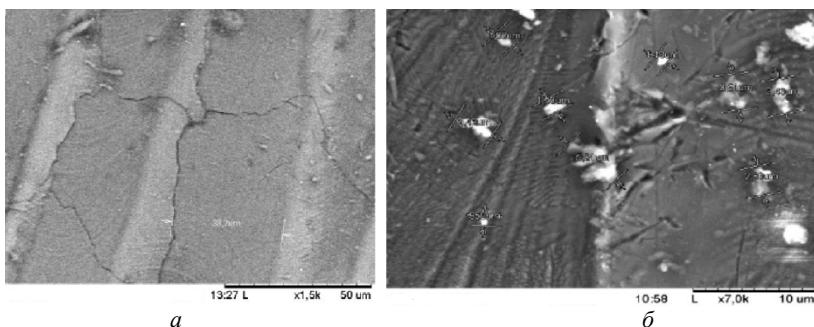


Рис. 1. Поверхность Al_2O_3 , обработанная лазером:
а – без пиридин; б – с пиридином

При лазерной обработке Al_2O_3 на поверхности появляются разорванные химические связи, обусловленные удалением атомов кислорода. Данные дефекты становятся центрами адсорбции веществ на поверхности. Вследствие этого обработанная поверхность Al_2O_3 обладает повышенной химической активностью.

Для количественной оценки центров Льюиса и Бренстеда перспективна ИК-спектроскопия [1]. В настоящей работе с помощью ИК-Фурье-спектрометра «Инфракалюм FT-801» был получен спектр отражения Al_2O_3 (рис. 2).

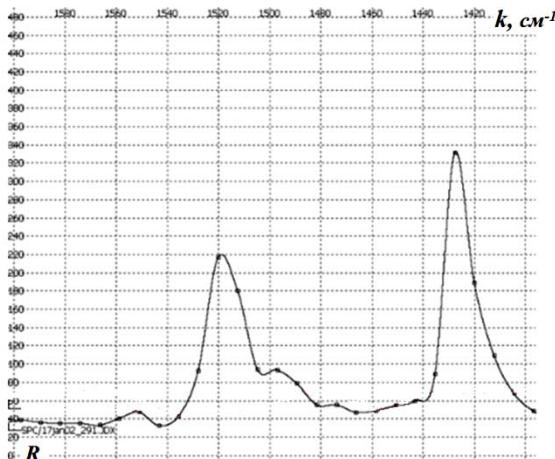


Рис. 2. ИК-спектр отражения поверхности Al_2O_3 , обработанной лазером

В таблице приведены характерные полосы поглощения для центров Льюиса и центров Бренстеда (Ру – пиридин, ЛРу – хемосорбированный пиридин с образованием координационной связи с центром Льюиса, БРу – хемосорбированный пиридин с образованием координационной связи с центром Бренстеда) [2].

На рис. 2 видны два характерных пика поглощения в области от $1410\text{--}1440\text{ см}^{-1}$, соответствующие центрам Льюиса, и в области от $1480\text{--}1540\text{ см}^{-1}$ – центрам Бренстеда. Качественно можно оценить, что концентрация центров Льюиса на поверхности больше, так как данный пик имеет большую интенсивность. Количественно определить концентрацию центров по спектру отражения достаточно сложно. Посчитав площади пиков под кривыми, определили, что концентрация центров Бренстеда в 2,76 раза больше концентрации центров Льюиса. В связи с этим можно сделать вывод о преобладании восстановительных свойств поверхности.

Проведенные исследования показали эффективность и возможность использования ИК Фурье-спектроскопии как метода исследованияnanoструктуры и электронных состояний на поверхности ионных кристаллов.

ИК-полосы поглощения центров Льюиса и центров Бренстеда

Частота, см^{-1}		
Ру	ЛРу	БРу
		3260
		3188
3083	(3147)	(3147)
3054	(3114)	(3114)
3054	(3087)	(3087)
1580	1620	1638
1572	1577	1620
1482	1482	1490
1439	1450	1545

ЛИТЕРАТУРА

1. Саврук Е.В. Исследованиеnanoструктуры поверхности алюмооксидной керамики после лазерной обработки: матер. науч.-техн. конф. «Научная сессия ТУСУР–2008». Томск : В-Спектр, 2008. Ч. 1. С. 254–256.
2. Киселев А.В., Лыгин В.И. Инфракрасные спектры поверхностных соединений. М.: Наука, 1972. 456 с.

ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОМ СПЕКАНИИ SIC-КЕРАМИКИ В ФОРВАКУУМНОМ ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ

В.В. Карапанский, студент каф. ЭП,

А.С. Климов, доцент, А.А. Зенин, м.и.с., каф. физики

г. Томск, ТУСУР, karanskii_vitali@mail.ru

В настоящее время происходит бурное развитие современных отраслей техники, в связи с этим необходимо создание новых материалов, в которых будут либо улучшены свойства, либо эти свойства будут абсолютно новыми. Одним из таких материалов является керамика, на свойства которой влияет ее пористость. Поэтому весь интерес сводится к тому, чтобы получать керамические материалы, которые будут обладать новыми тепловыми, магнитными, сверхпроводящими и диэлектрическими характеристиками. Получение такой керамики возможно в том случае, если будет обеспечен наноразмерный масштаб ее структуры. Одним из способов обеспечения нанометрового масштаба является спекание при облучении электронным пучком [1]. Исследование особенностей процесса спекания, а в частности эффектам обусловленных нагревом поверхности керамики электронным пучком, посвящено данное исследование.

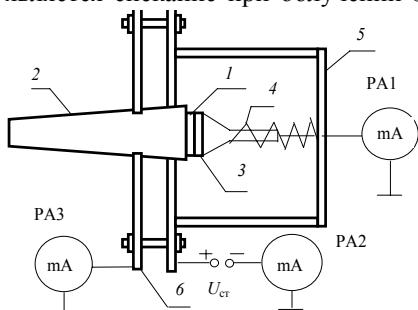


Рис. 1. Схема измерения тока, протекающего через образец при спекании:
1 – керамический компакт; 2 – электронный пучок;
3 – тонкий слой меди;
4 – прижимной болт;
5 – защитный экран;
6 – тепловой экран

Исследование тепловых процессов при спекании керамического компакта проводилось с использованием плазменного источника электронов [2]. В качестве исследуемой керамики был выбран образец на основе карбида кремния (SiC)

с добавлением 5,5% по массе Al_2O_3 , 3,5% Y_2O_3 и 6% органического связующего. Порошок-основа состоял из частиц размером 0,6–2,6 мкм. Образец подготовлен одноосным прессованием при давлении в 318 МПа при комнатной температуре. Керамический компакт 1 фиксировался в держателе (рис. 1) и облучался с одной стороны электронным пучком 2. Для обеспечения качественного электроконтакта на поверхность образца напылялся тонкий слой меди 3, а прижимной болт 4 с небольшим усилием, обеспечиваемым пружиной, поддавливал образец. Нагрев исследуемого образца осуществлялся в вакуумной камере путем плавного увеличения мощности плазменного источника электронов за счет повышения ускоряющего напряжения с 5 до 11 кВ и тока пучка с 10 до 100–150 мА соответственно. Исследования проводились при давлении остаточной атмосферы 6 Па. Для предотвращения скопления термоэлектронов вблизи поверхности компакта на термоэкрани 6 подавалось небольшое (~5 В) положительное напряжение.

На рис. 2, *a* представлена зависимость тока в цепи держателя от температуры образца. Как можно заметить, в интервале температур от комнатной до ~ 1400 К ток практически равен нулю, дальнейшее повышение температуры вызывает возрастание проводимости материала и, как следствие, повышение тока в цепи держателя образца.

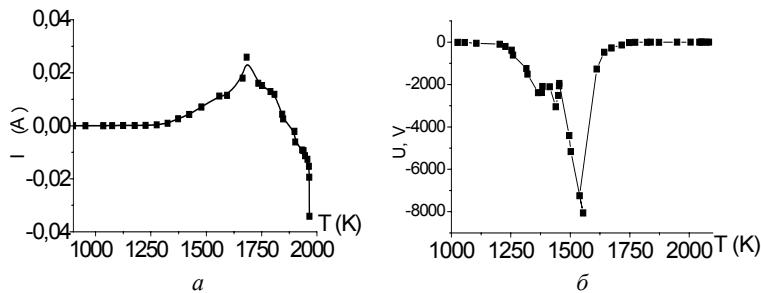


Рис. 2. Зависимость тока в цепи держателя от температуры образца (*а*) и потенциала образца от температуры (*б*)

При температуре ~ 1700 °С наблюдается смена знака тока в цепи держателя с последующим его нарастанием с увеличением температуры. Подключение высокоомного вольтметра к держателю вместо токового прибора дало возможность проследить изменение потенциала образца (рис. 2, *б*). Нулевое значение потенциала при температурах ниже ~ 1000 °С вряд можно считать измеренным корректно, поскольку в этом случае отсутствует проводимость образца. При температуре ~ 1700 К потенциал возрастает до нулевого значения и при дальнейшем повышении температуры увеличивается до единиц вольт.

Из представленных зависимостей (см. рис. 2) видно, что направление тока, протекающего через образец, меняется по мере нагревания образца, а также снижается до нуля потенциал на поверхности керамики. Основной причиной представленного эффекта может являться термоэлектронная эмиссия с поверхности образца. Для проверки этой гипотезы было принято решение посмотреть спад тока после мгновенного выключения источника электронов. После выключения источника электронов ток, протекающий через образец, спадает в течение 4–5 с, что может быть объяснено только тепловыми эффектами. Осциллограмма тока представлена на рис. 3, *а*.

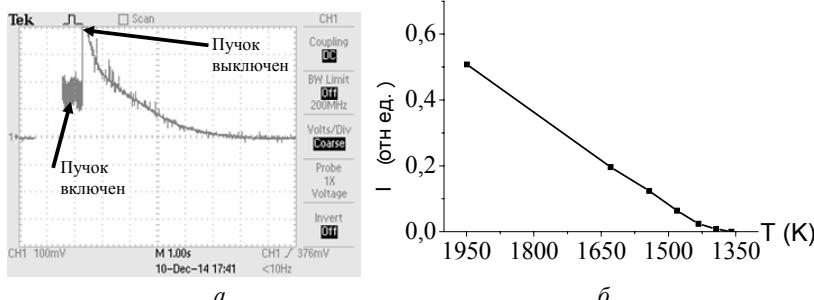


Рис. 3. Ток термоэлектронной эмиссии: *а* – осциллограмма спада тока при выключении источника электронов; *б* – зависимость тока, протекающего через образец, от температуры

Сопоставив ток с температурой при выключении источника электронов, получаем следующую зависимость тока, протекающего через образец (в усл. ед), от температуры (рис. 3, *б*). По мере остывания образца ток, протекающий по нему, уменьшается.

Заключение. В результате проведенного исследования показано, что при облучении электронным пучком компактов SiC керамики, существенны тепловые эффекты, связанные с ростом проводимости материала и термоэмиссии с его поверхности.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 14-08-00775.

ЛИТЕРАТУРА

1. Klimov A.S. Electron beam sintering of ceramics / A.S. Klimov, A.A. Zenin, E.M. Oks, I.O. Khasanov, E.S. Dviliš, A.O. Khasanov // Electrotechnica&Electronica. 2014. Vol. 49, № 5–6. P. 315–318.
2. Бурдовицин В.А. Источник электронов с плазменным катодом для генерации сфокусированного пучка в форвакуумном диапазоне давлений / В.А. Бурдовицин, И.С. Жирков, Е.М. Окс, И.В. Осипов, М.В. Федоров // ПТЭ. 2005. № 6. С. 66–68.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА
НА ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ ПОСЛЕ
ФОРСИРОВАННЫХ ИСПЫТАНИЙ**

E.A. Малаева, Н.Е. Целовальникова, студентки каф. ФЭ

Научный руководитель С.В. Смирнов, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, katrina.malaeva@bk.ru

Светодиоды уже стали источниками света, которые производятся в промышленных масштабах для самых разных применений в светотехнике. Они отличаются миниатюрностью, прочностью, надежностью, хорошими оптическими характеристиками и высоким квантовым выходом излучения.

В настоящее время созданы структуры, способные излучать во всем видимом диапазоне. Большой выбор цветов свечения, комбинации мощного излучения с любой формой пространственного распределения и возможность получения любого оттенка открывают огромные перспективы использования светоизлучающих диодов в качестве различных источников света.

Важной особенностью полупроводниковых источников света является то, что, в отличие от традиционных ламп, через 50–100 тыс. часов не выходят из строя. Наблюдается лишь постепенное снижение их светового потока. Переход на светодиодное освещение поможет решить проблему энергосбережения, связанную с экономикой и охраной окружающей среды. Это перспективное решение по созданию и разработке твердотельных источников света является одной из самых горячих тем во всем мире, что объясняется огромными средствами, которые вкладываются в эту область.

Для подтверждения срока службы полупроводниковых источников света применяют форсированные испытания при повышенных режимах эксплуатации, например повышенных токах. Для оценки происходящих при этом процессов деградации используется анализ вольт-фарадных и вольт-амперных характеристик, что и является основной задачей данной работы.

Исследования проводились с помощью измерителя импеданса Е7-20, компьютерная обработка результатов проводилась с помощью программы, написанной для этого прибора «Измеритель ВАХ, ВФХ. Анализатор Rs».

Для исследования были выбраны сверхъяркие светодиоды фирмы ОАО НИИПП типа КИПД – 154А белого свечения.

В таблице приведены характеристики светодиодов при $T = 25^{\circ}\text{C}$ и $I = 20 \text{ mA}$.

Характеристики светодиодов

№	$U_{\text{прям}}, \text{В}$			$I_{\text{обрат}}, \text{мА}$
	min	T_{yp}	max	max
C470EZ290-Sxx00	2,7	3,2	3,7	2
C505EZ290-S8500	2,7	3,2	3,7	2
C527EZ290-S7000	2,7	3,2	3,7	2

Измерения проводились на частоте 1 кГц. На рис. 1 представлена ВАХ испытуемых источников света.

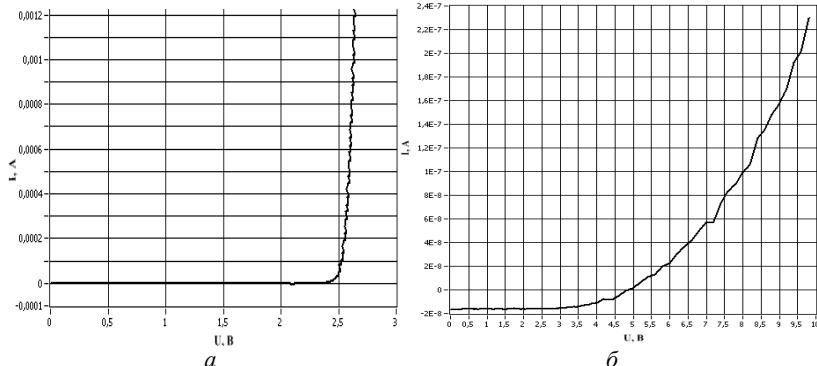


Рис. 1. ВАХ светодиодов при прямом смещении (*а*), ВАХ светодиодов при обратном смещении (*б*)

На рис. 2 представлена ВФХ светодиодов после 2-часовых испытаний при прямом токе 100 мА.

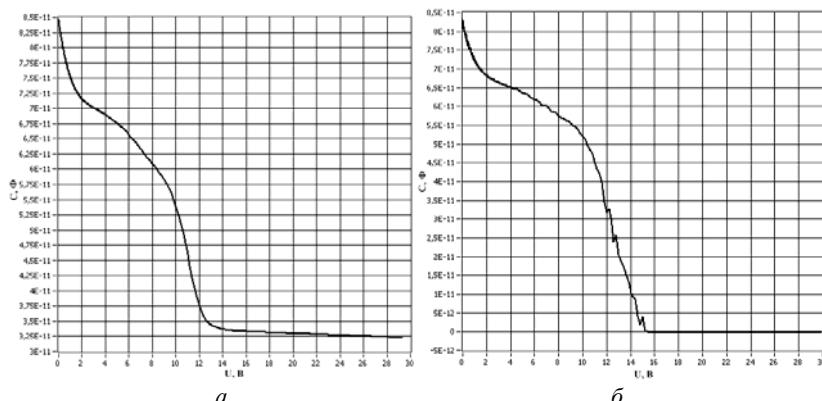


Рис. 2. ВФХ при обратном смещении (*а*), ВФХ светодиодов после 2 ч подачи тока 100 мА (*б*)

Из ВАХ видно, что после испытаний светодиод начинает изменять свои параметры, наиболее сильные отличия наблюдаются в промежутке от 12 до 22 В.

