



Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники



**РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ**



**РАДИОКОНСТРУКТОРСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ**



**ФАКУЛЬТЕТ  
ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ**



**ФАКУЛЬТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**



**ФАКУЛЬТЕТ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**



**ГУМАНИТАРНЫЙ  
ФАКУЛЬТЕТ**



**ФАКУЛЬТЕТ  
БЕЗОПАСНОСТИ**



**ЭКОНОМИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ**



**ФАКУЛЬТЕТ  
ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**



**ЮРИДИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ**



**ЗАОЧНЫЙ И ВЕЧЕРНИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ**



**ФАКУЛЬТЕТ  
ДИСТАНЦИОННОГО  
ОБУЧЕНИЯ**



**ВЫБИРАЙ БУДУЩЕЕ,  
ВЫБИРАЙ ТУСУР!**

634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, каб. 129  
Телефон/Факс: (3822) 900-100

E-mail: [onir@main.tusur.ru](mailto:onir@main.tusur.ru)  
Сайт: <http://tusur.ru/>

Информационный центр абитуриента: [abiturient.tusur.ru](http://abiturient.tusur.ru)



# НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2017

Посвящена 55-летию ТУСУРа



**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
10–12 мая 2017 г. (в восьми частях)**

**Часть 1**

**г. Томск**

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

# **НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2017**

**Материалы**  
**Международной научно-технической конференции**  
**студентов, аспирантов и молодых ученых**  
**«Научная сессия ТУСУР–2017»,**  
**посвященной 55-летию ТУСУРа**

**10–12 мая 2017 г., г. Томск**

**В восьми частях**

Часть 1

В-Спектр  
2017

**УДК 621.37/.39+681.518 (063)**

**ББК 32.84я431+32.988я431**

**Н 34**

**Н 34 Научная сессия ТУСУР–2017:** материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 55-летию ТУСУРа, Томск, 10–12 мая 2017 г.: в 8 частях. – Томск: В-Спектр, 2017 – Ч. 1. – 298 с.

ISBN 978-5-91191-353-3

ISBN 978-5-91191-354-0 (Ч. 1)

Материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых посвящены различным аспектам разработки, исследования и практического применения радиотехнических, телевизионных и телекоммуникационных систем и устройств, сетей электро- 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

**ISBN 978-5-91191-353-3**

**ISBN 978-5-91191-354-0 (Ч. 1)**

© Том. гос. ун-т систем управления  
и радиоэлектроники, 2017

**Международная  
научно-техническая конференция  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
«Научная сессия ТУСУР–2017»,  
посвященная 55-летию ТУСУРа  
10–12 мая 2017 г.**

**ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ**

- Шелупанов А.А. – председатель Программного комитета, ректор ТУСУРа, директор Института системной интеграции и безопасности, председатель правления Томского профессорского собрания, проф., д.т.н.;
- Мещеряков Р.В. – заместитель председателя Программного комитета, проректор по научной работе и инновациям ТУСУРа, зав. каф. БИС, проф., д.т.н.;
- Агеев Е.Ю., начальник научного управления, к.и.н.;
- Бабур-Карателли Г.П., к.т.н., PhD (TU Delft), научный сотрудник каф. ТОР ТУСУРа;
- Беляев Б.А., зав. лаб. электродинамики и СВЧ-электроники Ин-та физики СО РАН, д.т.н., г. Красноярск;
- Васильковская Н.Б., доцент каф. экономики, к.э.н.;
- Голиков А.М., доцент каф. РТС, к.т.н.;
- Грик Н.А., зав. каф. ИСР, проф., д.и.н.;
- Давыдова Е.М., декан ФБ, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.;
- Демидов А.Я., зав. каф. ТОР, доцент, к.ф.-м.н.;
- Дмитриев В.М., зав. каф. МиСА, проф., д.т.н.;
- Дробот П.Н., доцент каф. УИ, к.ф.-м.н.;
- Еханин С.Г., проф. каф. КУДР, доцент, д.ф.-м.н.;
- Заболоцкий А.М., доцент каф. ТУ, к.т.н.;
- Зариновская Н.В., доцент каф. ЭМИС, к.ф.-м.н.;
- Исакова А.И., доцент каф. АСУ, доцент, к.т.н.;
- Карателли Д., PhD (Sapienza University of Rome), технический директор компании «The Antenna Company Nederland B.V.»;
- Карташев А.Г., проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н.;
- Катаев М.Ю., проф. каф. АСУ, д.т.н.;
- Коцубинский В.П., зам. зав. каф. КСУП, доцент каф. КСУП, к.т.н.;
- Лоцилов А.Г., зав. каф. КУДР, начальник СКБ «Смена» ТУСУРа, к.т.н.;
- Лукин В.П., зав. лаб. когерентной и адаптивной оптики ИОА СО РАН, почетный член Американского оптического общества, д.ф.-м.н., проф., г. Томск;
- Малюк А.А., проф. каф. «Кибербезопасность» НИЯУ МИФИ, к.т.н., г. Москва;
- Малютин Н.Д., начальник ОПП ТУСУРа, проф., д.т.н.;
- Михальченко Г.Я., директор НИИ ПрЭ, проф., д.т.н.;
- Мицель А.А., проф. каф. АСУ, д.т.н.;
- Мозгунов А.В., начальник ОНИР;
- Озеркин Д.В., декан РКФ, доцент, к.т.н.;
- Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ, доцент, к.филос.н.;
- Пустынский И.Н., проф. каф. ТУ, заслуженный деятель науки и техники РФ, д.т.н.;
- Разинкин В.П., проф. каф. ТОР НГТУ, д.т.н., г. Новосибирск;



- Семенов Э.В., проф. каф. РЗИ, доцент, д.т.н.;
- Сенченко П.В., декан ФСУ, доцент каф. АОИ, к.т.н.;
- Суслова Т.И., декан ГФ, зав. каф. ФиС, проф., д.филос.н.;
- Троян П.Е., зав. каф. ФЭ, проректор по учебной работе, проф., д.т.н.;
- Хаминов Д.В., зав. каф. ТП, зам. декана ЮФ, к.и.н.;
- Ходашинский И.А., проф. каф. КИБЭВС, д.т.н.;
- Шарангович С.Н., проф., зав. каф. СВЧиКР, к.ф.-м.н.;
- Шарыгин Г.С., проф. каф. РТС, д.т.н.;
- Шостак А.С., проф. каф. КИПР, д.т.н.