Измеряя ВФХ, вычислили профиль концентрации свободных носителей $N(x)$, которая для неоднородного полупроводника зависит от глубины x , на которую проникает объемный заряд.

$$N(x) = C^2 2U/\varepsilon \varepsilon_0 S^2 q;$$

где C – емкость; U – напряжение; $\varepsilon = 5,28$ (для GaInN); ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума; S – площадь барьера ($S = 0,0784 \text{ м}^2$); q – заряд электрона.

$$x = \varepsilon \varepsilon_0 S/C,$$

где x – глубина, на которую проникает объемный заряд.

На рис. 3 представлен профиль концентрации.

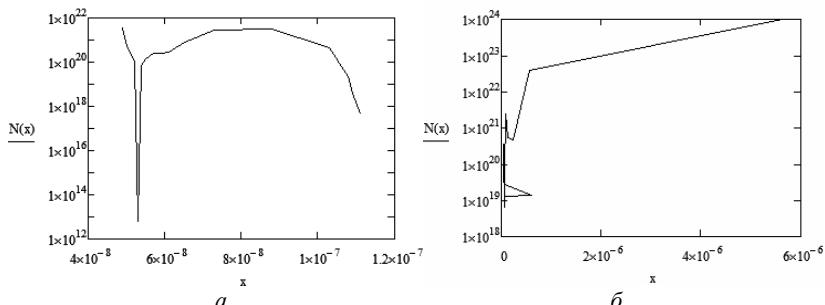


Рис. 3. Зависимость профиля концентрации от глубины (а), зависимость профиля концентрации от глубины после 2 часов подачи тока 100 мА (б)

Исследования показали, что ВФХ проявляют чувствительность и деградации полупроводниковых источников света при форсированных испытаниях и могут быть рекомендованы к использованию для оценки качества изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шуберт Ф.Е. Светодиоды / Пер. с англ.; под ред. А.Э. Юновича. 2-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.
2. Никифоров С. Почему светодиоды не всегда работают так, как хотят их производители // Компоненты и технология. 2005. № 7. С. 159.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ УСКОРЯЮЩЕГО ПРОМЕЖУТКА НА ФОКУСИРОВКУ ЛЕНТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ФОРВАКУУМЕ

*А.В. Меньшов, студент, А.С. Климов, доцент, к.т.н.,
А.А. Зенин, инженер-исследователь, к.т.н.*

*Научный руководитель В.А. Бурдовицин, профессор, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. физики, menshowanton@mail.ru*

Электронно-лучевая обработка диэлектрических поверхностей с большой ($>10 \text{ см}^2$) площадью заметно упрощается при использовании электронного пучка ленточной конфигурации [1]. В форвакуумной области давлений, где компенсация отрицательного заряда поверхности происходит за счет ионов генерируемой электронным пучком плазмы [2], электронные пучки, как правило, имеют энергию не более десяти кэВ. Такие относительно низкие энергии электронов обуславливают заметное расширение пучка по мере его распространения. Решение проблемы возможно с использованием в области транспортировки пучка продольного магнитного поля, что, однако, ограничивает сферу применения пучка. В работе [3] показано, что изменение геометрии ускоряющего промежутка, в частности применение выгнутого эмиссионного электрода, позволяет улучшить фокусировку остросфокусированного пучка. Очевидно, что использование данного приема для источника ленточного пучка также должно привести к положительному эффекту и расширить область применения электронно-лучевых технологий.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании возможности формирования параллельного пучка ленточной конфигурации за счет изменения кривизны эмиссионной сетки.

Техника и методика эксперимента. Эксперименты проводились с использованием макета плазменного источника ленточного пучка электронов (рис. 1, *a*), основные конструкционные особенности которого описаны в [3]. Электронный источник устанавливался на фланце вакуумной камеры, откачиваемой с помощью механического форвакуумного насоса BocEdwards 80. Необходимое давление (5–10 Па) обеспечивалось напуском рабочего газа (воздуха) непосредственно в камеру.

Поперечный размер ленточного электронного пучка оценивался на полувысоте распределения плотности тока, измеряемого с помощью перемещаемого коллектора *9* с коллимирующим отверстием диаметром 3 мм. Угол между плоскими частями вставок (рис. 1, *б*) и плоскостью анода был максимально близок к углу для пушки Пирса с параллельным потоком. В эксперименте изменение фокусировки электронного пучка обеспечивалась изменением радиуса кривизны эмиссионной сетки *7* (см. рис. 1, *б*).

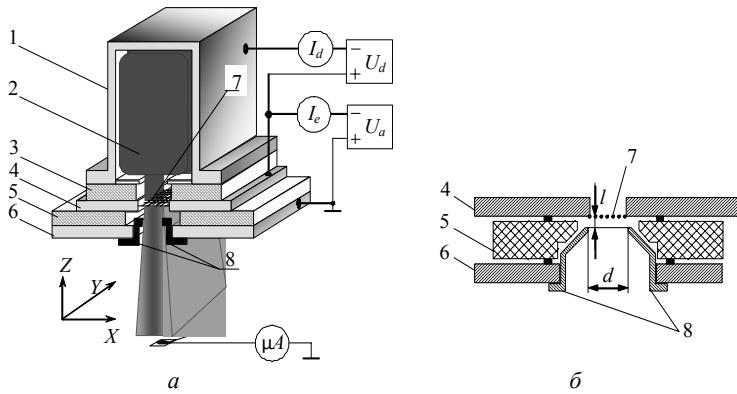


Рис. 1. Схема источника ленточного электронного пучка: 1 – полый катод; 2 – плазма; 3, 5 – изоляторы; 4 – анод; 6 – экстрактор (ускоряющий электрод); 7 – эмиссионная сетка; 8 – металлические вставки; 9 – перемещаемый коллектор

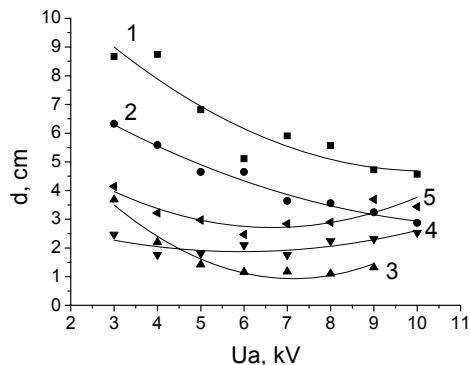
Радиус изгиба сетки рассчитывался по формуле

$$R = \frac{h^2 + (z/2)^2}{2h},$$

где h – глубина изгиба сетки; z – ширина изгибаемой части.

Результаты работы и их анализ. Как показали эксперименты, использование сетки, выгнутой в сторону катодной полости, в отличие от [3] приводит только к расширению электронного пучка по сравнению со случаем плоской сетки. Однако при максимально возможном расстоянии между металлическими вставками 8 (см. рис. 1) и минимальном расстоянии между ними и поверхностью анода, реализуется режим, когда изменение кривизны сетки все же влияет на фокусировку ленточного пучка, о чем свидетельствуют кривые зависимости поперечного размера электронного пучка от ускоряющего напряжения (рис. 2).

Рис. 2. Зависимость ширины ленточного электронного пучка от ускоряющего напряжения, где высота изгиба сетки h равна 1 – 0,5 мм; 2 – 0 мм; 3 – 0,25 мм; 4 – 0,5 мм; 5 – 1 мм



В отличие от [3] в данном исследовании сетка была обращена выпуклой частью к ускоряющему электроду, на рис. 2 знак «минус» перед параметром h соответствует сетке, выгнутой в сторону анода.

Немонотонная зависимость d от ускоряющего напряжения объясняется движением кроссовера пучка.

Заключение. Результаты исследования показали, что кривизна эмиссионной сетки в аноде влияет на фокусировку ленточного электронного пучка и позволяет сформировать слабо расходящийся пучок в форвакуумном диапазоне давлений без использования продольного магнитного поля.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 14-08-00047.

ЛИТЕРАТУРА

1. Manheimer W.M., Fersner R.F., Lampe M. et al. Theoretical overview of the large-area plasma processing system (LAPPS) // Plasma Sources Sci. Technol. 2000. Vol. 9. P. 370–386.
2. Бурдовицин В.А., Клинов А.С., Окс Е.М. О возможности электронно-лучевой обработки диэлектриков плазменным источником электронов в форвакуумной области давлений // Письма в ЖТФ. 2009. № 11(35). С. 61–66.
3. Бурачевский Ю.А., Бурдовицин В.А., Гришков А.А., Зенин А.А., Клинов А.С. Особенности формирования сфокусированного пучка электронов форвакуумным плазменным источником при повышенных давлениях // Успехи прикладной физики. 2013. № 1(11). С. 60–64.

СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЗА-СТРУКТУР

А.П. Молева, студент каф. ФЭ

г. Томск, ТУСУР, moleva.asya@rambler.ru

Развитие и совершенствование современной микроэлектронной промышленности требует создания высоковольтных варикапов, обладающих высокой надежностью.

Для увеличения пробивных напряжений используют меза-эпитаксиальную технологию.

Литературный обзор показывает, что из существующих методов травления Si самыми перспективными являются реактивное-ионное травление и жидкостное-химическое травление [1].

Для формирования меза-структур методом реактивно-ионного и жидкостного химического травления использовались кремниевые пластины с сформированными верхним и нижним омическим контактами, представляющий собой Ti-Au и Ti-Ni-Au соответственно. Травление кремния в первом методе производилось через металлическую маску из Сг, а в жидкостном химическом травлении через маску из фоторезиста.

Полученные результаты зависимостей обратных вольт-амперных характеристик двух меза-структур по разным технологиям представлены на рис. 1.

Из рисунка видно, что метод анизотропного травления обеспечивает более высокие пробивные напряжения – 70 В, по сравнению с методом жидкостного-химического травления – 62 В, а также дает возможность значительно уменьшить уровень обратных токов, следовательно, повышается надежность варикапов и увеличение процента выхода годных приборов. Для обоих типов образцов при увеличении обратного смещения обратный ток растет, такой характер вольт-амперных характеристик связан с преобладанием поверхностных токов утечки в этой области, которые в значительной степени связаны с высокой плотностью поверхностных состояний по периметру $p-n$ -перехода, молекулярными, ионными пленками и различными загрязнениями шунтирующие $p-n$ -переход.

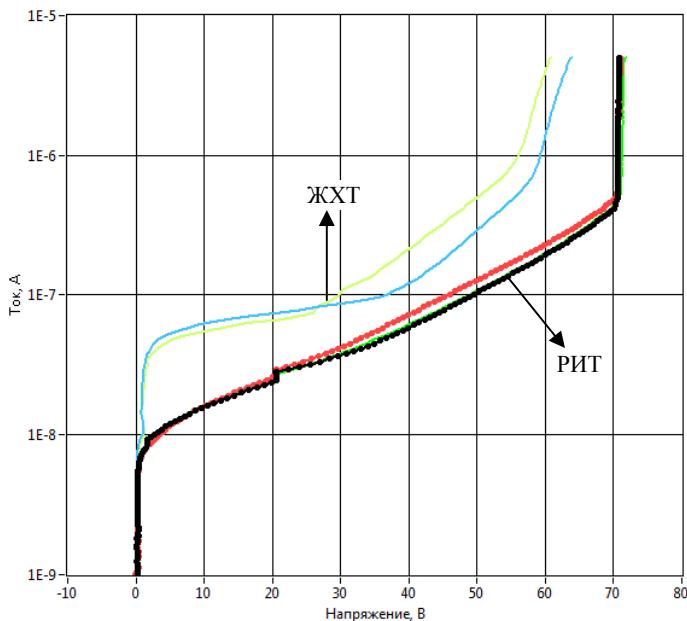


Рис. 1. Обратные вольт-амперные характеристики меза-структур, полученные методом реактивно-ионного травления и жидкостного-химического травления

В ходе проделанной работы был проведен литературный анализ существующих методов травления Si. Преимуществом анизотропного травления по сравнению с изотропным является возможность полу-

ния заданного микрорельефа, а в некоторых случаях и заданной глубины травления.

Таким образом, для изготовления высоковольтных варикапов по меза-эпитаксиальной технологии рекомендуется использовать метод реактивно-ионного травления.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Травление полупроводников* / Пер. с англ. С.Н. Горина. М.: Мир, 1965. 382 с.

СПЕКАНИЕ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ В ПУЧКЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

Д.А. Морланг, студент,

И.П. Васильев, аспирант каф. ФМПК НИ ТПУ

Научный руководитель С.А. Гынгазов, в.н.с. ПНИЛ ЭДиП НИ ТПУ

г. Томск, ТУСУР, den-tusur-2009@mail.ru

Композиционные керамики на основе диоксида циркония имеют широкое применение в качестве конструкционных, инструментальных, функциональных материалов во многих областях современной промышленности. Такие керамики обладают высокой твердостью и стабильностью, также они термоустойчивы и биологически нейтральны, что объясняет возрастающую потребность в них. Особенность данных материалов – основные процессы, во время которых происходит формирование внутренней структуры, проходят при очень высоких температурах. Для таких условий при использовании традиционных методов управлять этими процессами очень сложно, что связано с большой инерционностью этих методов. Альтернативой термическим методам может оказаться спекание керамики в пучках заряженных частиц. Главным достоинством этой группы методов является возможность использования высоких скоростей нагрева, что снимает ограничение, связанное с инерционностью термических методов. Как известно из литературных данных, ведутся работы по радиационно-термическому спеканию ферритов [1, 2], поэтому для нас представляет интерес возможность применения данной группы методов для спекания композиционной керамики на основе диоксида циркония. Целью настоящей работы является проверка применимости спекания в пучке высокоЭнергетичных электронов для получения циркониевой керамики.

Исследовалась керамика на основе стабилизированного иттрием диоксида циркония из порошков трех типов: I и II производства Си-

бирского химического комбината с механической активацией в шаровой мельнице в течение 7,5 и 30 мин соответственно, исходный порошок III типа – коммерческий порошок японской фирмы TOSOH. Компактирование образцов производилось при помощи одноосного статического прессования [3] в прессформах 9 мм (I и III) и 12 мм (II) при давлении 130 МПа. Спекание проводилось в непрерывном пучке электронов с энергией, равной 1,4 МэВ и током 6,3 мА на ускорителе типа ЭЛВ-6 в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН [4].

Для данного исследования была разработана и изготовлена экспериментальная ячейка из нержавеющей стали, внешний вид которой представлен на рис. 1.

Так как на этапе проектирования уже планировалось ее использование при температурах до 1600 °С, была предусмотрена система водяного охлаждения. Для измерения температуры в данном случае наиболее оптимальным решением оказывается применение термопары.

Рис. 1. Внешний вид экспериментальной ячейки



Керамика спекалась при двух скоростях нагрева – 30°/мин и 95°/мин при температуре 1450 °С, изотермическая выдержка составляла 1 ч. Физические параметры полученной керамики представлены в таблице. Плотность и пористость готовой керамики определялись методом гидростатического взвешивания [5].

Физические параметры исследуемой керамики

№ образца	Эксперимент №1			Эксперимент №2		
	$\rho_{\text{пр}}$, г/см ³	$\rho_{\text{гидр}}$, г/см ³	$\Theta_{\text{полн.}}$, %	$\rho_{\text{пр}}$, г/см ³	$\rho_{\text{гидр}}$, г/см ³	$\Theta_{\text{полн.}}$, %
I	2,52	5,04	17,38	2,57	5,06	17,1
II	3,18	4,91	19,53	3,01	4,94	19,02
III	2,91	5,83	4,38	2,86	5,65	7,34

Как видно из таблицы, увеличение скорости нагрева с 30°/мин до 95°/мин практически не сказалось на физических свойствах готовой керамики, что справедливо для всех трёх типов порошка.

В настоящей работе показано, что пучок электронов с энергией 1,4 МэВ и током 6,3 мА пригоден для спекания композиционной кера-

мики на основе диоксида циркония. Исходя из экспериментальных данных, видно, что параметры полученной нами керамики несколько хуже, чем у керамики, полученной при помощи термического спекания, что связано со сложностью разработки подходящего режима спекания, поскольку особенности применения данной группы методов для циркониевых керамик в настоящий момент являются малоисследованными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Surzhikov A.P., Lysenko E.N., Vlasov V.A., Malyshev A.V., Nikolaev E.V. Investigation of the process of ferrite formation in the $\text{Li}_2\text{CO}_3\text{-ZnO-Fe}_2\text{O}_3$ system under high-energy actions // Russian Physics Journal. 2013. Vol. 56, № 6. P. 681–685.
2. Surzhikov A.P., Pritulov A.M., Lysenko E.N., Sokolovsky A.N., Vlasov V.A., Vasendina E.A. Dependence of lithium-zinc ferrospinel phase composition on the duration of synthesis in an accelerated electron beam // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2012. Vol. 110, № 2. P. 733–738.
3. Хасанов О.Л., Двилис Э.С., Бикбаева З.Г. Методы компактирования и консолидацииnanoструктурных материалов и изделий. Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2008. 212 с.
4. Институт ядерной физики им. Будкера. СО РАН, г. Новосибирск [Электронный ресурс]. Адрес сайта. URL: <http://www.inp.nsk.su> (дата обращения: 16.02.2015).
5. Московская Т.Э. Определение плотности тел гидростатическим взвешиванием: Методические рекомендации по физике. Иркутск, 2003. 9 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ФОКУСИРОВКИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ФОРВАКУУМЕ

*М.В. Медведев, студент каф. ЭП,
А.С. Климов, доцент, А.А. Зенин, м.н.с., каф. физики
г. Томск, ТУСУР, cainthegall117@gmail.com*

Электронные источники, основанные на эмиссии из плазмы газового разряда, сохраняют работоспособность в области повышенных давлений [1], а также в присутствии химически агрессивных сред, что делает их применение предпочтительным в электронно-лучевых технологиях модификации поверхностных свойств материалов. Однако ряд принципиальных технологических применений электронных пучков требует существенного повышения в форвакумной области давлений удельных параметров воздействия электронов, например плотности мощности электронного пучка. Одним из очевидных способов повышения плотности мощности состоит в уменьшении диаметра электронного пучка как за счет фокусировки, так и за счет изменения геометрии ускоряющего промежутка электронного источника. Цель настоящей работы состояла в исследовании влияния расстояния анод–

экстрактор на предельные возможности фокусировки электронного пучка в форвакуумной области давлений.

Техника и методика эксперимента. Эксперименты проводились с использованием макета плазменного источника, подробно описанного в [2]. Источник устанавливался на фланец вакуумной камеры, откачиваемой до давления 5–10 Па с помощью форвакуумного насоса BusEdwards80. Оценка предельных возможностей фокусировки электронного пучка производилась путем измерения его диаметра на полувысоте амплитуды тока методом вращающегося двойного зонда (рис. 1), расположенного на расстоянии 30 см от плоскости экстракторного электрода. Зонд представлял собой металлический диск 1 диаметром 25 см с двумя параллельными прорезями (щелями) 2 шириной 0,5 мм. Диск устанавливался на оси электродвигателя 3. Для уменьшения влияния помех, связанных с образованием плазмы при прохождении электронного пучка в форвакууме, вся конструкция зонда закрывалась заземленным экраном (на рисунке не показан). При вращении оси электродвигателя щели на диске по очереди пересекали электронный пучок 4, при этом осциллограф регистрировал токовый сигнал с неподвижного коллектора 5. Диаметр пучка электронов определялся по обычной для такого метода процедуре. По известному расстоянию между серединами щелей (29,6 мм) определяли соответствующий этому расстоянию масштаб на временной шкале осциллограммы (рис. 2). Искомый диаметр пучка d определялся на полувысоте амплитуды тока на коллектор как

$$d = \frac{L \cdot T}{\tau},$$

где L – расстояние между серединами щелей; T – временной интервал на осциллограмме, соответствующий ширине пика на полувысоте амплитуды; τ – временной интервал между вершинами пиков на осциллограмме.

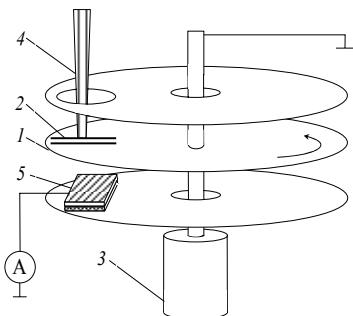


Рис. 1. Схема вращающегося зонда

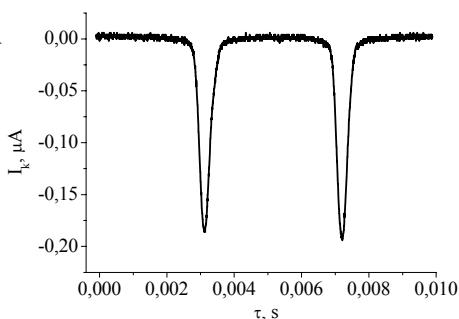


Рис. 2. Типичная осциллограмма тока вращающегося зонда

Результаты эксперимента. Представленные на рис. 3 результаты экспериментов свидетельствуют о возможности получения электронного пучка диаметром до 2 мм при расстоянии между анодом и экстрактором порядка 15 мм. При этом зависимость диаметра пучка от ускоряющего напряжения вполне ожидаема. Ведь именно повышение ускоряющего напряжения снижает влияние начального разброса скоростей электронов на фокусировку пучка, причем влияние ускоряющего напряжения, безусловно, более значимо в области малых значений.

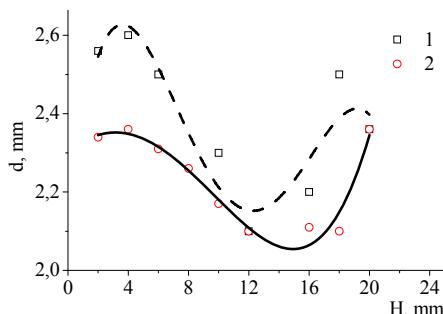


Рис. 3. Зависимость диаметра электронного пучка от расстояния анод – экстрактор, H , при различных ускоряющих напряжениях:

1 – 15 кВ; 2 – 18 кВ

Заключение. Представленные результаты исследования свидетельствуют о возможности положительного влияния геометрических параметров ускоряющего промежутка источника на диаметр электронного пучка. Минимальное значение диаметра составило 2 мм при ускоряющем напряжении 18 кВ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 15-08-00871 А.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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 // ЖТФ. 2012. Т. 82, вып. 8. С. 62–66.
2. Бурдовицин В.А., Жирков И.С., Окс Е.М., Осипов И.В., Федоров М.В. Источник электронов с плазменным катодом для генерации сфокусированного пучка в форвакуумном диапазоне давлений // ПТЭ. 2005. № 6. С. 66–68.

ФОТОМЕТРИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

К.В. Короткова, С.П. Панова, студентки каф. ФЭ

Научный руководитель С.В. Смирнов, профессор каф. ФЭ

г. Томск, ТУСУР, sofya.panova.312@mail.ru

Проект ГПО ФЭ-1203 «Спектральные методы анализа тонких диэлектрических пленок»

Еще совсем недавно сложно было представить, что светодиоды займут такое доминирующее положение в световых технологиях. Они

используются в различных областях науки и техники. От стандартных индикаторов в аудио видеотехнике, портативных компьютерах и игрушках до светофоров, видеодисплеев и автомобильного света. Светодиодные технологии демонстрируют взрывной рост на протяжении последних лет, и дальнейшие перспективы светодиодов представляют-ся весьма широкими.

Основной «движущей силой» такого роста является постоянно увеличивающийся уровень яркости светодиодов.

Механизм свечения полупроводниковых светодиодов заключается в излучении фотонов в результате спонтанной рекомбинации электронно-дырочных пар. Спонтанные процессы излучения света принципиально отличаются от процессов индуцированного (вынужденно-го) излучения, характерных для полупроводниковых лазеров и суперлюминесцентных диодов. Оптические параметры светодиодов непосредственно связаны с процессами спонтанной излучательной рекомбинации.

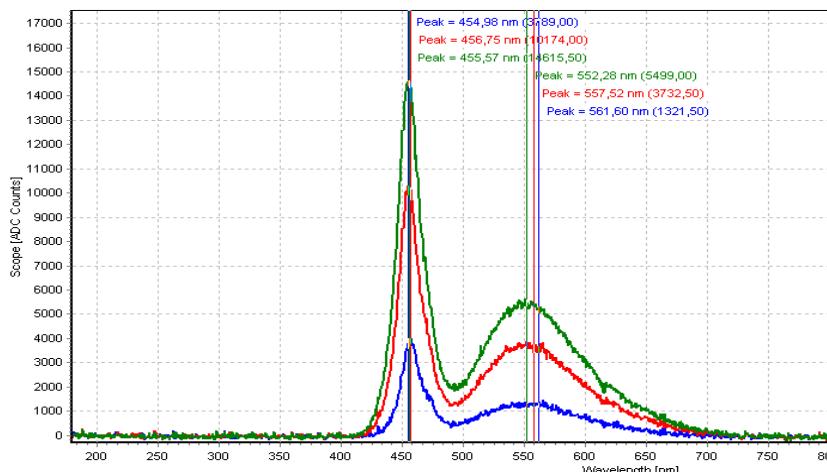


Рис. 1. Спектры светодиодов белого свечения при различных значениях тока

Общей мерой способности нашего зрительного аппарата различать мелкие детали и отчетливо отображать края предметов является острота зрения. При типичных уровнях освещения в помещениях основной фактор, определяющий резкость фокусировки, – оптическое качество глаза (а не уровень освещенности). Острота зрения повышается с уменьшением размера зрачка, потому что отсекаются лучи с повышенной aberrацией.

Довольно часто при измерениях в видимой области спектра, если хотят получить достаточно четкие ответы при решении проблем зрительного восприятия, необходимо, чтобы чувствительный элемент имел спектральную характеристику, соответствующую определенным стандартам фотометрии. Такая точно определенная спектральная характеристика чувствительного элемента называется «функцией видности» глаза или «функцией спектральной чувствительности».

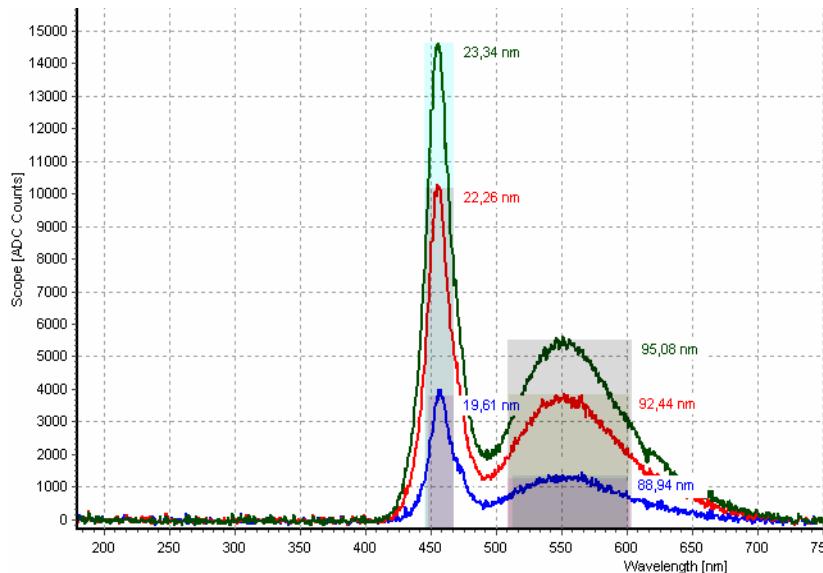


Рис. 2. Спектры светодиодов под влиянием люминофора
при различных значениях тока

Целью нашей работы является исследование фотометрических характеристик полупроводниковых диодов.

К фотометрическим характеристикам относятся: световой поток, мощность излучения, температурная зависимость мощности излучения, спектральный состав, цветовая температура и т.д.

На рис. 1 можно видеть зависимость спектров светодиода белого свечения при разных значениях тока. С увеличением тока полуширина спектра увеличивается, а также наблюдается смещение пиков в сторону увеличения длины волны из-за повышения температуры светодиода.

Особенностью спектра белого светодиода является наличие двух пиков, первый обусловлен свечением кристалла и является узким. Второй обусловлен влиянием люминофора, размыт, так как поглощает синий свет (рис. 2).

Установлено, что световой поток изменяется нелинейно и зависит от величины тока. Смещение в сторону увеличения длины волны наблюдается и для пиков кристалла, и для пиков люминофора.

В ходе исследования была определена цветовая температура для светодиодов при разных значениях тока. Она составила для белых светодиодов 7130–7580 К (рис. 3).

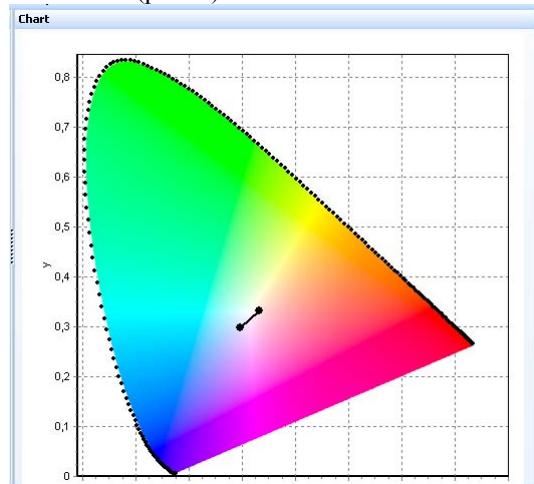


Рис. 3. Цветовая модель исследуемого светодиода

На сегодняшний день в продаже распространены светодиоды с цветовой температурой в 6000–6500 К. Они считаются холодными для жилых помещений.

На международных рынках принято разделять светодиоды на два вида: тёплые белые светодиоды **Warm White LEDs** (до 3 500*К) и холодные белые светодиоды **Cool White LEDs** (свыше 3 500*К).

Для более благоприятного использования светодиодов необходимо использовать лампы со светодиодами, температура которых находится в диапазоне 3000–3500 К.

Технологии изготовления светодиодов белого цвета, пригодных для целей освещения, находятся в стадии активного развития. Исследования в этой области стимулируются повышенным интересом со стороны общества. Перспективы значительной экономии энергии привлекают инвестиции в сферу изучения процессов, развития технологии и поиска новых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шуберт Ф.Е. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. 2-е изд. М., 2008.

ЭЛЕМЕНТ ПАМЯТИ МЕМРИСТОРНОГО ТИПА НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК TiO_2 НАНОМЕТРОВОЙ ТОЛЩИНЫ

И.В. Пилипец, С.Г. Нагайчук, студенты каф. ФЭ

Научный руководитель П.Е. Троян, профессор каф. ФЭ, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, azlogor@yandex.ru

Проект ГПО ФЭ-1302 «Создание элементов наноэлектроники
на основе пористых слоев диоксида кремния»

Целью данной работы является получение формованных МДМ-структур на основе тонких пленок диоксида титана и изучение эффекта переключения и памяти в этих структурах.

Диоксид титана обладает множеством достоинств, позволяющих использовать его в электронной технике, а также в качестве рабочего слоя мемристора. Поэтому важным этапом является отработка технологии получения тонких пленок TiO_2 высокого качества и заданного состава.

В данной работе пленки диоксида титана получались магнетронным распылением в атмосфере аргона и кислорода, а также в чистом кислороде. Был проведен рентгеноструктурный микроанализ пленок диоксида титана, нанесенных на кремниевую подложку (рис. 1).

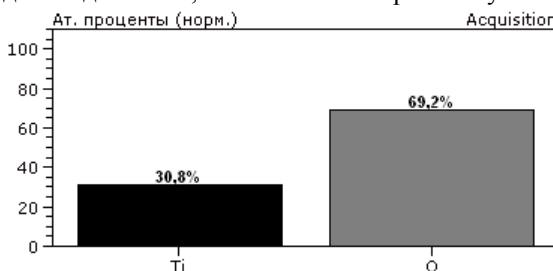


Рис. 1. Процентный состав пленки диоксида титана

Из анализа рис. 1 следует, что полученные пленки обладают стехиометрическим составом. Наличие излишнего кислорода можно объяснить адсорбцией воды на поверхности пленки и окислением подложки.

Одной из задач был выбор материала верхнего электрода, так как он оказывает сильное влияние на свойства МДМ-структуры.

Исследования проводились на структурах Mo-TiO₂-Ni, Mo-TiO₂-Cu, и Mo-TiO₂-Ni-Cu в качестве подложки использовались конструкции типа «керн» [1] (рис. 2).

На структурах были измерены вольт-амперные характеристики до формовки и после формовки. До формовки ВАХ имеют монотонно возрастающий вид без участка отрицательного дифференциального сопротивления.

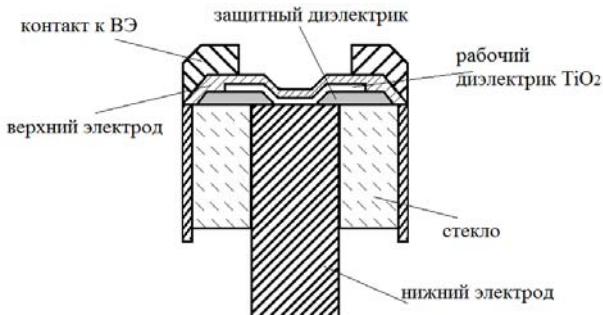
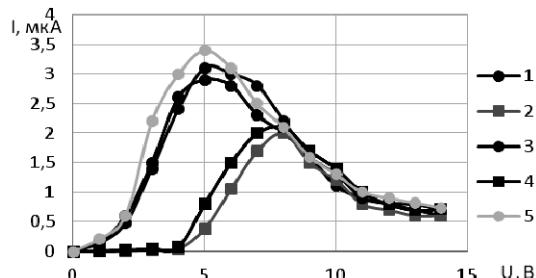


Рис. 2. Схематическое изображение МДМ-структуры на подложке типа «керн»

Образцы были помещены в вакуум при давлении 10^{-2} мм рт. ст. Формовка проводилась подачей напряжения 14 В [2]. Структуры Mo-TiO₂-Ni-Cu формировались практически мгновенно. Формовка структур Mo-TiO₂-Ni проводилась 30 мин, при меньшем времени формовки вид вольт-амперной характеристики не изменялся. Интересный результат был получен после напыления на структуры Mo-TiO₂-Ni слоя меди толщиной 20 нм. Эти структуры были подвергнуты формировке при напряжении 14 В в течение 10 мин, после сняты вольт-амперные характеристики в вакууме в различных состояниях (рис. 3).