## **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ**

- Мешеряков Р.В., проректор по научной работе и инновациям ТУСУРа, зав. каф. БИС, проф., д.т.н.;
- Агеев Е.Ю., начальник научного управления, к.и.н.;
- Коротина Т.Ю., заведующая аспирантурой и докторантурой, к.т.н.;
- Юрченкова Е.А., вед. инженер ОППО, к.х.н.;
- Медовник А.В., председатель Совета молодых ученых, доцент каф. физики, к.т.н.;
- Боберь Ю.Н., инженер ОППО

## **СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ**

### **Секция 1. Радиотехника и связь**

Подсекция 1.1. Радиотехнические системы и распространение радиоволн. Председатель секции – Шарыгин Герман Сергеевич, проф. каф. РТС, д.т.н., проф.; зам. председателя – Тисленко Владимир Ильич, проф. каф. РТС, д.т.н.

Подсекция 1.2. Проектирование и эксплуатация радиоэлектронных средств. Председатель секции – Шостак Аркадий Степанович, проф. каф. КИПР, д.т.н.; зам. председателя – Озёркин Денис Витальевич, декан РКФ, доцент, к.т.н.

Подсекция 1.3. Радиотехника. Председатель секции – Семенов Эдуард Валерьевич, проф. каф. РЗИ, доцент, д.т.н.; зам. председателя – Артищев Сергей Александрович, м.н.с. СКБ «Смена», к.т.н.

Подсекция 1.4. Радиолокация. Председатель секции – Масалов Евгений Викторович, проф. каф. КИПР, проф., д.т.н.; зам. председателя – Кривин Николай Николаевич, ст. преподаватель каф. КИПР, к.т.н.

Подсекция 1.5. Аудиовизуальная техника, цифровое телерадиовещание и информационный сервис. Председатель секции – Пустынский Иван Николаевич, проф. каф. ТУ, д.т.н.; зам. председателя – Костевич Анатолий Геннадьевич, доцент каф. ТУ, к.т.н., с.н.с.

- Подсекция 1.6. Инфокоммуникационные технологии и системы широкополосного беспроводного доступа. Председатель секции – Демидов Анатолий Яковлевич, зав. каф. ТОР, к.ф.-м.н.; зам. председателя – Гельцер Андрей Александрович, доцент каф. ТОР, к.т.н.
- Подсекция 1.7. Робототехника. Председатель секции – Шурыгин Юрий Алексеевич, первый проректор, зав. каф. КСУП, д.т.н., проф.; зам. председателя – Коцубинский Владислав Петрович, доцент каф. КСУП, к.т.н.
- Подсекция 1.8. Интеллектуальные системы проектирования технических устройств. Председатель секции – Шурыгин Юрий Алексеевич, первый проректор, зав. каф. КСУП, д.т.н., проф.; зам. председателя – Черкашин Михаил Владимирович, доцент каф. КСУП, доцент, к.т.н.

## **Секция 2. Электроника и приборостроение**

- Подсекция 2.1. Проектирование биомедицинских электронных и наноэлектронных средств. Председатель секции – Еханин Сергей Георгиевич, проф. каф. КУДР, доцент, д.ф.-м.н.; зам. председателя – Романовский Михаил Николаевич, доцент каф. КУДР, к.т.н.
- Подсекция 2.2. Разработка контрольно-измерительной аппаратуры. Председатель секции – Лошилов Антон Геннадьевич, зав. каф. КУДР, начальник СКБ «Смена», к.т.н.; зам. председателя – Убайчин Антон Викторович, с.н.с. СКБ «Смена», к.т.н.
- Подсекция 2.3. Физическая и плазменная электроника. Председатель секции – Троян Павел Ефимович, проректор по УР, зав. каф. ФЭ, проф., д.т.н.; зам. председателя – Смирнов Серафим Всеволодович, проф. каф. ФЭ, д.т.н.
- Подсекция 2.4. Промышленная электроника. Председатель секции – Михальченко Геннадий Яковлевич, директор НИИ ПрЭ, д.т.н., проф.; зам. председателя – Семёнов Валерий Дмитриевич, проф. каф. ПрЭ, к.т.н.
- Подсекция 2.5. Оптические информационные технологии, нанофотоника и оптоэлектроника. Председатель секции – Шارانгович Сергей Николаевич, проф., зав. каф. СВЧКР, к.ф.-м.н.; зам. председателя – Перин Антон Сергеевич, доцент каф. СВЧКР, к.т.н.
- Подсекция 2.6. Электромагнитная совместимость. Председатель секции – Заболоцкий Александр Михайлович, доцент каф. ТУ,

к.т.н.; зам. председателя – Куксенко Сергей Петрович, доцент каф. ТУ, к.т.н.

Подсекция 2.7. Светодиоды и светотехнические устройства. Председатель секции – Туев Василий Иванович, зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.; зам. председателя – Вилисов Анатолий Александрович, проф. каф. РЭТЭМ, д.т.н.

### **Секция 3. Информационные технологии и системы**

Подсекция 3.1. 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.

Подсекция 3.2. Распределённые информационные технологии и системы. Председатель секции – Сенченко Павел Васильевич, декан ФСУ, доцент каф. АОИ, к.т.н.

Подсекция 3.3. 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.

Подсекция 3.4. Моделирование в естественных и технических науках. Председатель секции – Зариковская Наталья Вячеславовна, доцент каф. ЭМИС, доцент, к.ф.-м.н.; зам. председателя – Колотаев Илья Владимирович, разработчик ООО «СибирьСофтПроект».

Подсекция 3.5. Вычислительный интеллект. Председатель секции – Ходашинский Илья Александрович, проф. каф. КИБЭВС, д.т.н.; зам. председателя – Сарин Константин Сергеевич, ассистент каф. КИБЭВС.

Подсекция 3.6. Современные библиотечные технологии. Председатель секции – Абдрахманова Марина Викторовна, директор библиотеки ТУСУРа; зам. председателя – Карауш Александр Сергеевич, доцент каф. РЗИ, к.т.н.

Подсекция 3.7. Молодежные инновационные научные и научно-технические проекты. Председатель секции – Дробот Павел Николаевич, доцент каф. УИ, к.ф.-м.н.; зам. председателя – Нариманова Гуфана Нурлабековна, зав. каф. УИ, доцент, к.ф.-м.н.