Рис. 3. Вольт-амперные характеристики структуры Mo-TiO₂-Ni-Cu с различной проводимостью: 1, 3, 5 – исходное низкоомное состояние; 2, 4 – высокоомное состояние, полученное импульсом 14 В

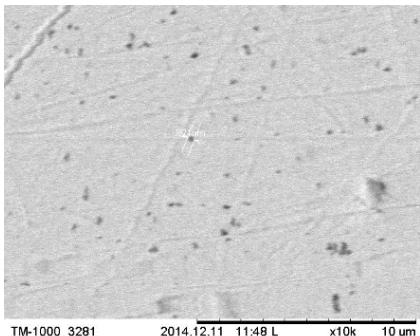


Структуры Mo-TiO₂-Ni-Cu быстро формуются, обладают эффектом памяти, отношение $I_{\text{hc}}/I_{\text{sc}} = 100$. Вольт-амперные характеристики этих структур более стабильны, чем в Mo-TiO₂-Ni, а токи меньше на 3 порядка, чем в структурах Mo-TiO₂-Cu.

Поверхность формованной МДМ-структуре представлена на рис. 4.

На рис. 4 присутствуют формованные каналы диаметром 200–400 нм. Рассчитана примерная плотность данных каналов, которая составила $5 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2}$. Это значение близко к значению плотности формованных каналов, полученному в литературе [1].

В ходе данной работы реализован метод получения тонких пленок диоксида титана стехиометрического состава.



Получены МДМ-структуры на основе диоксида титана с различными верхними электродами.

Рис. 4. Поверхность формованной МДМ-структуре Mo-TiO₂-Ni

Исследованные структуры, помещенные в вакуум, обладают эффектом памяти, ВАХ имеет участок отрицательного дифференциального сопротивления (N -тип). Наблюдается эффект переключения (изменения проводимости), в высоком состояния токи уменьшались на 2–3 порядка по сравнению с низким, что является приемлемым значением для мемристора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Троян П.Е. Электрическая формовка тонкопленочных структур металло-диэлектрик-металл в сильных электрических полях / П.Е. Троян, Ю.В. Сахаров. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2013. 248 с.
2. Битнер Л.Р. Эффекты переключения и памяти в формованных МДМ (П)-структурах: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.10. Томск, 1987. 175 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРА СВЕТОДИОДА УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ДИАПАЗОНА НА GAN

А.А. Попов, студент каф. ФЭ

Научный руководитель Т.И. Данилина, профессор каф. ФЭ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, part.94@yandex.ru danti123@mail.ru

Проект ГПО ФЭ-1403 «Моделирование технологических процессов созданияnanoэлектронных устройств»

Спектр излучения светодиода является важной оптической характеристикой данного прибора, позволяющей определить диапазон, в котором происходит излучение, и его наибольшую интенсивность при определенной длине волны.

На предыдущих этапах работы, путем моделирования спектра светодиода УФ-диапазона на GaN в приборно-технологическом комплексе Silvaco TCAD, было установлено, что изменение некоторых

параметров гетероструктуры светодиода влияет на спектр излучения. При уменьшении толщины слоя, являющегося квантовой ямой, с 4 до 2 нм (материал – GaN), спектральная линия смещается в сторону меньших длин волн. При этом интенсивность излучения СД уменьшается практически в 3 раза [1].

Модуль Atlas, входящий в состав Silvaco TCAD, позволяет исследовать влияние других параметров гетероструктуры на спектр излучения СД. Для построения спектра излучения светодиода в модуле Atlas используется следующая команда:

SAVE spectrum=LED.spc LMIN=0,33 LMAX=0,38 NSAMP=300,

где *SAVE* – команда, сохраняющая полученный спектр; *spectrum=LED.spc* – имя файла, в который сохраняется полученный результат; *LMIN* – минимальная длина волны, для которой будет отображена интенсивность излучения, мкм; *LMAX* – максимальная длина волны, для которой будет отображена интенсивность излучения, мкм; *NSAMP* – количество точек, по которым строится спектральная характеристика [2].

В качестве образца использовалась гетероструктура GaN светодиода УФ-диапазона с четырьмя квантовыми ямами (GaN/Al_{0,2}GaN), показанная на рис. 1.

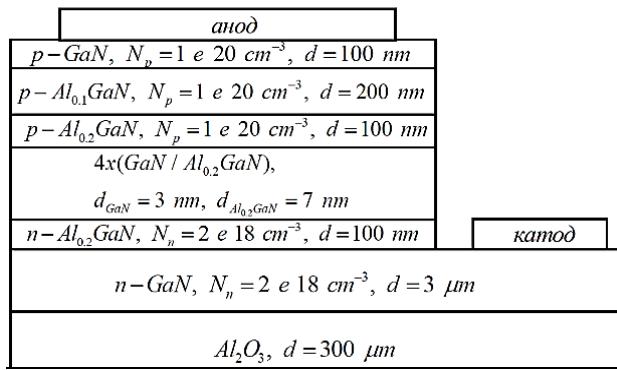


Рис. 1. Структура СД

В процессе моделирования изменялись следующие параметры: толщины слоя Al_{0,2}GaN, разделяющего квантовые ямы; уровни легирования и толщины барьераных слоев (*n*-Al_{0,2}GaN, *p*-Al_{0,2}GaN). Было установлено, что наибольшее влияние на интенсивность излучения оказывает уровень легирования нижнего барьераного слоя (*n*-Al_{0,2}GaN). Спектр излучения СД при различных значениях концентрации примеси данного слоя показан на рис. 2.

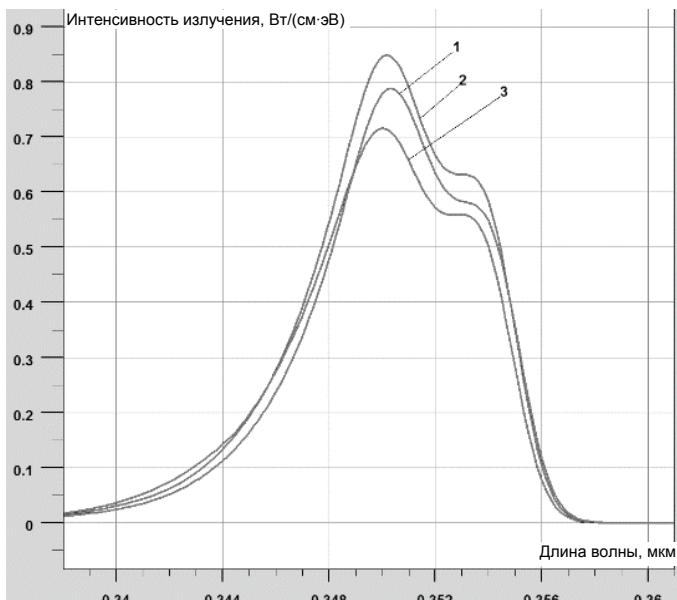


Рис. 2. Влияние уровня легирования на спектр излучения СД при концентрации примеси: 1 – $2 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$; 2 – $2 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$; 3 – $2 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$

По результатам моделирования была построена зависимость интенсивности излучения СД от концентрации легирующей примеси барьера слоя $n\text{-Al}_{0.2}\text{GaN}$ (рис. 3).

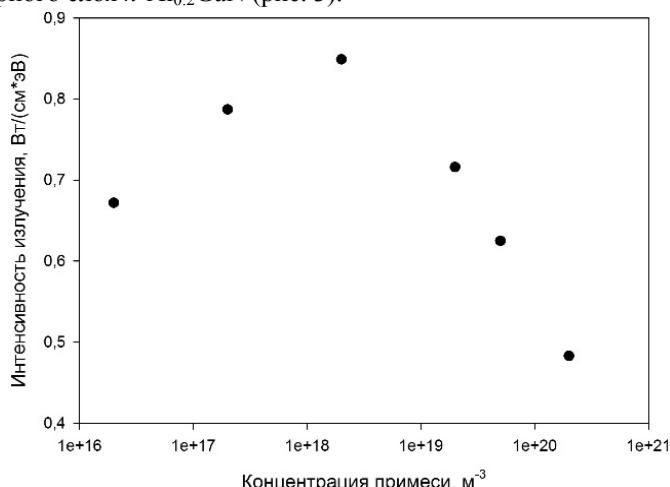


Рис. 3. Зависимость интенсивности излучения от концентрации примеси

Из рис. 3 видно, что наибольшая интенсивность излучения достигается при концентрации легирующей примеси $2 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$. При низком уровне легирования в активную область СД поступает меньшее количество носителей, что уменьшает количество актов рекомбинации, а следовательно, и интенсивность излучения [3]. Уменьшение интенсивности излучения при высоком уровне легирования, возможно, связано с перенасыщением квантовых ям носителями. Следовательно, оптимальное значение концентрации легирующей примеси в нижнем барьере слое $\text{Al}_{0.2}\text{GaN}$ для данного СД – $2 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$.

В работе показаны возможности моделирования спектра излучения СД в приборно-технологическом комплексе Silvaco TCAD, исследовано влияние уровня легирования нижнего барьерного слоя гетероструктуры ($n\text{-Al}_{0.2}\text{GaN}$), а также установлено оптимальное значение концентрации легирующей примеси ($2 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$), при которой достигается максимальная интенсивность излучения светодиода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов А.А. Приборное моделирование характеристик светодиода на GaN // Информационные технологии и информационная безопасность: докл. интернет-конф. участников ГПО ТУСУРа, 3 дек. 2014 г. Томск, 2014. 5 с.
2. Silvaco Inc. ATLAS User's Manual // 4701 Patrick Henry Drive, Bldg. 2 October 2, 2013 Santa Clara, CA 95054. 1576 р.
3. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. 2-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

ДЛЯ МДМ-СТРУКТУР

Т.Ю. Сидорюк, студент каф. ФЭ

Научный руководитель Т.И. Данилина, профессор каф. ФЭ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, sid-tim@mail.ru danti123@mail.ru

Проект ГПО ФЭ-1403 «Моделирование технологических процессов созданияnanoэлектронных устройств»

На сегодняшний день изготовление многослойных микроструктур особенно актуально.

Одной из таких структур является структура «металл-диэлектрик-металл» (МДМ), представляющая большой интерес для исследования свойств МДМ-структур и их использования в микро- и наноэлектронике.

В данной работе рассматривается влияние формы микроострий на распределение электрического поля в структуре «острие-вакуум-плоскость». Данная структура выбрана в силу достаточной простоты моделирования.

лирования и отсутствия неравномерного распределения заряда в диэлектрике.

В программе «ELCUT» было смоделировано несколько острый, отличающихся формой и параметрами, а также исследована зависимость распределения электрического поля от формы и параметров микроострий [1].

Между электродами было подано напряжение в 10 В, каждому вольту соответствует эквипотенциальная линия (рис. 1).

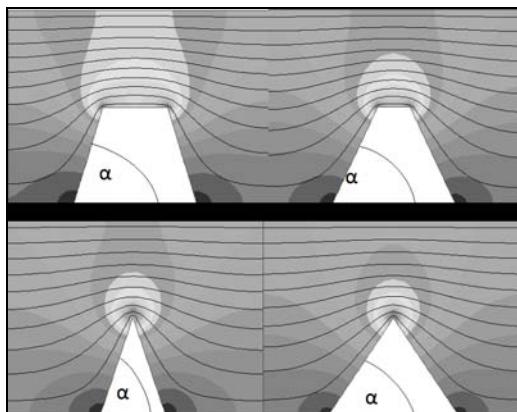


Рис. 1. Распределение электрического поля с острием различной формы

Из рисунка видно, что напряженность поля выше у острий с большим углом α , причём как у трапецидальных, так и у треугольных.

После моделирования был проведён анализ напряженности поля в зависимости от расстояния между эквипотенциальными линиями.

Напряженность поля оценивалась как отношение напряжения к расстоянию между эквипотенциальными линиями.

$E_{\text{пп}}$, В/см 10^6

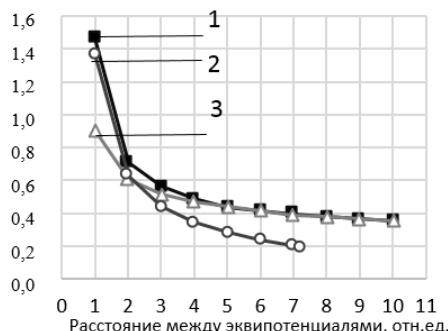


Рис. 2. Зависимость $E_{\text{пп}}$ для трапецидального острия высотой 3 мкм, нижним основанием 6 мкм и верхним основанием 4 мкм:
1 – перпендикулярно вверх от края верхнего основания;
2 – перпендикулярно вверх от центра верхнего основания;
3 – нормаль к боковой стороне на высоте 3 мкм

Из графиков видно, что наибольшая напряжённость достигается непосредственно на «вершине» остряя, а в случае трапеции – на её углах, причём в треугольном остряе напряжённость выше (рис. 2, 3).

Аналогичная зависимость была получена экспериментально в работе [2].

Также было смоделировано распределение электрического поля для двух рядом стоящих микроострий (рис. 4) [3].

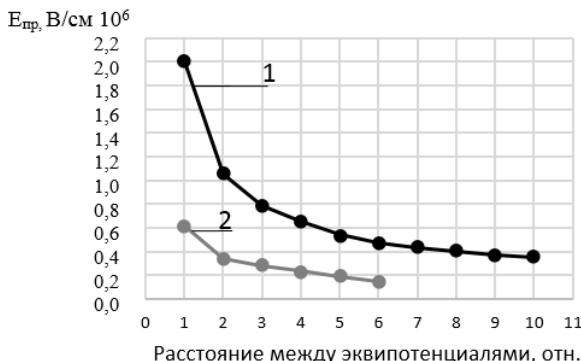


Рис. 3. Зависимость $E_{\text{нр}}$ для треугольного остряя с основанием 2 мкм, с углом при основании 76° : 1 – от остряя вертикально вверх; 2 – нормаль к боковой стороне остряя на высоте 2,5 мкм

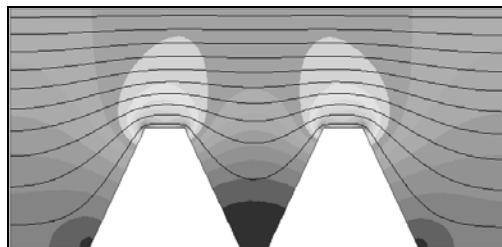


Рис. 4. Распределение электрического поля для двух рядом стоящих микроострий

Видно, что поле двух микроострий стремится соединиться, но данная конфигурация остряй не даёт значительного усиления.

На текущий момент можно сделать вывод, что треугольная форма остряя лучше усиливает электрическое поле, чем трапецидальная. В дальнейшем запланированы исследования для осаждённого диэлектрика, где электрическое поле будет распределяться иначе, лучшая форма остряя может быть отличной от треугольного.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство пользователя ELCUT // Октябрь. 2013. 295 с.
2. Данилина Т.И., Троян П.Е. Моделирование микрорельефа и распределения электрического поля в МДМ-структуратах // Изв. вузов. Электроника. 2009. №1(75). С. 22–26.
3. Сидорюк Т.Ю. Моделирование микрорельефа на МДМ-структуратах // Информационные технологии и информационная безопасность: докл. интернет-конф. участников ГПО ТУСУРа, 3 дек. 2014 г. Томск, 2014. 3 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ ВАРИКАПОВ

H.B. Скотников, A.B. Белоножко, студенты каф. ФЭ

Научный руководитель С.В. Смирнов, профессор, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, nickky@sibmail.com

Очень часто в инженерной практике требуется проводить множество различных расчетов, которые требуют знания большого количества констант, параметров, а также иметь в наличии всевозможные графики, номограммы и т.д. Такие расчеты не сложны с точки зрения математики, однако на них тратится много времени и сил из-за постоянного поиска необходимой формулы или константы [1]. Для того чтобы освободить инженера-технologа от этой рутинной работы, была создана программа SimpleVaractorConstructor, которая определяет основные параметры кремниевых равномерно легированных варикапов. На рис. 1 представлена передняя панель программы.

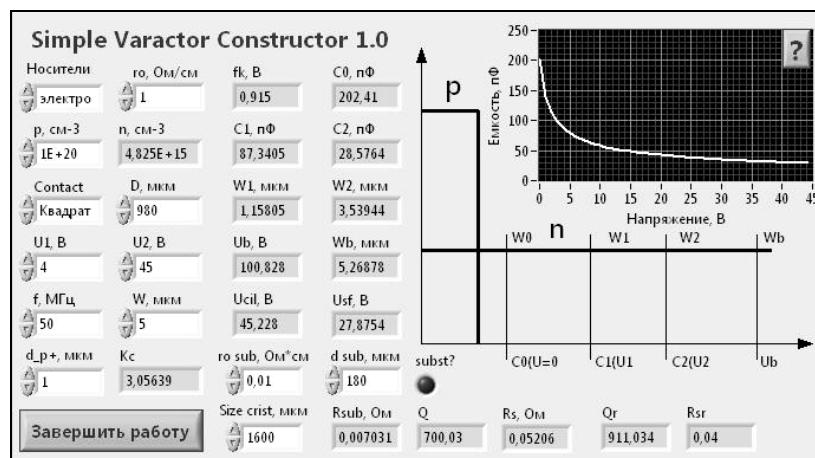


Рис. 1. Передняя панель программы

Рассмотрим функционал данной программы. Для расчета равномерно легированного кремниевого варикапа необходимо задать следующие исходные данные.

В графе «Носители» нужно выбрать тип носителей в базе диода (электроны или дырки). Выбор носителей влияет на величину концентрации примеси, определенную из удельного сопротивления. Затем необходимо задать удельное сопротивление эпитаксиальной пленки (« ro , Ом \cdot см»). Программа, исходя из значений удельного сопротивления и типа носителей, автоматически определит значение концентрации примеси и отобразит его в графе « n , см $^{-3}$ ». Данная опция является, наверное, одной из самых востребованных в данной программе, так как до сих пор технология для определения концентрации примеси приходится пользоваться графиками зависимости $ro(n)$ в логарифмическом масштабе. В поле « p , см $^{-3}$ » необходимо указать концентрацию примеси в p^+ слое (или n^+ в зависимости, какой p - n -переход). Эта величина используется для расчета значения контактной разности потенциалов по формуле (1) и отображается в графе « φ_k , В».

$$\varphi_k = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{n \cdot p}{n_i^2}\right). \quad (1)$$

В графе «Contact» нужно выбрать тип контакта варикапа: круглый либо квадратный. Тип контакта в данной программе влияет на выбор формулы, по которой будет определяться площадь верхнего контакта. Дополнительно необходимо задать диаметр контакта « D , мкм» в мкм (если контакт круглый), либо ширину контакта (если он квадратный).

В полях « U_1 , В» и « U_2 , В» выбираются напряжения, при которых будет рассчитываться емкость варикапа и коэффициент перекрытия по емкости (K_c). Емкость варикапа рассчитывается по формуле (2):

$$C_x = S \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot n \cdot q}{2 \cdot (\varphi_k + U_x)}}. \quad (2)$$

Программа автоматически рассчитывает величину напряжения пробоя для заданной концентрации примеси (считается, что пленка полубесконечная), используя формулу (3), и отображает её значение в графе « U_b , В».

$$U_b = 60 \cdot \left(\frac{E_g}{1,1}\right)^{1,5} \cdot \left(\frac{n}{10^{16}}\right)^{-0,75}. \quad (3)$$

Также программа рассчитывает ширину области пространственного заряда для трех значений напряжений – U_1 , U_2 и U_b – по формуле (4):

$$W_x = \sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot (\varphi_k + U_x)}{2 \cdot n}}. \quad (4)$$

Значения ОПЗ отображаются в окошках « W_1 , мкм», « W_2 , мкм» и « W_b , мкм».

Последовательное сопротивление диода отображается в двух графах « R_s , Ом» – сопротивление эпитаксиальной пленки с удельным сопротивлением ro , толщиной W и площадью S [(формула (5)] и « R_{sr} , Ом» – сопротивление эпитаксиальной пленки с удельным сопротивлением ro , толщиной $W-W_1$ (вычитаем толщину ОПЗ при напряжении U_1) и площадью S [формула (6)].

$$R_s = \frac{\rho \cdot W}{S}, \quad (5)$$

$$R_{sr} = \frac{\rho \cdot (W - W_1)}{S}. \quad (6)$$

В графике « f , МГц» необходимо задать рабочую частоту варикапа (из ТУ). Добротность варикапа рассчитывается для двух случаев (как и последовательное сопротивление) по формулам (7) и (8) и отображается в графах « Q » и « Q_{sr} ».

$$Q = \frac{1}{2\pi f \cdot C1 \cdot R_s}, \quad (7)$$

$$Q_{sr} = \frac{1}{2\pi f \cdot C1 \cdot R_{sr}}. \quad (8)$$

Для того чтобы учесть влияние сопротивления подложки на общее последовательное сопротивление варикапа и на его добротность необходимо нажать на кнопку «subst?» (светодиод засветиться зеленым светом). Значения в графах « R_s , Ом», « R_{sr} , Ом», « Q » и « Q_{sr} » изменятся.

На передней панели программы также можно увидеть схематическое изображение профиля концентрации примеси в варикапе, расположение ОПЗ при различных напряжениях и вольт-фарадную характеристику.

Данная программа будет полезна как инженерам-технологам, занимающимся производством варикапов, так и студентам, изучающим основы проектирования полупроводниковых приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Графический язык программирования Labview. Режим доступа: <http://russia.ni.com/labview>
2. Троян П.Е. Твердотельная электроника. Томск: Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2006. 321 с.
3. Зи С. Физика полупроводниковых состояний / Пер. с англ. под ред. В.А. Гергеля и В.В. Ракитина. М.: Мир, 1981. 456 с.

**РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ
ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПОЛИПРОПИЛЕНА
ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ**

A.C. Смаилов, студент каф. ЭП,

A.B. Казаков, аспирант, A.B. Медовник, доцент, к.т.н., каф. физики

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

г. Томск, ТУСУР, каф. физики, SmailovAlmas@mail.ru

*Проект ГПО ЭП-1201 «Генерация плазменными катодами
электронных пучков и их применение»*

Полиолефины, такие как полиэтилен, полипропилен и их сополимеры, имеют отличные объемные физические и химические свойства, а также безопасны для человека. Полиолефины занимают уникальное положение в связи с тем, что они удобны в использовании, недороги и легки в производстве. Однако специальные поверхностные качества, такие как печатные свойства, гидрофильность, шероховатость, смазочные свойства, избирательная проницаемость и адгезия микроорганизмов, которыми полиолефины не обладают, подчеркивают необходимость адаптации и модификации их поверхности [1].

Ранее нами были получены результаты по облучению полипропилена электронным пучком в форвакууме, в соответствии с которыми приповерхностный слой образца оплавляется, и образуется ориентированная структура холмов и впадин на поверхности [2]. Настоящая работа посвящена расчету теплового поля при облучении полипропилена импульсным электронным пучком и сравнению полученных результатов с экспериментальными данными.

Методика эксперимента и расчета. Эксперименты по облучению проводились с использованием форвакуумного импульсного плазменного источника электронов на основе дугового разряда [3]. Источник электронов размещался на вакуумной камере, которая откачивалась механическим насосом. Давление рабочего газа (воздуха) составляло 5 Па. Ускоряющее напряжение, формирующее электронный пучок, составляло 8 кВ. Образцы полипропилена представляли собой пластины толщиной 1 мм и размером 10×15 мм.

Расчет проводился с помощью метода конечных разностей на равномерной сетке при условии плоского поверхностного источника тепла. Нестационарный перенос тепла описывался одномерным уравнением теплопроводности, записанным в декартовой системе координат:

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{T(x,t)}{c_v(T)\rho_m(T)} \right) + \frac{E_s(x,t)}{c_v(T)\rho_m(T)}, \quad (1)$$

где ρ_m – плотность, кг/м³; c – удельная теплоемкость, Вт/(м·К); λ – коэффициент теплопроводности, Дж/(кг·К); E_s – энергия источника тепла, Дж/(м³). Ось x совпадает с направлением распространения пучка, начало – на поверхности полимера.

Начальная температура всего образца – комнатная. В качестве граничных условий принималось отсутствие теплообмена с окружающей средой. Использовались табличные теплофизические параметры для полипропилена.

Результаты расчета и их обсуждение. По проведенному моделированию распространения теплового фронта в облучаемых образцах можно сделать следующие выводы (рис. 1):

1) распределение температуры T по координате x описывается спадающей кривой;

2) при увеличении длительности импульса t электронного пучка образец прогревается на большую глубину.

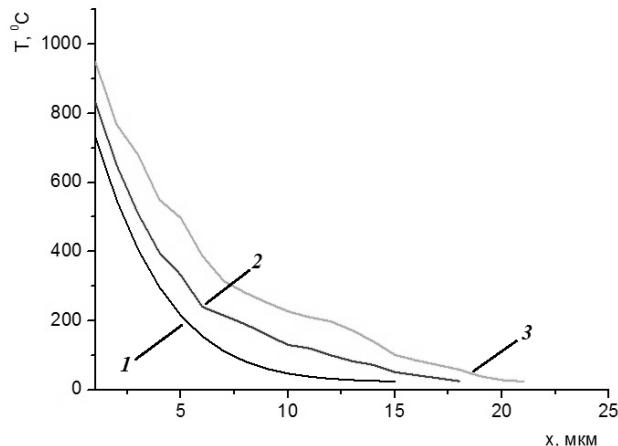


Рис. 1. График зависимости температуры от глубины x при различных длительностях импульса электронного пучка:
1 – при $t = 100$ мкс; 2 – при $t = 200$ мкс; 3 – при $t = 300$ мкс

С учетом того, что температура плавления полипропилена составляет 124°C, полученный расчет позволяет оценить толщину расплавленного слоя, которая составляет 6 мкм при длительности импульса 100 мкс и 14 мкм – при $t = 300$ мкс. Эти результаты качественно согласуются с экспериментальными данными, полученными с использованием атомно-силового микроскопа (рис. 2), согласно которым перепад высот на облученной электронным пучком поверхности полимера может составлять до 6–7 мкм.

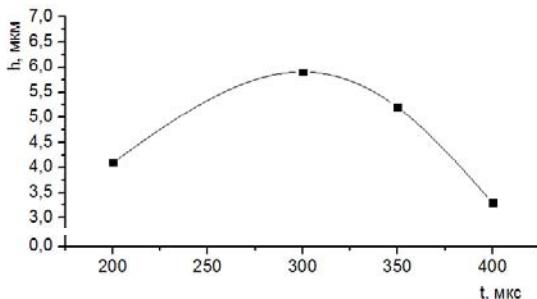


Рис. 2. Экспериментальная зависимость перепада высот h на поверхности полипропилена от длительности импульса t электронного пучка

Заключение. Представленная модель распределения теплового поля в полимерном образце при облучении импульсным электронным пучком согласуется с экспериментальными данными и качественно описывает процесс плавления полипропилена. Разработанная модель может быть использована для прогнозирования температурных полей в образце при изменении параметров пучка.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МК-2253.2014.8 и гранта Минобрнауки № 3.49.2014/К.

ЛИТЕРАТУРА

- Desai S.M., Singh R.P. Surface modification of polyethylene // Long Term Properties of Polyolefins. Berlin: Springer. 2004. P. 231–294.
- Смаилов А.С., Казаков А.В., Медовник А.В. Изменение свойств поверхности полимеров при облучении электронным пучком // Сборник трудов «Научная сессия ТУСУР». 2014. Т. 2. С. 137–140.
- 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.

РАЗРАБОТКА ЗОНДОВОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

*А.А. Ватюк, студент каф. ФЭ
г. Томск, ТУСУР, meo-dmt@yandex.ru*

В связи с динамичным развитием микроэлектронной промышленности все большее значение приобретают методы контроля полупроводниковых пластин после основных операций технологического маршрута. Особенно это касается производственных предприятий с достаточно большим объемом выпуска изделий, ведь для экономии

времени и финансовых затрат важно отбраковывать низкокачественные пластины на максимально ранних сроках.

Исходя из этих причин, была разработана и собрана установка для оценки качества полупроводниковых изделий непосредственно в процессе изготовления. Основой установки послужил анализатор параметров полупроводниковых приборов Keithley 4200-SCS. В нем реализована четырехпроводная схема измерения, которая подразумевает пропускание тока и измерение напряжения. Ток протекает через одну пару подводящих контактов (Force), напряжение анализируется другой парой контактов (Sense). При этом методе практически полностью убирается ошибка измерения, вызванная сопротивлением проводов. При сборке установки использовались вольфрамовые иглы и стандартные зонды для измерения электрических параметров, подключение непосредственно к прибору выполнялось через триаксиальные коннекторы. Общий вид готовой зондовой станции представлен на рис. 1.



Рис. 1. Собранная зондовая станция

Данная установка позволяет выполнять следующие измерения: импульсные измерения и измерения на постоянном токе параметров транзисторов и диодов, контроль межэлементной и межуровневой изоляции, анализ пассивных компонентов интегральных микросхем (резисторы, индуктивности, конденсаторы). Также стоит отметить, что собранная установка особенно актуальна при химическом травлении рецесса полевого транзистора, т.к. позволяет быстро и эффективно оценить ток насыщения сток-исток. Особый интерес представляют импульсные измерения, например, снятие вольт-амперной характеристики. Импульсы малой ширины позволяют исключить самонагрев канальной области транзистора и повысить точность измерений. Разница измерений представлена на рис. 2. Флуктуации графика импульсных измерений обусловлены электромагнитными помехами помещения.

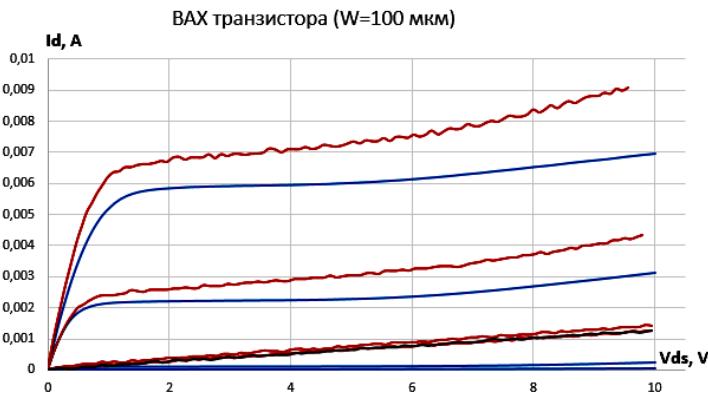


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика тестового полевого транзистора

Изготовление установки для измерения полупроводниковых параметров значительно повысило качество межоперационного контроля изделий и, что немаловажно, позволило эффективно собирать статистику о преобладающих видах брака технологического маршрута.

ЛИТЕРАТУРА

1. 4200-SCS Semiconductor Characterization System, Quick Start Manual, Keithley, 2003.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ТРАВЛЕНИЯ РЕЗИСТОВ ПММА 450, ПММА 950, LOR 5B И EL-11 В КИСЛОРОДОСОДЕРЖАЩЕЙ ПЛАЗМЕ

А.Д. Заречнев, студент каф. ФЭ

Научный руководитель А.И. Казимиров, аспирант каф. ФЭ

г. Томск, ТУСУР, solidglue@yandex.ru

Проект ГПО ФЭ-1405 «Зависимость электрофизических свойств тонких пленок, полученных магнетронным распылением, от параметров процесса»

В микроэлектронике для создания необходимого рисунка схемы используются маски, формирование которых осуществляется в пленках различных резистов. Важной характеристикой любого резиста является его способность сохранять свою толщину неизменной во время обработки в газовой кислородосодержащей плазме, которая сегодня широко используется для удаления остаточного резиста из окон маски [1]. Эта характеристика носит название «плазмостойкость», она влияет на процесс литографии, так как при одинаковых параметрах процесса

обработки в кислородосодержащей плазме (давление, мощность разряда, время процесса) резисты будут иметь разную скорость утончения – травления [2]. Таким образом, задача по определению скорости травления различных резистов является весьма актуальной.

Целью настоящей работы является экспериментальное определение скоростей травления резистов в кислородосодержащей плазме.

В эксперименте использовались резисты PMMA 495, PMMA 950, LOR 5B и EL-11. Для каждого резиста осуществлялось по три процесса обработок в кислородосодержащей плазме. Длительность процессов составляла $t = 1, 2$ и 3 мин. Процесс обработки осуществлялся при мощности разряда $W = 300$ Вт и давлении в рабочей камере $p = 150–165$ мТорр. После каждого процесса делались сколы и с помощью сканирующей электронной микроскопии измерялись толщины резистов.

Полученные экспериментальные данные занесены в таблице.

Зависимость толщин слоев резистов от времени обработки в кислородосодержащей плазме

Время обработки – t , мин	Толщина резиста, d , нм			
	PMMA 495	LOR 5B	PMMA 950	EL-11
0	522,9	495,5	555	467,5
1	493,1	469,4	547,5	407,5
2	459,2	452,3	480,4	412,1
3	430,3	448,7	477,7	384,7

Апроксимировав полученные результаты с приемлемой погрешностью и представив, что начальные толщины всех резистов одинаковы, по экспериментальным данным таблицы построим график зависимостей (рис. 1).