Подсекция 3.8. Разработка программного обеспечения. Председатель секции – Гордиевских Вячеслав Валерьевич, генеральный директор ООО «СибирьСофтПроект»; зам. председателя – Зариковская Наталья Вячеславовна, доцент каф. ЭМИС, к.ф.-м.н.

Подсекция 3.9. Инструментальные средства поддержки автоматизированного проектирования и управления. Председатель секции – Коцубинский Владислав Петрович, доцент каф. КСУП, к.т.н.; зам. председателя – Хабибулина Надежда Юрьевна, доцент каф. КСУП, к.т.н.

#### **Секция 4. Информационная безопасность**

Подсекция 4.1. Методы и системы защиты информации. Информационная безопасность. Председатель секции – Шелупанов Александр Александрович, ректор ТУСУРа, директор ИСИБ, д.т.н., проф.; зам. председателя – Конев Антон Александрович, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.

Подсекция 4.2. 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.

Подсекция 4.3. Экономическая безопасность. Председатель секции – Кузьмина Елена Александровна, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.; зам. председателя – Глухарева Светлана Владимировна, ст. преподаватель каф. КИБЭВС.

#### **Секция 5. Экономика, управление, социальные и правовые проблемы современности**

Подсекция 5.1. Моделирование в экономике. Председатель секции – Мицель Артур Александрович, проф. каф. АСУ, д.т.н.; зам. председателя – Грибанова Екатерина Борисовна, доцент каф. АСУ, к.т.н.

Подсекция 5.2. Информационные системы в экономике. Председатель секции – Исакова Анна Ивановна, доцент каф. АСУ, к.т.н.; зам. председателя – Григорьева Марина Викторовна, доцент каф. АСУ, к.т.н.

Подсекция 5.3. Экономика и управление. Председатель секции – Васильковская Наталья Борисовна, доцент каф. экономики, к.э.н.; зам. председателя – Цибульников Валерия Юрьевна, доцент каф. экономики, к.э.н.

Подсекция 5.4. Современные социокультурные технологии в организации работы с молодежью. Председатель секции – Суслова Татьяна Ивановна, декан ГФ, зав. каф. ФиС, д.филос.н., проф.; зам. председателя – Орлова Вера Вениаминовна, проф. каф. ФиС, директор НОЦ «СГТ», д.соц.н..

Подсекция 5.5. Актуальные проблемы социальной работы в современном обществе. Председатель секции – Грик Николай Антонович,

зав. каф. ИСР, д.и.н., проф.; зам. председателя – Куренков Артем Валериевич, доцент каф. ИСР, к.и.н.

Подсекция 5.6. Правовые проблемы современной России. Председатель секции – Хаминов Дмитрий Викторович, зав. каф. ТП, зам. декана ЮФ, к.и.н.; зам. председателя – Суслов Андрей Александрович, ст. преподаватель каф. ТП

**Секция 6. 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 7. Открытия. Творчество. Проекты.** (Секция для школьников). Председатель секции – Мозгунов Алексей Викторович, начальник ОНир.

**Секция 8. Postgraduate and Master Students' Research in Electronics and Control Systems.** (Секция на английском языке). Председатель секции – Покровская Елена Михайловна, зав. каф. ИЯ, доцент, к.филос.н.; зам. председателя – Менгардт Елена Рудольфовна, доцент каф. ИЯ, Морозова Елена Ирисметовна, ст. преподаватель каф. ИЯ.

**Адрес оргкомитета:**

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

**ГОУ ВПО «ТУСУР»**

**Научное управление (НУ), к. 205**

**Тел.: 8-(382-2) 701-524**

**E-mail: [nstusur@main.tusur.ru](mailto:nstusur@main.tusur.ru)**

- 1-й том – 1-я секции (подсекции 1.1 – 1.8);
- 2-й том – 2-я секция (подсекции 2.1 – 2.4);
- 3-й том – 2-я секция (подсекции 2.5 – 2.7 );
- 4-й том – 3-я секция (подсекции 3.1 – 3.5);
- 5-й том – 3-я секция (подсекции 3.7 – 3.9);
- 6-й том – 4-я и 5-я секции (подсекции 4.1 – 4.3 и 5.1, 5.2)
- 7-й том – 5-я секция (подсекции 5.3 – 5.6);
- 8-й том – 6-я, 7-я, 8-я секции.



## *Спонсор конференции – АО «ПКК Миландр»*



АО «ПКК Миландр»  
124498, г. Москва, Зеленоград,  
Георгиевский проспект, дом 5

Т. 495 981 5433  
Ф. 495 981 5436  
[www.milandr.ru](http://www.milandr.ru)

---

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

АО «ПКК Миландр» выполнило более 200 НИОКР в интересах предприятий радиоэлектронной промышленности РФ. Номенклатурная линейка «Миландра» составляет более 300 типонаименований микросхем (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 числе постоянных заказчиков на выполнение работ по проектированию, изготовлению и поставке микроэлектронных изделий значатся российские центры проектирования, научно-исследовательские институты, приборостроительные предприятия и объединения. Компания постоянно расширяет географию и сферу научно-технического сотрудничества, заключая долгосрочные договоры с научными учреждениями России, СНГ и с зарубежными научными организациями. Поставка изделий осуществляется в адрес более 800 предприятий радиоэлектронной промышленности.

В 2014 г. АО «ПКК Миландр» совместно с Томским государственным университетом систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) и Томским государственным архитектурно-строительным университетом (ТГАСУ) одержали победу в конкурсе 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, выполняемом по Постановлению Правительства Российской Федерации № 218. Для выполнения работ по комплексному проекту АО «ПКК Миландр» и ТУСУР открыли Центр системного проектирования. В Центре системного проектирования, созданном на базе ТУСУРа, разрабатывается программное обеспечение для интеллектуальных приборов энергоучета 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 АО «ПКК Миландр», ТУСУРа и ТГАСУ позволит снизить затраты населения за тепло и электроэнергию на 15–20%.

Также АО «ПКК Миландр» активно проводит различные программы по взаимодействию с вузами: 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 талантливые студенты получают сертификаты. Проект реализуется под эгидой импортозамещения, позволяет студентам российских вузов приобрести навыки работы с отечественной элементной базой и иметь преимущество при трудоустройстве в ведущие приборостроительные предприятия России.

В 2016 г. в ТУСУРе создана базовая кафедра микроэлектроники, информационных технологий и управляющих систем (МИТУС) с применением дистанционного обучения, которая сможет решать приоритетные задачи по интеграции образования и науки в производство. Компания нацелена на то, чтобы выпускники кафедры стали незаменимыми сотрудниками различных предприятий радиоэлектронной промышленности и были востребованными специалистами на современном рынке труда. Для этого АО «ПКК Миландр» предоставит своей кафедре самую актуальную материально-методическую базу и обеспечит другими возможными ресурсами компании.

## *Спонсор конференции – Группа компаний «Научное оборудование»*



|                                 |                 |
|---------------------------------|-----------------|
| Группа компаний                 | Т. 383 330 8295 |
| «Научное оборудование»          | Ф. 495 150 3295 |
| 630128, Россия, г. Новосибирск, | www.spegroup.ru |
| ул. Инженерная, 4а, оф. 212     |                 |

---

Группа компаний «Научное оборудование» была образована в 1999 г. Основное направление деятельности компании – снабжение высокотехнологичным оборудованием учебных, научно-исследовательских и промышленных предприятий Сибири и Дальнего Востока России.

Мы анализируем задачи заказчика, подбираем оборудование под каждый конкретный случай, осуществляем поставку оборудования, а также оказываем технологическую и методологическую поддержку, гарантийный и послегарантийный ремонт. Некоторые наши заказчики доверяют нам полное закрытие всех потребностей своих лабораторий и в оборудовании, и в расходных материалах.

В штате компании состоят высококвалифицированные технические специалисты с собственным опытом научной работы. Наши специалисты регулярно знакомятся с новинками оборудования, с новыми подходами в приборостроении, посещают международные выставки и обучающие семинары от производителей. Для каждой задачи заказчика мы можем предложить самое современное решение. Существующие рабочие связи со многими лабораториями СО РАН позволяют оперативно привлекать к решению задач заказчика профильных научных специалистов. Кроме того, мы сами организуем мастер-классы и семинары, на которых наши заказчики имеют уникальную возможность попробовать новейшее оборудование для решения своих задач.

У нас налажены партнерские отношения со многими ведущими мировыми производителями научного и технологического оборудования как в России, так и за рубежом. У компании есть свой инженерный департамент; в случае необходимости мы можем самостоятельно разработать решение непосредственно под задачу заказчика.

Нашими заказчиками являются все академические институты Сибирского отделения Российской академии наук, многие промышленные предприятия, технологические компании, учебные

заведения высшего образования Сибирского и Дальневосточного регионов.

Кроме деятельности по поставке и разработке оборудования, мы участвуем в продвижении разработок институтов СО РАН на внешний рынок, организуем совместные проекты институтов СО РАН с разными организациями по разработке конкретных технологических и наукоёмких решений.

Мы видим своей целью построение долгосрочных взаимовыгодных отношений с каждым нашим заказчиком.

***СЕКЦИЯ 1***

**РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ**



## **ПОДСЕКЦИЯ 1.1**

### **РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН**

*Председатель – Шарыгин Г.С., проф. каф. РТС, д.т.н.;*  
*зам. председателя – Тисленко В.И., проф. каф. РТС, д.т.н.*

#### **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АНТЕННОЙ СОТОПАНЕЛИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕННЫ Q-ДИАПАЗОНА**

***С.К. Доманов, аспирант каф. СВЧ и КР***

*Научный руководитель Г.Г. Гошин, проф. каф. СВЧ и КР, д.ф.-м.н.*  
*Железнодорожск, АО «Информационные спутниковые системы»*  
*им. акад. М.Ф. Решетнева, serzh.domanov@mail.ru*

Известно, что офсетная (неосесимметричная) схема построения параболической антенны является одной из наиболее востребованных в сфере производства КА [1]. Зачастую для создания сложной зоны обслуживания с высоким коэффициентом усиления (КУ) офсетная схема построения зеркальной антенны усложняется за счет увеличения количества излучателей и, таким образом, преобразуется в многолучевую (гибридную) схему [2] построения антенны. На этапе радиотехнических проверок на АО «ИСС» антенны устанавливаются как на специализированные технологические стенды (автономные испытания), так и на сотовые панели, являющиеся корпусом (или имитирующие его) будущего КА. Для измерения РТХ апертурных антенн с высокой направленностью (более 15 дБи) на предприятии преимущественно используются автоматизированные измерительно-вычислительные комплексы ближнего поля (АИВК БП) [3]. Их использование диктуется многими причинами, подробно рассмотренными в многочисленных публикациях [4–7]. Оценка влияния как технологических стендов, так и сотовых панелей на РТХ тестируемых изделий при измерении в ближнем поле является актуальной задачей. В особенности это важно для антенн, построенных по многолучевой схеме, поскольку часть энергии от излучателей, находящихся на некотором отдалении от фокуса зеркала (в неоптимальном положении), попадает на поверхность сотовой панели, вследствие чего имеет место отраженный сигнал, вносящий

некоторый вклад в амплитудно-фазовое распределение и, как следствие, в результирующую диаграмму направленности (ДН) антенны. В данной статье рассмотрены сравнительные результаты измерений многолучевой офсетной антенны Q-диапазона на этапе отработочных испытаний, установленной на технологическом стенде, а также на сотованели.

На рис. 1 показано схематическое изображение исследуемой антенны, расположенной на технологическом стенде, предназначенном для определения наилучшего взаимного положения облучателя и рефлектора для получения РТХ, близких к расчетным. Металлические поверхности стенда и сканера укрыты пирамидальным радиопоглощающим материалом (ППМ) WAVASORB VHP-18 бельгийской фирмы Emerson&Cuming. Рефлектор и облучатель установлены на специализированные устройства – гексаподы, предназначенные для прецизионной юстировки их взаимного положения.