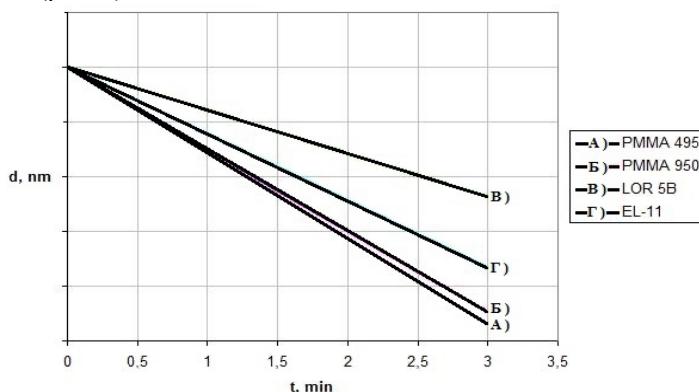


Рис. 1. Зависимость толщины резистов, при условии одинаковой начальной толщины, от времени травления

В результате проведенных исследований удалось установить, что при мощности разряда $W = 300$ Вт и давлении в рабочей камере $p = 150\text{--}165$ мТорр скорости травления резистов составляют:

PMMA 495 – 31,2 нм/мин;
PMMA 950 – 29,9 нм/мин;
EL-11 – 24,4 нм/мин;
LOR 5B – 15,7 нм/мин.

Таким образом, самым плазмостойким из всех выбранных для исследования резистов является LOR 5B.

Полученные результаты могут быть объяснены с точки зрения структуры полимеров. Резист PMMA 950 имеет большую молекулярную массу, соответственно молекулы большего размера удаляются несколько медленнее в сравнении с PMMA 495, молекулярная масса которого немного меньше. EL-11 представляет собой модифицированный PMMA. Это сополимер метилметакрилата с метакриловой кислотой. В процессе сушки этого сополимера образуется больше связей между макромолекулами в сравнении с PMMA резистами и соответственно скорость травления сополимера немного меньше. LOR 5B – полимер принципиально другого состава. Он имеет в своей структуре циклические группы, которые значительно медленнее удаляются в кислородной плазме, что наглядно видно – скорость травления в два раза ниже, чем для PMMA.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисенко В.Е., Воробьев А.И., Данилюк А.Л., Уткина Е.А. Наноэлектроника: теория и практика: учеб. для высш. шк. 2-е изд.. М.: Изд. центр «Бином. Лаборатория знаний», 2012. 366 с.
2. Шинкин Г.Г., Агеев И.М. Наноэлектроника, элементы, приборы, устройства: учеб. пособие. 2-е изд. М.: Изд. центр «Бином. Лаборатория знаний», 2012. 404 с.

СОЗДАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ GAN С ПОМОЩЬЮ ЖИДКОСТНОГО ХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ

Д.И. Засухин, аспирант каф. КЭиФ,

Д.Д. Каримбаев, начальник лаборатории СМ, ОАО «НИИПП»

Научный руководитель А.П. Коханенко, профессор, каф. КЭиФ, д.ф.-м.н.

г. Томск, ТГУ, zadinnocent@yandex.ru

В последнее время все большее применение находят полупроводниковые источники освещения, постепенно вытесняя традиционные и газоразрядные лампы. Качество роста эпитаксиальных структур позволяет достичь значений внутреннего квантового выхода выше 90%. Более актуальной проблемой на сегодняшний день является увеличение

ние внешнего квантового выхода. Возможное решение этой проблемы – создание определенного рельефа на светоизлучающей поверхности, приводящее к тому, что генерируемые в объемы структуры фотонны попадают на поверхность под неопределенным углом и тем самым возрастает вероятность выхода фотонов из объема структуры.

Для создания рельефа на светоизлучающей поверхности применяются два основных метода: травление в индуктивно-связной плазме [1] и жидкостное химическое травление [2, 3]. Травление в индуктивно-связной плазме больше подходит для формирования рельефа на поверхности GaN. Однако взаимодействие с плазмой вносит в структуру дефекты, которые ухудшают характеристики светодиодного кристалла. Жидкостное химическое травление является «безопасным» относительно плазменного травления, но скорость процесса невелика.

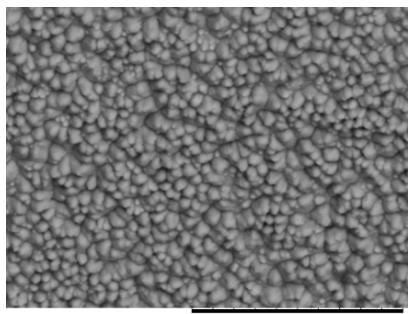
В данной работе представлены результаты формирования сложной морфологии на поверхности нитрида галлия методом жидкостного химического травления. Процесс осуществлялся в смешанном растворе гидроокиси калия 1 М KOH и пероксадисульфата калия 0,1 М $K_2S_2O_8$. Также для увеличения скорости травления процесс сопровождается дополнительным УФ-освещением, источником которого является ртутная дуговая лампа высокого давления мощностью 250 Вт. Оценка состояния поверхности нитрида галлия проводилась на электронном микроскопе Hitachi TM-1000.

Эксперименты проводились с поверхностью GaN *n*-типа, полученной после отделения сапфировой подложки. Отделение сапфировой подложки от GaN *n*-типа осуществлялось на специализированной установке «Excifly» на основе лазерного метода отделения в УФ-области спектра. Так как сапфир прозрачен для УФ-излучения, а нитрид галлия нет, то с помощью лазера возможен разогрев приповерхностной области нитрида галлия. В результате этого происходит быстрая термическая декомпозиция приповерхностного галлия на его составляющие: металлический галлий и газ азот.

Для проведения процесса отделения от сапфировой подложки эпитаксиальные структуры были посажены на керамические подложки с помощью химически стойкого лака. После отделения сапфировой подложки проводилась очистка поверхности GaN от остаточного металлического галлия в растворе соляной кислоты.

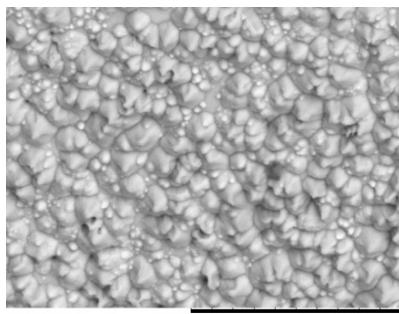
В результате жидкостного химического травления на поверхности GaN *n*-типа формируются усеченные конусообразные острия (рис. 1). Размеры усеченных конусов имеют значения величин порядка 1,5–2 мкм.

С увеличением времени травления размеры конусов увеличиваются и могут достигать значения порядка 3 мкм. Однако плотность конусов уменьшается (рис. 2).



TM-1000_3433 2015.03.03 14:35 L x5,0k 20 um

Рис. 1. Поверхность GaN после травления в смешанном растворе в течение 30 мин



TM-1000_3438 2015.03.03 14:49 L x5,0k 20 um

Рис. 2. Поверхность GaN после травления в смешанном растворе в течение 1 ч

Таким образом, жидкостное химическое травление в смешанном растворе гидроокиси калия 1 М KOH и пероксодисульфата калия 0,1 М $K_2S_2O_8$ позволяет создать шероховатость на поверхности нитрида галлия, полученной после отделения сапфировой подложки. Размеры формируемых усеченных конусов составляют значения порядка 1,5–3 мкм. Дальнейшие исследования позволят подобрать параметры травления для создания оптимальной шероховатости для увеличения значения внешнего квантового выхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Chu J.Y., Chu C.F., Cheng W.H.* Highly reliable and bright GaN vertical LED on metal alloy substrate using corrugated pyramid shaped surface technology // Proceedings of SPIE. 2008. Vol. 6894, № 68940X. P. 1–6.
2. *Hwang Z.H., Hwang J.M., Hwang H.L.* Electrodeless wet etching of GaN assisted with chopped ultraviolet light // Applied physics letters. 2004. Vol. 84(19). P. 3759–3761.
3. *Zhang S.Y., Xiu X.Q., Hua X.M., Xie Z.L.* GaN hexagonal pyramids formed by a photo-assisted chemical etching method // Chinese physics B. 2014. Vol. 23, № 058101. P. 1–6.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭЛЛИПСОМЕТРИИ

Е.И. Зайцева

Научный руководитель С.В. Смирнов, профессор каф. ФЭ
г. Томск, zaitcevalena@sibmail.com

Показатель преломления является одной из важнейших характеристик в изучении тонких пленок. Наиболее оптимальным методом

изучения тонких пленок является метод эллипсометрии. Суть метода эллипсометрии поясняется на рис. 1. На исследуемый образец падает плоско поляризованная волна, которая после отражения становится в общем случае эллиптически поляризованной. Параметры эллипса поляризации, т.е. ориентация его осей и эксцентриситет, определяются оптическими свойствами отражающей структуры и углом падения света [1].

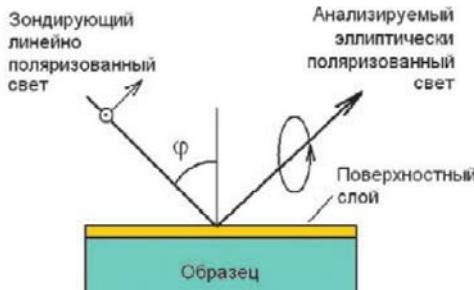


Рис. 1. Схема работы эллипсометра

Измерения проводились на спектральном эллипсометрическом комплексе «Эллипс 1891 САГ», работающим в диапазоне длин волн 350–1000 нм.

Экспериментальная часть. В настоящей работе приводятся результаты эксперимента тонкопленочныхnanoструктур оксида алюминия. Основными параметрами при расчетах являются амплитуда и фазовый сдвиг (ψ и Δ соответственно). Для образцов Al_2O_3 на GaAs ($d = 200$ нм) были получены зависимости оптических свойств от угла падения луча, при различных длинах волн. Зависимости представлены на рис. 2–5.

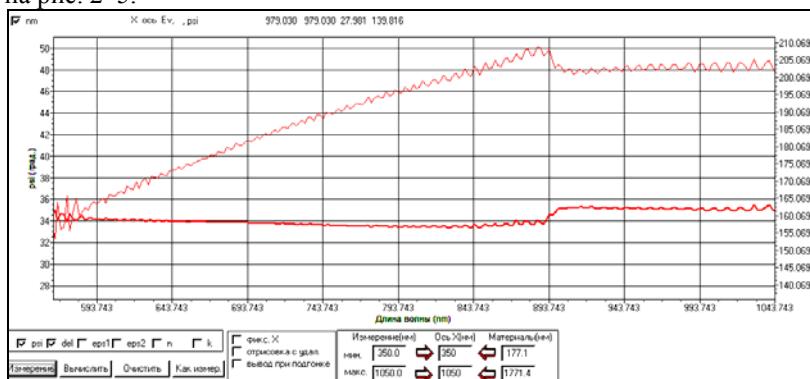


Рис. 2. Зависимость Δ и Ψ от длины волны λ для $\phi = 45^\circ$



Рис. 3. Зависимость Δ и Ψ от длины волн λ для $\varphi = 55^\circ$



Рис. 4. Зависимость Δ и Ψ от длины волн λ для $\varphi = 70^\circ$

Показатель преломления измеряется при разных углах падения 45, 50, 55, 60, 65, 70 град и рассчитывается в программе «Эллипс» (рис. 5).

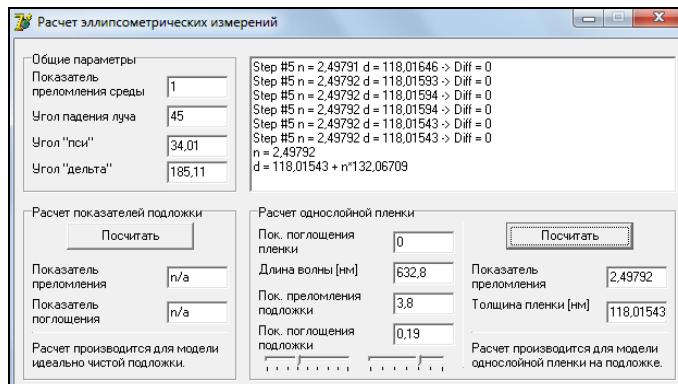


Рис. 5. Расчет толщины пленки при угле падения 45° в программе «Эллипс»

Все расчеты были приведены при длине волны $\lambda = 632,8$.

Табличное значение показателя преломления оксида алюминия равно $n = 1,79$ при длине волны $\lambda = 632,8$.

Результаты эксперимента

ϕ	ψ	Δ	n	d
45	34,01	185,11	2,5	248,4
50	30,96	174,78	2,7	128,8
55	8,37	173,01	2,67	182,4
60	22,18	167,91	2,85	126,43
65	15,66	160,31	3,08	122,1
70	7,38	125,06	3,14	128,1

В ходе измерений при нормальном угле падения $\phi = 45^\circ$ $n = 2,5$ это говорит о том, что показатель преломления является кажущимся. Измеряемая величина зависит от угла падения, так как при ее увеличении, увеличивается и оптический путь. Как видно из таблицы, показатель преломления изменяется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Швец В.А., Спесивцев Е.В. Эллипсометрия. Новосибирск, 2013. 87 с.

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ АМОРФНЫХ ПЛЕНОК ИТО

Ю.С. Жидик, магистрант, М.А. Солдатова, студентка

Научный руководитель П.Е. Троян, зав. каф. ФЭ, д.т.н., профессор,
г. Томск, ТУСУР, каф. ФЭ, Zhidikyr@mail.ru

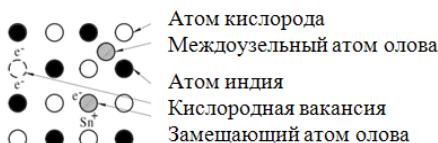
Проект ГПО ФЭ-1301 «Расчет и формирование проводящего
прозрачного покрытия для светодиодов»

Широкое применение оптически прозрачных электропроводящих пленок оксида индия, легированного оловом (ITO) в устройствах оптоэлектроники (омические контакты, слои растекания тока и т.д.) ведет к необходимости исследования их электрических характеристик и изучения механизма электропроводности и энергии активации проводимости. Четкие знания механизма проводимости и взаимосвязи энергии активации проводимости с энергетическими характеристиками примесных атомов необходимы для получения наилучших электрических характеристик пленок ITO, синтезированных при низких температурах.

Цель данной работы – изучение температурной зависимости электропроводности пленок ITO аморфной структуры и установление связи электропроводности с энергией активации.

До настоящего времени вопрос существования электронной проводимости в прозрачных проводящих оксидах однозначно не решен. Одна из наиболее известных моделей для объяснения проводимости в таких материалах основывается на наличии кислородных вакансий, которые образуют донорные уровни вблизи минимума зоны проводимости [1]. Так, нелегированный оксид индия имеет кубическую структуру, в которой атомы индия и кислорода послойно чередуются (рис. 1). При этом некоторые атомы кислорода способны диффундировать из объема оксида, образуя кислородные вакансы. Формула окисла индия в таком случае может быть записана как $\text{In}_2\text{O}_{3-x}(\text{V})_x$, где V – дважды заряженная вакансия кислорода донорного типа, поставляющая в зону проводимости два свободных электрона. Значения параметра x обычно менее 0,01 [2]. Концентрация свободных носителей заряда составляет $10^{19}\text{--}10^{20} \text{ см}^{-3}$. При легировании оксида индия четырехвалентным оловом его атомы замещают ионы In^{3+} в кубической структуре. В результате такого легирования концентрация свободных носителей заряда возрастает до 10^{21} см^{-3} , а их подвижность составляет от 10 до 30 $\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.

Рис. 1. Упрощенная структура пленок $\text{In}_2\text{O}_{3-x}(\text{V})_x$



При определении энергии активации аморфных пленок наиболее удобным методом является снятие температурной зависимости электропроводности. Так, учитывая, что для сравнительно узкого исследуемого температурного интервала подвижность электронов проводимости изменяется незначительно, при снятии температурной зависимости электропроводности она главным образом определяется концентрацией носителей заряда. С учетом этого температурная зависимость электропроводности должна описываться уравнением Аррениуса с учетом энергии активации проводимости:

$$\sigma(T) = \sigma_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{2kT}\right). \quad (1)$$

Логарифмируя обе части уравнения (1) и учитывая, что $\sigma \sim 1/R$, по прямолинейным участкам температурной зависимости изменения соотивления образцов пленок можно определить значения E_a .

Таким образом, для нескольких образцов пленок ИТО с удельным поверхностным сопротивлением $R_s = 30 \text{ Ом}/\square$ при толщине 90 нм, нанесенных по технологии, описанной в [3], на стеклянные подложки снимались температурные зависимости изменения сопротивления на переменном токе с частотами 50 и 200 кГц (рис. 2).