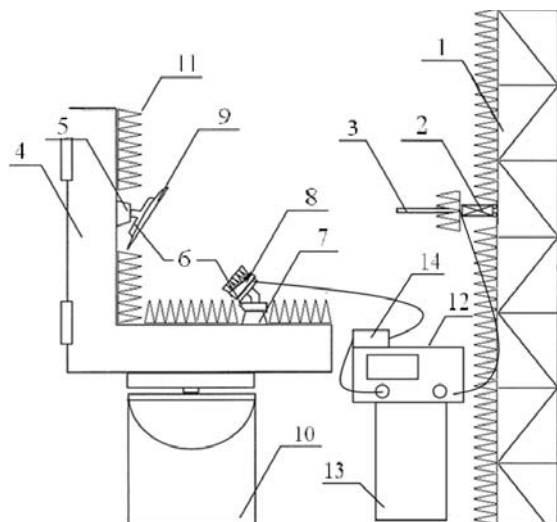


Рис. 1. Исследуемая антенна на технологическом испытательном стенде:

- 1 – вертикальный сканер; 2 – устройство перемещения антенны – зонда;
- 3 – зондовая антенна; 4 – технологический стенд для измерения РТХ;
- 5, 7 – гексапод; 6 – устройства крепления антенны на гексаподах; 8 – облучатель антенны; 9 – рефлектор антенны; 10 – опорно-поворотное устройство;
- 11 – ППМ WAVASORB VHP-18; 12 – БАЦ Rohde&Shwarz ZVA 50; 13 – вспомогательная оснастка; 14 – СВЧ-усилитель Agilent 83051A (45 МГц – 50 ГГц)

Антенна, установленная на сотованели КА, показана на рис. 2 (приведены 3 идентичные антенны в соответствии со штатной ком-



плектацией. В данной статье отражены результаты измерений только одного облучателя МЛА, расположенного ближе остальных к антенной панели). Рефлекторы антенн укрыты радиопрозрачной полиимидной пленкой (каптоном) с напылением из германия и оксида индия, защищающей его от воздействия экстремальных условий космического пространства, способных вывести из строя радиоэлектронную аппаратуру КА. В рамках данной статьи не рассматривается непосредственное влияние защитной пленки на РТХ антенны при данных конкретных условиях. В [8] подробно описываются используемые материалы радиопрозрачных пленок и их характеристики. Показано, что потери радиоизлучения составляют не более 0,02 дБ, что позволяет считать материал пленки в достаточной степени радиопрозрачным.

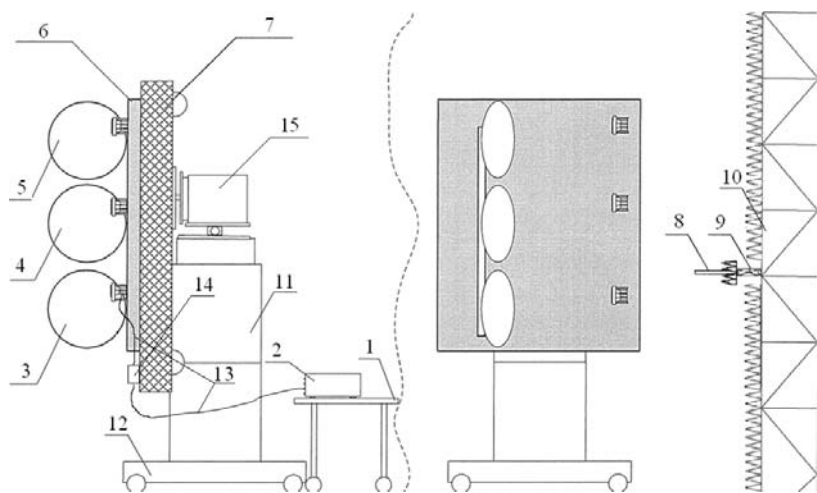


Рис. 2. Исследуемая антенна с плоским РПИ на панели КА: 1 – приборный стол; 2 – ВАЦ Rohde&Schwarz ZVA 50; 3–5 – измеряемые антенны; 6 – антенная панель; 7 – технологическая подставка; 8 – антенна-зонд; 9 – каретка зонда; 10 – вертикальный сканер; 11 – технологическая подставка; 12 – опорно-транспортировочное устройство; 13 – СВЧ-кабели; 14 – СВЧ-усилитель Agilent 83051A (45 МГц – 50 ГГц); 15 – ОПУ ORBIT AL-4572-1

На рис. 3 и 4 показаны сечения измеренных, а также теоретических ДН в азимутальной и угломестной плоскостях. Теоретические ДН получены на основе моделей, построенных в программе GRASP 9 компании TICRA (модель не учитывает наличия панели вблизи конструкции антенны).

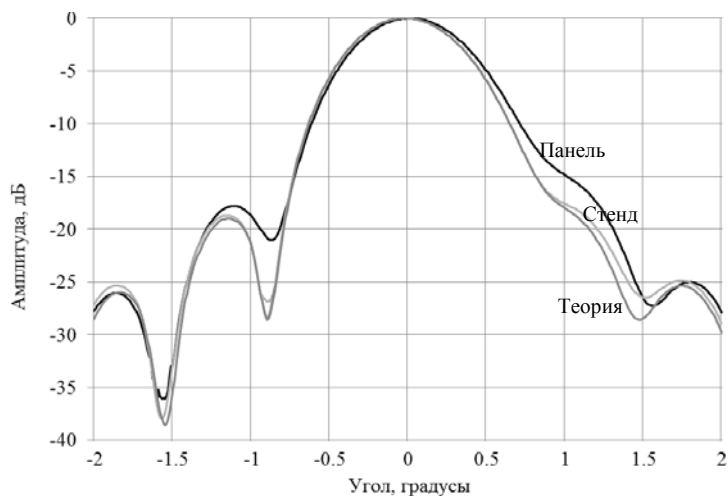


Рис. 3. Нормированные амплитудные ДН в логарифмическом масштабе.  
Азимутальная плоскость

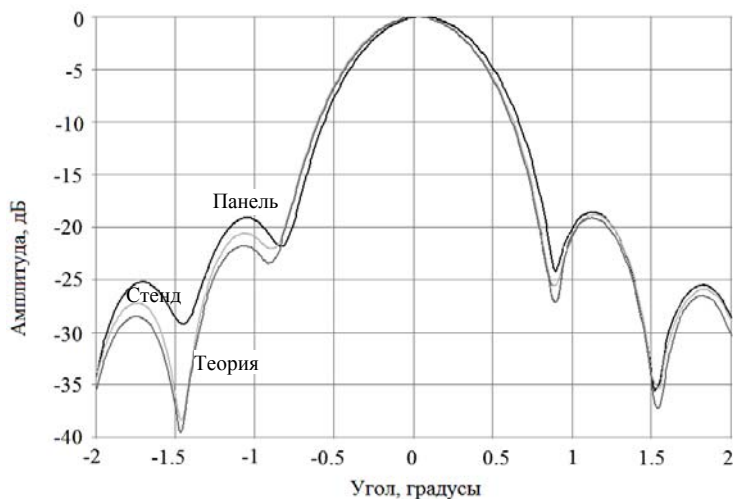


Рис. 4. Нормированные амплитудные ДН в логарифмическом масштабе. Угломестная плоскость (ДН на антенной панели в данной плоскости имеет некоторый сдвиг по углу вследствие неидеальной юстировки перед измерениями)

Ниже приведены табл. 1–3 с основными РТХ тестируемой антенны, такими как коэффициент направленного действия (КНД), уровень 1-го бокового лепестка ДН (УБЛ), ширина ДН по уровню  $-3$  дБ

(ШДН), кроссполаризационная развязка в зоне обслуживания (КПР в ЗО) и КПР по оси ДН в плоскостях азимута (Аз) и угла места (УМ) на нижней ( $F_n$ ) и верхней ( $F_v$ ) частотах рабочего диапазона.

Таблица 1

**РТХ на антенной панели**

| Частота / параметр | КНД, дБ | УБЛ, дБ |       | ШДН, град |       | КПР в ЗО, дБ | КПР по оси, дБ |
|--------------------|---------|---------|-------|-----------|-------|--------------|----------------|
| $F_n$              | 48,17   | Аз      | УМ    | Аз        | УМ    | 32,8         | 48             |
|                    |         | -14,6   | -18,8 | 0,753     | 0,720 |              |                |
| $F_v$              | 48,33   | Аз      | УМ    | Аз        | УМ    | 32           | 40,2           |
|                    |         | -15     | -18,5 | 0,739     | 0,705 |              |                |

Таблица 2

**РТХ на технологическом стенде**

| Частота / параметр | КНД, дБ | УБЛ, дБ |       | ШДН, град |       | КПР в ЗО, дБ | КПР по оси, дБ |
|--------------------|---------|---------|-------|-----------|-------|--------------|----------------|
| $F_n$              | 48,36   | Аз      | УМ    | Аз        | УМ    | 32,9         | 50,7           |
|                    |         | -17,3   | -18,9 | 0,737     | 0,717 |              |                |
| $F_v$              | 48,47   | Аз      | УМ    | Аз        | УМ    | 29,3         | 34,3           |
|                    |         | -17     | -19   | 0,730     | 0,705 |              |                |

Таблица 3

**РТХ теоретической модели**

| Частота / параметр | КНД, дБ | УБЛ, дБ |       | ШДН, град |      | КПР в ЗО, дБ | КПР по оси, дБ |
|--------------------|---------|---------|-------|-----------|------|--------------|----------------|
| $F_n$              | 48,3    | Аз      | УМ    | Аз        | УМ   | >30          | >50            |
|                    |         | -17,8   | -19,2 | 0,735     | 0,72 |              |                |
| $F_v$              | 48,4    | Аз      | УМ    | Аз        | УМ   | >30          | >50            |
|                    |         | -17,5   | -19,3 | 0,732     | 0,7  |              |                |

В результате анализа полученных данных можно сделать следующие выводы. Измеренные РТХ антенны на технологическом стенде, укрытом высокоэффективным пирамидальным РПМ (направленным остриями пирамид по нормали к падающему фронту радиоволны, что немаловажно), имеют высокую степень согласованности с теоретическими ДН. Наличие антенной панели оказывает заметное влияние на УБЛ преимущественно в плоскости перпендикулярной поверхности сотовантели (рис. 3), в которой УБЛ (на уровнях  $-14 \div -17$  дБ) выше в среднем по рабочему диапазону антенны на 2 дБ при погрешности измерений амплитудной ДН АИВК не более 0,3 дБ. ШДН на уровне  $-3$  дБ при измерениях на антенной панели превышает ШДН

при измерениях на технологическом стенде на 0,015–0,02 град при погрешности комплекса (по статистике) не более 0,01 град. Это эквивалентно потерям сигнала в ЗО для данной конкретной антенны порядка 0,15–0,2 дБ. Помимо этого, КНД антенны, вблизи которой находится сотованель, ниже, в среднем по диапазону, на 0,15 дБ, что в сумме с более широкой ДН даст потери сигнала в ЗО около 0,3–0,35 дБ. Вышеуказанные обстоятельства следует учитывать при проектировании лётных антенн КА. Необходимо создавать наиболее полные теоретические модели для электромагнитного анализа, учитывающие все элементы конструкции антенны, такие как антенная сотованель, кронштейны для крепления рефлекторов и другие вспомогательные элементы, потенциально способные повлиять на результирующие РТХ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Доманов С.К. Исследование отклонения диаграммы направленности офсетной антенны эллиптической поляризации / С.К. Доманов, А.В. Мухин // Доклады ТУСУРа. – Томск, 2016. – С. 28–30.
2. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. – М.: Высш. шк., 1988. – 432 с.
3. Доманов С.К. Сравнительный анализ результатов измерений радиотехнических характеристик антенны К-диапазона в измерительном комплексе ближнего поля в схемах с преобразованием частоты и с использованием широкополосной волоконно-оптической линии передачи / С.К. Доманов, А.В. Мухин // Матер. докл. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2016». – Томск, 2016. – С. 32–35.
4. Бахрах Л.Д. Методы измерения параметров излучающих систем в ближней зоне / Л.Д. Бахрах, С.Д. Кременецкий, А.П. Курочкин, В.А. Усин, Я.С. Шифрин. – Л.: Наука, 1985. – 272 с.
5. Balanis C.A. Modern antenna handbook // Wiley. – 2008. – 1680 p.
6. Balanis C.A. Antenna theory // Wiley. – 1997. – 959 p.
7. Захарьев Л.Н. Методы измерения характеристик антенн СВЧ / Л.Н. Захарьев, А.А. Леманский, В.И. Турчин и др. – М.: Радио и связь, 1985. – 368 с.
8. Чернятина А.А. Экспериментальное исследование радиопрозрачного материала терморегулирующего покрытия для применения в солнцезащитных экранах // А.А. Чернятина, В.А. Харламов, Р.А. Ермолаев и др. // Вестник Сибирского гос. аэрокосмического ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева. – Красноярск, 2012. – С. 153–157.