Снятые зависимости позволили сделать следующие выводы о механизме электропроводности пленок ИТО.

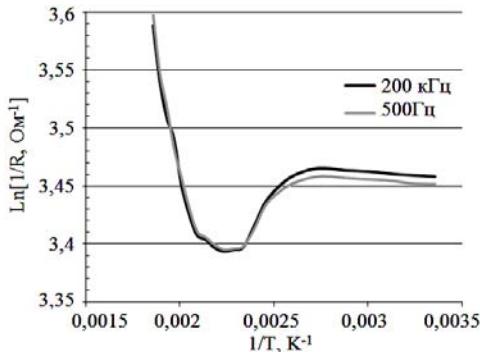


Рис. 2. Экспериментальная зависимость изменения сопротивления от температуры пленки ИТО

В диапазоне температур от 300 до 370 К преобладающей является примесная проводимость с энергией активации примеси 0,0022 эВ. При этом предполагается, что зависимость на этом участке проводимости от температуры вплоть до 400 К может говорить о так называемом прыжковом переносе носителей заряда по уровням локализации за счет электрон-фононного взаимодействия.

При температуре 480 К наблюдается характерный переход к собственной проводимости с энергией ее возбуждения 0,142 эВ. При этом переход от области примесной проводимости к области собственной проводимости проявляется S-образным участком. Такой участок обусловлен тем, что электроны легирующей примеси полностью переброшены в зону проводимости при более низкой температуре и при дальнейшем росте температуры концентрация электронов остается неизменной.

ЛИТЕРАТУРА

1. King P.D.C. Conductivity in transparent oxide semiconductors / P.D.C. King, T.D. Veal // Journal of Physics-Condensed Matter. 2011. Т. 23, № 33.
2. Амосова Л.П. Электрооптические свойства и структурные особенности аморфного ИТО // Физика и техника полупроводников. 2015. Т. 49, вып. 3.
3. Жидик Ю.С., Троян П.Е., Сахаров Ю.С. Прозрачные электропроводящие покрытия с контролируемыми значениями коэффициента пропускания и поверхностного сопротивления // Доклады ТУСУРа. Томск, 2014. № 4(34).

О ПУТИ ЗАМЫКАНИЯ ТОКА ПРИ ИНЖЕКЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПОЛОСТЬ

Д.Б. Золотухин, аспирант каф. физики

Научный руководитель Е.М. Окс, д.т.н., профессор, зав. каф. физики
г. Томск, ТУСУР, ZolotukhinDen@gmail.com

Плазма, создаваемая внутри диэлектрических сосудов, может использоваться для ионно-плазменной модификации и стерилизации его поверхности [1]. Ранее [2] была продемонстрирована возможность инжекции непрерывного электронного пучка в сосуд при давлении 2–15 Па с образованием внутри сосуда пучковой плазмы, а также выполнено исследование параметров этой плазмы [2, 3]. Так как в упомянутых экспериментах внутри сосуда отсутствовал токоснимающий электрод, вопрос о пути замыкания тока электронного пучка вызывает значительный интерес. Данная работа направлена на выяснение направления вытекания заряда из диэлектрической полости.

Схема эксперимента изображена на рис. 1.

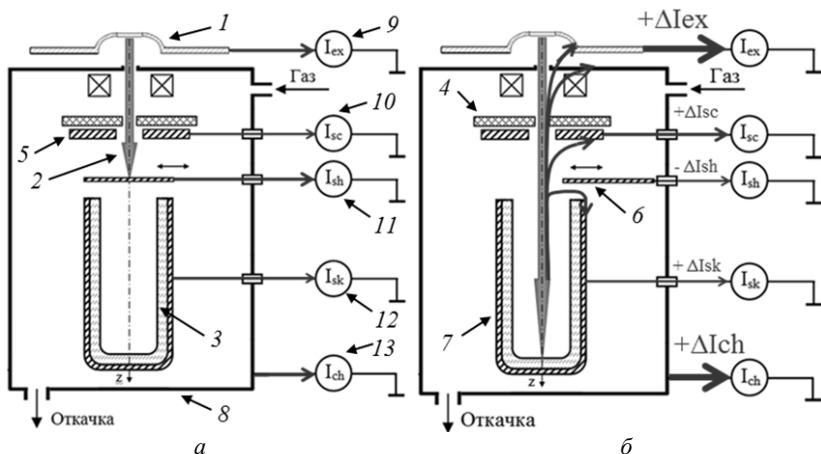


Рис. 1. Схема эксперимента по изучению токопрохождения пучка: *а* – заслонка закрыта; *б* – заслонка открыта; 1 – экстрактор источника; 2 – электронный пучок; 3 – диэлектрическая полость; 4 – диэлектрический экран; 5 – экран; 6 – заслонка; 7 – оболочка полости; 8 – вакуумная камера; 9–13 – амперметры

В эксперименте использовался форвакуумный источник непрерывного электронного пучка [4]. Экстрактор 1 источника был изолирован от вакуумной камеры и заземлен через амперметр 9. Сфокусированный электронный пучок энергией 3 кэВ, током 30 мА и диаметром 4–6 мм сквозь апертуры в диэлектрическом 4 и металлическом экране

5 был направлен в кварцевую полость 3. Длина полости была 20 см, внутренний диаметр 4 см. Для регистрации возможного стекания заряда по поверхности полости она помещалась в металлическую оболочку 7 и ставилась под отодвигаемую заслонку 6. Сверху заслонки устанавливался металлический экран 5 с отверстием, защищенный от прямого попадания пучка керамическим экраном 4. Вся конструкция находилась внутри вакуумной камеры 8, заземленной через амперметр 13. Вакуум в камере обеспечивался форвакуумным насосом ISP-1000C, давление измерялось вакуумметром ВИТ-1А и контролировалось на тенкателем. Рабочим газом служил воздух при давлении 7,5 Па. Все электроды установки были заземлены через токовые приборы 9–13. Для выяснения влияния на токораспределение наличия самих стенок полости в отдельной серии экспериментов вместо полости под заслонку помещалась квадратная керамическая пластина примерно такой же площади, как и дно полости.

В исходном состоянии (рис. 1, *a*) кварцевая полость 3 была прикрыта заслонкой 6, поэтому ток пучка стекал по цепи заслонки и регистрировался амперметром 11. Рассеянные пучковые электроны и пучковая плазма создавали некоторые токи на все прочие электроды. При отодвигании заслонки (рис. 1, *б*), электронный пучок проникал внутрь объема диэлектрической полости. В результате распределения тока все амперметры, кроме амперметра 11 заслонки, регистрировали некоторые добавки тока, при этом сумма всех добавок на электроды практически равнялась убыли тока на заслонку. Величины добавок тока при отодвигании заслонки для случаев инжекции пучка в полость и облучении плоской керамической пластины приведены на рис. 2.

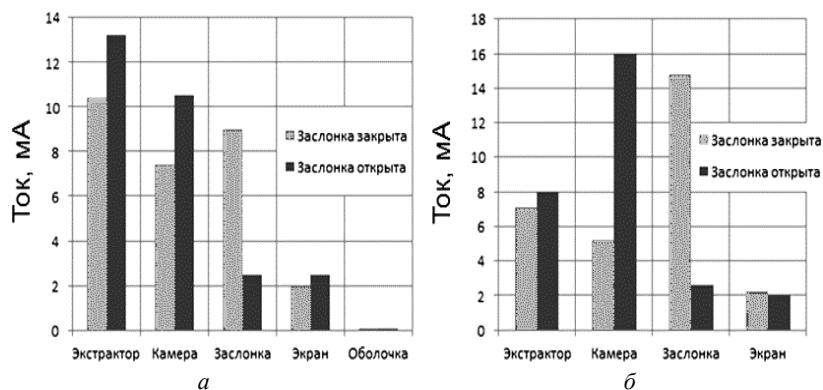


Рис. 2. Распределение тока пучка при: *а* – инжекции в кварцевую полость; *б* – облучении плоской керамической пластины

Как видно из рис. 2, при инжекции пучка в полость ток из нее движется по направлению к открытому торцу полости и замыкается на землю в основном через экстрактор 1 источника и вакуумную камеру 8, причем токи на эти электроды в абсолютных значениях примерно равны. Напротив, при облучении керамической пластины в отсутствие диэлектрических стенок большая часть тока уходит на стенки вакуумной камеры. Вместе с тем не обнаружено сколь-нибудь значительного стекания заряда по внешней поверхности кварцевой полости, поскольку добавка тока на металлическую оболочку полости оказалась крайне мала. Результаты эксперимента указывают на заметное влияние *формы* непроводящей полости на токопрохождение пучка и свидетельствуют о том, что обратный ток из полости распространяется, окружая электронный пучок, и направлен к области экстрактора форвакуумного источника. Для выяснения энергии носителей заряда, создающих обратный ток, требуется дальнейшее исследование.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Sakudo N. et al.* Simultaneous Sterilization with Surface Modification of Plastic Bottle by Plasma Based Ion Implantation // AIP Conference Proceedings. 2011. Vol. 1321, № 266. P. 266–269.
2. *Zolotukhin D., Burdovitsin V., Oks E.* Generation of Electron Beam Plasma inside the Dielectric Tube // Plasma Physics and Technology. Czech Technical University in Prague, Czech Republic. 2014. Vol. 1, №3. P. 133–134.
3. Золотухин Д.Б., Бурдовицин В.А. Параметры пучковой плазмы в диэлектрической полости в форвакуумной области давлений: Матер. докл. IX Междунар. конф. «Современные средства диагностики плазмы и их применение». М.: НИЯУ МИФИ, 2014. С. 89–92.
4. *Burdovitsin V., Oks E.* Fore-vacuum plasma-cathode electron sources // Laser and particle beams. 2008. Vol. 26, №4. P. 619–635.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 7

РАДИОТЕХНИКА

Председатель секции – Семенов Э.В., доцент каф. РЗИ, д.т.н.

А.В. Дроздов, Д.С. Данилов	
ШИРОКОПОЛОСНЫЙ СИММЕТРИРУЮЩИЙ ТРАНСФОРМАТОР НА ОСНОВЕ МОСТОВ МАРШАНДА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ	13
Н.А. Дашин, В.А. Суторихин	
СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕНИЙ ДИСТАНЦИОННОГО ИНДИКАТОРА АКТИВНЫХ ДЕФЕКТОВ (ДИАД) ПРИ НАЛИЧИИ ШУМА	16
Н.Б. Дроботун	
GAAS МИС СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО УДВОИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ С ВХОДНЫМ ДИАПАЗОНОМ 6–13 ГГц.....	19
А.Е. Ефремова, А.В. Паращинец	
СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТЫ 1600 МГц НА МИКРОСХЕМЕ ФАПЧ ADF4113	23
А.В. Горевой, Д.А. Конкин, А.А. Лукина, Г.К. Толениев	
ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР С ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИЕЙ ЗАДЕРЖКИ: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ	26
О.Ю. Косяков, А.Е. Фильберт	
ИССЛЕДОВАНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ	29
И.А. Кукало	
ПРИВЯЗКА ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ КООРДИНАТЫ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА К УЧАСТКУ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА	32
М.А. Назаров	
ИЗМЕРЕНИЕ ВОЛЬТ-ФАРАДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНДЕНСАТОРА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВИДЕОИМПУЛЬСНЫМ СИГНАЛОМ	35
В.Г. Нечасев	
ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕТЕКТОРОВ СИГНАЛОВ СВЧ С ДВУМЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ КАСКАДАМИ	38
Р.О. Ромашов, В.В. Нам	
КОМПЬЮТЕРНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМАМ «ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПЕРЕКРЁСТНЫХ ИСКАЖЕНИЙ В РАДИОПРИЁМНОМ УСТРОЙСТВЕ» И «ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА БЛОКИРОВАНИЯ В РАДИОПРИЁМНОМ УСТРОЙСТВЕ»...	40
Н.Б. Сабыров	
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ДАТЧИКОВ	44

А.Б. Сариев	
ИК-ПРОЖЕКТОР ДЛЯ АКТИВНО-ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ	47
К.Н. Тулеуова, А.В. Максимов	
ПРОГРАММИРОВАНИЕ В LABVIEW СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПО ПРИНЦИПУ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ С ПИД-РЕГУЛИРОВАНИЕМ.....	53
А.С. Ахметова, Б.Б. Тулубаев	
ПРИМЕНЕНИЕ САПР SYSTEMVUE ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВЕРИФИКАЦИИ РАДИОЧАСТОТНЫХ ТРАКТОВ	56
Д.В. Тимошин, Д.А. Тюфякин	
ДЕТЕКТОРЫ ПОГЛОЩАЕМОЙ МОЩНОСТИ СИГНАЛОВ СВЧ	59
Р.Р. Вишняков	
СВЧ-УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ВХОДНЫХ КАСКАДОВ ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ.....	62
А.А. Залевский, Ж.Т. Эрдынеев	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СХЕМЫ КОРРЕКЦИИ СИГНАЛА ЛЧМ-РДАРА.....	64
А.Б. Тулагенов, Н.В. Жаренко	
ИЗМЕРЕНИЕ ШУМОВЫХ ПАРАМЕТРОВ СВЧ-АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	67
А.В. Горевой, Г.К. Толендиев, Д.Е. Бадырова, М.Г. Шарипова, А.А. Лукина, Д.А. Конкин	
МАКЕТ ОПТОЭЛЕКТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНЕЙ ЗАДЕРЖКИ.....	70
СЕКЦИЯ 8	
ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАНОФОТОНИКА И ОПТОЭЛЕКТРОНИКА	
<i>Председатель секции – Шарангович С.Н., проф., зав. каф. СВЧиКР, к. ф.-м. н.;</i>	
<i>зам. председателя – Буримов Н.И., зав. УНЛ каф. ЭП НИЧ, к.т.н.</i>	
Т.И. Богомякова, А.М. Ситдиков, Ю.В. Ряполова, В.С. Солдаткин	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНОФОРОВ ДЛЯ СВЕТОДИОДОВ БЕЛОГО ЦВЕТА СВЕЧЕНИЯ.....	73
А.М. Ситдиков, Ю.В. Ряполова, В.С. Солдаткин	
ЗАВИСИМОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА НАПРЯЖЕНИЯ ОТ КОЛИЧЕСТВА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ПОДКЛЮЧЕННЫХ СВЕТОДИОДОВ	75
В.Г. Дю, Е.С. Худякова	
ДИНАМИКА ТЕРМОИНДУЦИРОВАННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В КРИСТАЛЛЕ $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Al}$	76
И.Д. Гермогентов, Е.А. Дмитриев, С.Б. Козлов, В.Ю. Рябченок	
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛЯ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА НА ВЫХОДНОЙ ГРАНИ КРИСТАЛЛА НИОБАТА ЛИТИЯ	78

А.Ю. Искандаров, В.А. Харенков, М.М. Зиновьев, А.В. Трифонова	
ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ УСИЛЕНИЯ ВЫНУЖДЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ТОНКИХ СЛОЯХ ЛАЗЕРНОГО КРАСИТЕЛЯ С НАНОЧАСТИЦАМИ РАЗЛИЧНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ.....	81
Д.К. Кажкенов, Е.В. Осиновская, М.В. Бородин, Т.М. Ақылбаев	
ДИФРАКЦИЯ СВЕТА НА ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ, ОБРАЗОВАННОЙ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ДОМЕНАМИ В КРИСТАЛЛАХ LiNbO_3	84
А.С. Киселев, П.А. Рыскаленко	
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ ПОСТРОЕНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРА И МОНИТОРИНГА УТЕЧЕК НЕФТЕГАЗОТРУБОПРОВОДОВ	87
Д.В. Кулаков, К.П. Мельник	
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА БАЗЕ ОПТИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ КТР	90
А.Н. Моргунов	
РАСЧЕТ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГЕТЕРОСТРУКТУР С МКЯ В ОПТО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКЕ.....	91
Л.М. Назаренко	
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСИИ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА.....	94
Е. Пантелеев	
ИССЛЕДОВАНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРОВ НИОБАТА ЛИТИЯ В ИК-ОБЛАСТИ.....	96
А.К. Петрова	
ФОТОПРОВОДИМОСТЬ И ШУМЫ БИНАРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ФОНОВОЙ ЗАСВЕТКИ.....	98
А.В. Пустозеров	
ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОПРОПУСКАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ В ВИДИМОМ ДИАПАЗОНЕ	101
Д.В. Ралко, Е.С. Худякова	
СПЕКТРАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ В НЕЛЕГИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛАХ $\text{Bi}_{12}\text{GEO}_{20}$, ПОДВЕРГНУТЫХ ОТЖИГУ В ВОЗДУШНОЙ АТМОСФЕРЕ	103
Ю.В. Ряполова, К.Н. Афонин, В.С. Солдаткин	
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ И СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП	105
С.А. Садовников, С.В. Яковлев	
ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЛАЗЕРНОГО ГАЗОАНАЛИЗА МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ	108

К.В. Волченко, В.О. Долгирев, А.В. Куркин, А.О. Семкин	
ВЛИЯНИЕ ПЛАВНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ УПРАВЛЯЮЩЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ДИФРАКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОННЫХ ФПМ-ЖК СТРУКТУР	110
Д.И. Малышева, О.В. Незнанова, Д.И. Сон, С.И. Сон, А.О. Семкин	
АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ФОТОННЫХ СТРУКТУР В КАПСУЛИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОМ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ.....	113
О.Т. Важинский, К.С. Тарасенко, М.В. Чуманов	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ ЗАТВОРОВ И ЯЧЕЕК ПОККЕЛЬСА, ОСНОВАННЫХ НА КРИСТАЛЛЕ КТИОРО ₄ (RKTP)	116
А.В. Волков, И.А. Кудрявцев, П.Н. Мишин, Д.А. Кузьмин	
АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ ГАЗОВЫХ ПРОБ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ МЕТОДОМ НЕЗАВИСИМЫХ КОМПОНЕНТ	119
К.В. Заичко, М.М. Токарева	
АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В РАЗЪЁМНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ ПРИ КОНСТРУКТИВНЫХ ОТКЛОНЕНИЯХ	122
М.М. Зиновьев, В.А. Харенков, А.В. Трифонова	
СПЕКТРАЛЬНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТВОРА ЛАЗЕРНОГО КРАСИТЕЛЯ РОДАМИН 6Ж, ДОПИРОВАННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ АЛЮМИНИЯ.....	124
А.А Шмидт, А.О. Злобин	
ВКЛАД ФЛЕКСОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЕТОВЫХ ВОЛН НА ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ ГОЛОГРАММАХ В КРИСТАЛЛАХ СИЛЛЕНИТОВ СРЕЗА (111).....	127

СЕКЦИЯ 9

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ ШИРОКОПОЛОСНОГО БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА

Председатель секции – Демидов А.Я., зав. каф. ТОР, к.ф.-м.н.; зам. председателя – Гельцер А.А., ст. преподаватель каф. ТОР, к.т.н.

Ж.Ж. Абильтаева	
АЛГОРИТМЫ ЧАСТОТНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ В IEEE 802.11.....	130
Б.Н. Акынбекова	
СИНХРОНИЗАЦИЯ В СИСТЕМЕ LTE ПО НИСХОДЯЩЕМУ КАНАЛУ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ КАНАЛА	133
Ж.А. Баяндыева, К.Б. Кошкарбаева	
АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ ОГРАНИЧЕННОГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШУМОВЫХ НЕСУЩИХ СИГНАЛОВ	136

Б. Буршакбаев	
РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ САМОПОДОБНОГО ТРАФИКА.....	139
А.В. Креховец	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ НАСТОЛЬНЫХ СУБД И КЛИЕНТ-СЕРВЕРНЫХ СУБД.....	142
М. Махан, А.К. Нурмахамбетов	
МОДЕЛЬ КАНАЛА СЛУЧАЙНОГО ДОСТУПА В LTE	144
А.М. Мукашев, С.И. Абрамчук	
КОНВЕКТИВНЫЙ И РАДИАЦИОННЫЙ ТЕПЛООБМЕН В ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРАХ	147
И.Б. Аршабеков, Е.В. Рогожников	
ПОЛЯРИЗАЦИОННОЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ. ТЕХНОЛОГИЯ ХРІС	151
Г.Л. Сайлаубаев, К.Г. Мурзаев, Р.Р. Абенов	
МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПОМЕХ В СЕТИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ	154
Е.С. Смагулов	
ПРИМЕНЕНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ФУРЬЕ, ХАРТЛИ И ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ	156
Е.С. Сорокина, А.В. Бойченко, Р.В. Губарева, А. Мукашев	
АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ	158
Д.А. Струев	
РЕАЛИЗАЦИЯ ПОЛИМОДАЛЬНЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ УСЛУГ	161
Т.Б. Торпиев, Д.А. Покаместов	
КАНАЛ ДОСТУПА CDMA2000	163
Р.Р. Абенов, Д.А. Покаместов, В.А. Воробьев	
МОДЕЛЬ МНОГОЛУЧЕВОГО КАНАЛА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ	167

СЕКЦИЯ 10

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

*Председатель секции – Катаев М.Ю., профессор, каф. АСУ, д.т.н.;
зам. председателя – Суханов А.Я., доцент каф. АСУ, к.т.н.*

В.А. Андреева	
ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УЧЁТА ДОКУМЕНТОВ ПО ЛИЧНОМУ СОСТАВУ	170
В.С. Апалишин	
ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОИСК НА КОМПЬЮТЕРЕ	174
С.Т. Байдылдаев	
CRM-СИСТЕМА КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИЗНЕСА.....	176

А.Н. Бельц	
ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА СОПРОВОЖДЕНИЯ КРЕДИТНЫХ СДЕЛОК ОАО «КОРПОРАЦИЯ РАЗВИТИЯ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ»	180
И.С. Сидоренко, В.Ю. Белоусов, Д.С. Жданов	
АЛГОРИТМ АНАЛИЗА АКУСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ БРОНХО-ЛЕГОЧНОЙ СИСТЕМЫ.....	183
И.В. Черноусов	
СИСТЕМА ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА ПО ТЕКСТУ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ	185
М.О. Денисенко	
СОСТАВЛЕНИЕ И ОЦИФРОВКА БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В ФОНДЕ СОЦИАЛЬНОГО СТРАХОВАНИЯ	188
И.О. Аксененко, Е.А. Голянд	
ТРЕНАЖЁР ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НАВЫКАМ РАБОТЫ С MS WORD	190
С.И. Гомилко	
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РОБОТА-ФУТБОЛИСТА ДЛЯ УЧАСТИЯ В СОРЕВНОВАНИЯХ ROBOCUP SOCCER ЛИГИ KIDSIZE	193
Б.В. Горбунов	
АВТОМАТИЗАЦИЯ СОВОКУПНОСТИ ЗАДАЧ МЕНЕДЖЕРА ПРОДАЖ «MANAGERHELPER» (НА ПРИМЕРЕ ООО «РОСРАЗВИТИЕ СИБИРЬ»	195
М.С. Гусев	
АВТОМАТИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОТДЕЛА КАДРОВ В ОАО «ТОМГИПРОТРАНС»	199
А.А. Ханефт	
РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЛАЧНЫХ ФОРМ НА СПУТНИКОВЫХ ФОТОГРАФИЯХ С ПОМОЩЬЮ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА И ТЕКСТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОБРАЖЕНИЯ.....	201
Е.О. Караванов	
МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НАЧИНАЮЩЕГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЯ, ОСНОВАННАЯ НА БИЗНЕС-ПРОЦЕССАХ	203
С.С. Касаткин	
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛУТОНОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛИЦА ЧЕЛОВЕКА	205
А.В. Клименко, Д.Н. Ушарова, А.С. Вершинин	
ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ ДЛЯ РОБОТА НА ОСНОВЕ СТЕРЕОПАРЫ	208
А.Е. Косова	
БОРТОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ БПЛА С УЧЁТОМ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ	209
И.А. Кукало	
ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ФИЗИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА.....	212

Н.А. Куртушин, С.Ю. Чупин	
ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ОБЛАЧНОГО ПОКРОВА	
ПО ОБРАБОТКЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ LANDSAT 8.....	215
Н.А. Митник	
ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ТЕСТИРОВАНИЯ ПЕРСОНАЛА	
КАК ЭЛЕМЕНТА СИСТЕМЫ КАДРОВОГО МЕНЕДЖМЕНТА.....	218
А.М. Ооржак	
ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕДИЦИНСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ	220
С.А. Пекарских	
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ	
РОБОТОМ ROBOBUILDER.....	222
К.В. Попов	
УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС	
«КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА»	224
Д.И. Ример, Д.А. Смагилов	
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	
ДЛЯ СЕРВИСНОГО РОБОТА «ОФИЦИАНТ».....	226
А.А. Рюмкин	
ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ОСВЕЩЕНИЕ»	
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНДЕЯТЕЛЬНОСТИ».....	229
О.Е. Шандарова	
РАЗРАБОТКА ПОДПРОЕКТА «СТИШОК С ДВИЖЕНИЯМИ»	
ДЛЯ ПРОЕКТА «РОБОТ-НЯНЯ».....	231
В.С. Шараев	
БАЗА ЗНАНИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ	
ПРОИЗВОДСТВА	234
Н.П. Сибирякова	
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА И ПОДБОРА	
НОВЫХ КАДРОВ В ТОМСКОМ ОТДЕЛЕНИИ	
ОАО «СБЕРБАНК РОССИИ»	236
А.Н. Зимина, Е.В. Соколова	
РАЗРАБОТКА ПОДПРОЕКТА «ЗНАКИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ»	
ДЛЯ ПРОЕКТА «РОБОТ-НЯНЯ».....	239
О.В. Соловьева	
ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ФИНАНСОВОГО	
ПЛАНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ.....	241
Б.Б. Тарбаев	
ВЫЧИСЛЕНИЕ ФОРМАЛЬНЫХ ИНВАРИАНТНЫХ ПРИЗНАКОВ,	
ОПИСЫВАЮЩИХ ИЗОБРАЖЕНИЕ.....	244
А.И. Татьянников, М.А. Соколова	
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	
ДЛЯ РОБОТА – МЕДИЦИНСКОГО КОНСУЛЬТАНТА	247
Е.С. Тишкевич	
РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА СОПОСТАВИМЫХ РЫНОЧНЫХ ЦЕН	
ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ЗАКУПОК	249

А.В. Тишков	
МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	251
Е.А. Туркова	
АНАЛИЗ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ РЕГИСТРАТУРЫ ПОЛИКЛИНИКИ ...	254
И.А. Уртамова	
СОЗДАНИЕ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА	256
О.А. Васильева	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА УКРАШЕНИЙ ИЗ НАТУРАЛЬНЫХ КАМНЕЙ	259
Д.О. Якушин	
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПРОХОЖДЕНИЯ РОБОТОМ DARWIN OP ПОЛОСЫ ПРЕПЯТСТВИЙ ДЛЯ ПРОЕКТА LEAGUE OF EVERYBODY	260
В.О. Язынина	
АВТОМАТИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АРХИВА ОРГАНИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ ИМУЩЕСТВЕННЫХ ОТНОШЕНИЙ АДМИНИСТРАЦИИ ЗАТО СЕВЕРСК	264
И.В. Заворотный	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РОБОТА С НАЛИЧИЕМ ПРЕПЯТСТВИЙ	266
Д.В. Жулаева	
СОЗДАНИЕ БИБЛИОТЕКИ ДВИЖЕНИЙ ДЛЯ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА ROBOBUILDER	268
И.М. Журавлев	
АЛГОРИТМ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПО ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ	272

СЕКЦИЯ 11

ФИЗИЧЕСКАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

*Председатель секции – Троян П.Е., зав. каф. ФЭ, проф., д.т.н.;
зам. председателя – Смирнов С.В., профессор, каф. ФЭ, д.т.н.*

З.А. Бадмажапов	
МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ КВАДРУПОЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАСС-ЗАРЯДОВОГО СОСТАВА ИОНОВ ПУЧКОВОЙ ПЛАЗМЫ	276
И.Ю. Бакеев, А.В. Казаков, А.В. Медовник	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНИЦИРОВАНИЯ ДУГОВОГО РАЗРЯДА ВСПОМОГАТЕЛЬНЫМ РАЗРЯДОМ ПО ПОВЕРХНОСТИ ДИЭЛЕКТРИКА В ФОРВАКУУМНОМ ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ	279
Д.В. Билевич	
МОДУЛЯТОР МАХА-ЦЕНДЕРА ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ	282

А.С. Черных, И.В. Кутков	
ПОЛУЧЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК НИТРИДА КРЕМНИЯ МЕТОДОМ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ (PECVD)	284
БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АММИАКА	
А.И. Казимиров, А.А. Чиняков	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОРЦЕВЫХ БАРЬЕРОВ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК ВОЛЬФРАМА НА ПАРАМЕТРЫ	
ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ GAAS СВЧ-ТРАНЗИСТОРОВ	287
И.В. Федин, А.И. Казимиров	
ПЛЁНКИ НИТРИДА ТИТАНА КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ЗАТВОРНОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ СИЛОВЫХ	
ГЕТЕРОСТРУКТУРНЫХ GAN-ТРАНЗИСТОРОВ	289
М.П. Фомичев, А.В. Казаков, А.В. Медовник	
ВЛИЯНИЕ ОБРАТНОГО ИОННОГО ПОТОКА НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОГО ИСТОЧНИКА	
ЭЛЕКТРОНОВ НА ОСНОВЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА В ФОРВАКУУМНОМ ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ	293
Р.Н. Гамиров, О.И. Демченко	
ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТВЕРДОФАЗОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СМЕСИ $\text{Li}_2\text{CO}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$	296
И.В. Кулинич, Е.В. Ерофеев	
ПОЛУЧЕНИЕ СУБМИКРОННОГО Т-ОБРАЗНОГО ЗАТВОРА СВЧ GAAS-ТРАНЗИСТОРА С ОДИНАРНЫМ РЕЦЕССОМ МЕТОДОМ	
НАПРАВЛЕННОГО ДВОЙНОГО УГЛОВОГО НАПЫЛЕНИЯ	298
Т.Х. Фам, М.С. Головко, Ч.А. Кужугет	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕНТРОВ ЛЬЮИСА И БРЕНСТЕДА С ПОМОЩЬЮ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ	301
В.В. Каранский, А.С. Климов, А.А. Зенин	
ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОМ СПЕКАНИИ SIC-КЕРАМИКИ В ФОРВАКУУМНОМ	
ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ	304
Е.А. Малаева, Н.Е. Целовальникова	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА	
НА ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ ПОСЛЕ ФОРСИРОВАННЫХ ИСПЫТАНИЙ	307
А.В. Меньшов, А.С. Климов, А.А. Зенин	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ УСКОРЯЮЩЕГО ПРОМЕЖУТКА НА ФОКУСИРОВКУ ЛЕНТОЧНОГО	
ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ФОРВАКУУМЕ	310
А.П. Молева	
СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЗА-СТРУКТУР	312
Д.А. Морланг, И.П. Васильев	
СПЕКАНИЕ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ В ПУЧКЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ	314

М.В. Медведев, А.С. Климов, А.А. Зенин	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ФОКУСИРОВКИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ФОРВАКУУМЕ.....	316
К.В. Короткова, С.П. Панова	
ФОТОМЕТРИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА.....	318
И.В. Пилипец, С.Г. Нагайчук	
ЭЛЕМЕНТ ПАМЯТИ МЕМРИСТОРНОГО ТИПА НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК TiO_2 НАНОМЕТРОВОЙ ТОЛЩИНЫ.....	322
А.А. Попов	
МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРА СВЕТОДИОДА УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ДИАПАЗОНА НА GAN	324
Т.Ю. Сидорюк	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ДЛЯ МДМ-СТРУКТУР	327
Н.В. Скотников, А.В. Белоножко	
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ ВАРИКАПОВ	330
А.С. Смаилов, А.В. Казаков, А.В. Медовник	
РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПОЛИПРОПИЛЕНА ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ.....	333
А.А. Ватюк	
РАЗРАБОТКА ЗОНДОВОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ	335
А.Д. Заречнев	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ТРАВЛЕНИЯ РЕЗИСТОВ РММА 450, РММА 950, LOR 5B И EL-11 В КИСЛОРОДОСДЕРЖАЩЕЙ ПЛАЗМЕ.....	337
Д.И. Засухин, Д.Д. Каримбаев	
СОЗДАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ GAN С ПОМОЩЬЮ ЖИДКОСТНОГО ХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ	339
Е.И. Зайцева	
ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭЛЛИПСОМЕТРИИ	341
Ю.С. Жидик, М.А. Солдатова	
ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ АМОРФНЫХ ПЛЕНОК ITO	344
Д.Б. Золотухин	
О ПУТИ ЗАМЫКАНИЯ ТОКА ПРИ ИНЖЕКЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПОЛОСТЬ.....	347

Научное издание

**Материалы
Всероссийской научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2015»**

13–15 мая 2015 г., г. Томск

В пяти частях

Часть 2

Корректор – **В.Г. Лихачева**
Верстка **В.М. Бочкаревой**

Издательство «В-Спектр».

Сдано на верстку 01.04.2015 Подписано к печати 30.04.2015.

Формат 60×84¹/₁₆. Печать трафаретная. Печ. л. 22,5.

Тираж 600 экз. Заказ 15.

Тираж отпечатан ИП Бочкаревой В.М.
ИНН 701701817754
634055, г. Томск, пр. Академический, 13-24, т. 49-09-91
E-mail: bvm@sibmail.com