## АЛГОРИТМ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТОВ БАНКА КОРРЕЛЯТОРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СПЕКТРА СИГНАЛА

*Ю.А. Донской, аспирант ИМКЭС СО РАН*

*Научный руководитель Н.П. Красненко, д.ф-м.н., проф. ТУСУРа, г.н.с.  
ИМКЭС СО РАН, donsnoi.yuri@mail.ru*

В настоящее время самым часто используемым алгоритмом для оценки спектра сигналов является быстрое преобразование Фурье (БПФ), которое имеет как преимущества, так и недостатки. К последним можно отнести увеличение числа отсчетов выборки входного сигнала при уменьшении шага по частоте. Другим недостатком является сложность динамической перестройки при реализации на цифровых сигнальных процессорах или программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС), что может быть необходимо как для экспериментальных целей при построении гибких измерительных (спектральные анализаторы) и коммуникационных устройств (программно-определяемая радиосистема).

С другой стороны, в цифровой связи для детектирования сигнала используются согласованные фильтры (или корреляторы) [1]. И если предположить, что на входе синусоидальный сигнал, то коррелятор оценивает энергетический спектр этого синусоидального сигнала. В настоящий момент имеются работы, например [2], где банк корреляторов используется для оценки спектра входных сигналов как альтернатива БПФ. Преимуществами перед БПФ можно назвать большую гибкость за счет использования любого набора оцениваемых частот и более высокую скорость получения оценки, поскольку она не зависит от количества отсчетов входного сигнала.

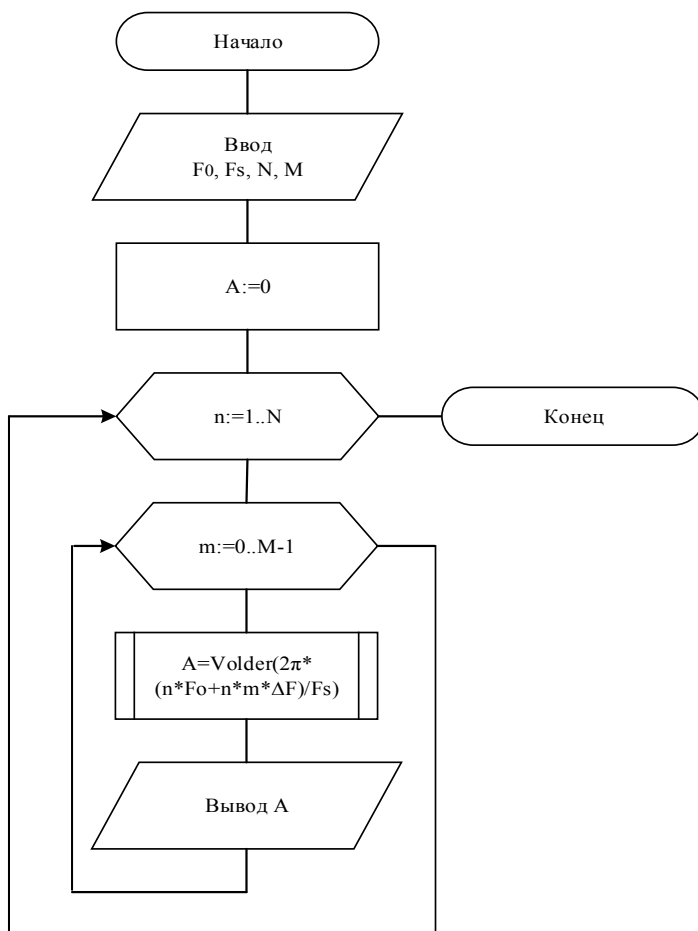
Цель работы: представить алгоритм расчета коэффициентов для банка корреляторов с возможностью динамического пересчета, предназначенный для оценки спектра сигнала. Алгоритм разрабатывался главным образом для применения в ПЛИС, для коррелятора, выполняющего оценку доплеровского сигнала.

Рассчитываемыми коэффициентами являются отсчеты синусоидальных сигналов, банк корреляторов представляет собой набор синусов и/или косинусов, отличающихся по частоте на заданный шаг.

На рис. 1 изображена блок-схема алгоритма. Входными данными служат:  $F_0$  – начальная частота,  $F_S$  – частота дискретизации системы,  $\Delta F$  – шаг по частоте,  $N$  – число используемых отсчетов входного сигнала,  $M$  – число корреляторов. Выходные данные:  $A$  – отсчет синусоидального сигнала.

Функция  $\text{Volder}(n F_0 + nm \Delta F / F_S)$  выполняет расчет значения синуса и косинуса (одновременно) через фазу. Реализуется алгоритм

22



Внутренний и внешний циклы алгоритма (см. рис. 1) представляют собой перебор по корреляторам (внутренний цикл) и по отсчетам (внешний цикл). Из блок-схемы также видно, что частоты корреляторов действительно отличаются на  $m\Delta F$  ( $m$  – номер текущего коррелятора).

Данный алгоритм не является оптимальным с точки зрения используемого количества операций (число операций алгоритма  $O(M \times N)$ ), но он является легко реализуемым на практике, не требует больших вычислительных мощностей, позволяет перестраиваться «на лету», изменять шаг по частоте вне зависимости от числа используемых выборок входного сигнала.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Склар Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М.: Вильямс, 2007. – 1104 с.
2. Красненко Н.П., Раков А.С., Раков Д.С., Шендрик Д.А. Содар на ПЛИС технологиях // 1-я Всерос. акустическая конф., секц. «Атмосферная акустика»: Москва, 6–10 октября 2014 г. – М.: РАН, 2014. – С. 20–25.
3. Volder J.E. The CORDIC trigonometric computing technique // IRE Transactions on Electronic Computers. – 1959. – Vol. EC-8, No. 3. – PP. 330–334.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА

**В.Н. Коркина**

*Научный руководитель В.Н. Федоров, доцент каф. радиотехники и информационных технологий ФТИ СВФУ  
Томск, ТУСУР, korkina.valya@mail.ru*

Углеродные волокна (УВ) представляют собой тонкие нити диаметром от 5 до 15 мкм, образованные преимущественно атомами углерода [1, 2]. Для исследования электрических и механических характеристик материалов, содержащих углеродные волокна, применяются методы неразрушающего контроля при воздействии СВЧ [3, 4].

Цель настоящей работы – исследование электрических свойств полосковой линии на основе УВ при импульсном воздействии и в диапазоне частот до 8 ГГц. Полосковая линия (ПЛ) образована из ленты углеродных волокон, фиксированных на поверхности СВЧ-диэлектрика с помощью полимерной клеящейся пленки. Проведено экспериментальное исследование такой полосковой линии.

**Описание конструкции.** Общий вид конструкции показан на рис. 1. Полоска из УВ толщиной  $d = 50$ . Соединение с измерительны-

ми приборами осуществлено посредством коаксиально-полосковых переходов. В качестве диэлектрической подложки использовался материал Флан-3.8 толщиной 2 мм, диэлектрическая проницаемость которого  $\epsilon_r = 3,8$ . Размер платы, на которой изготовлена полосковая линия,  $211 \times 23 \times 2$  мм. Волновое сопротивление отрезков подводящей полосковой линии составляло  $\approx 48,5$  Ом.

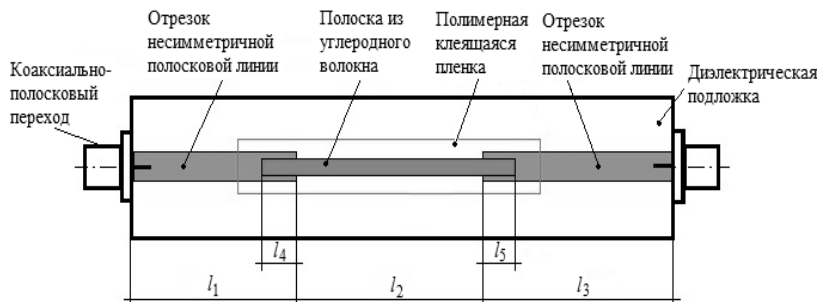


Рис. 1. Отрезок полосковой линии на основе углеродного волокна, встроенный в разрыв несимметричной полосковой линии

Два отрезка несимметричной полосковой линии (НПЛ) шириной  $W_s = 4,5$  мм имеют длину соответственно  $l_1 = l_3 = 59,5$  мм. Полоска из УВ имеет общую длину 112 мм, участки перекрытия медного проводника несимметричной полосковой линии и полосы из УВ  $l_4 = l_5 = 10$  мм, а ее часть протяженностью  $l_2 = 92$  мм плотно прижата к подложке.

**Методика экспериментальных исследований.** Измерения проводились во временной области на стробоскопическом осциллографе Tektronix DSA-8300. На рис. 2 представлена осциллограмма напряжения  $U_1(t)$  на входе устройства. На временной оси  $t$  сигнал  $U_1(t)$ , по сути являющийся рефлектограммой, можно выделить как минимум 7 участков (с I по VII), которые соответствуют определенному элементу устройства и подключающим кабелям.

Амплитуда  $U_1(t)$  на участках III, IV и V зависит от электрофизических параметров ПЛ и ПЛУВ. Следовательно, возникает возможность восстановить параметры всех частей устройства, в том числе ПЛУВ, по экспериментально полученной рефлектограмме, если построить соответствующую модель и получить теоретическую рефлектограмму  $U'_1(t)$ , близкую к экспериментальной зависимости  $U_1(t)$ . Тогда электрофизические параметры ПЛ и ПЛУВ, при которых отличие  $U'_1(t)$  и  $U_1(t)$  минимально, можно считать близкими к реальным. Тем



не менее наши исследования показали, что по одной рефлектограмме однозначно восстановить параметры полосковой линии на основе УВ затруднительно, т.к. в схеме присутствуют неоднородности (зоны II и VI), существенно влияющие на вид функции  $U_1(t)$ .

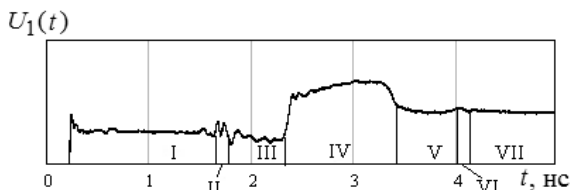


Рис. 2. Разбиение рефлектограммы на участки: I, VII – отрезки коаксиальных линий; II, VI – отражения от коаксиально-полосковых переходов; III, V – отрезки несимметричных полосковых линий; IV – линия из углеродного волокна

### ЛИТЕРАТУРА

1. Simamura S., Sindo A., Kotsuka Tsutiyama N. et al. / Carbon Fibers. –М.: Mir, 1987. – 304 p.
2. Carbon Materials for Advanced Technologies / ed. by T.D. Burchell, Pergamon: An imprint Elsevier Science, 1999. – 540 p.
3. Bakar A.S.A., Mison M.I., Ghodgaonkar D.K. et al. Comparison of electrical physical and mechanical properties of textile composites using microwave nondestructive evaluation // RF and Microwave Conference. – 2004. – RFM 2004. – PP. 164–168.
4. Sagnard F., Berthault A., Veron B. The microwave measurement of the conductivity of a small fiber with an open cavity / IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2000. – Vol. 49, No. 5. – PP. 942–948.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СДВОЕННОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТОК

*А.А. Кузьмин, студент 4-го курса ТУСУРа;*

*А.С. Раков, мл. науч. сотр. ИМКЭС СО РАН;*

*Д.С. Раков, науч. сотр. ИМКЭС СО РАН, к.т.н.;*

*И.Ю. Шеин, студент 4-го курса ТУСУРа*

*Научный руководитель Н.П. Красненко, д.ф.-м.н., проф. ТУСУРа,  
з.н.с. ИМКЭС СО РАН, kuzmich1232@gmail.com*

Актуальной задачей при создании акустических систем является исследование и анализ разрабатываемых акустических антенных решеток с целью получения оптимальных конструкций и характеристик

[1–3]. На базе ИМКЭС и ТУСУР были разработаны различные варианты мощных акустических антенных решеток, описание которых можно найти в работах [4]. Представляет интерес и использование сдвоенных излучающих антенных решеток для изучения параметрического эффекта, возникающего при распространении звука в атмосфере. В данной работе рассмотрен эксперимент по измерению диаграмм направленности одиночной антенной решетки, так и сдвоенной, состоящей из двух мощных направленных излучателей.

Для проведения экспериментальных исследований была выбрана площадка, расположенная на базе полигона ТУСУРа. Эксперимент проводился осенью 2016 г. в ясную погоду и при штилевом ветре. Экспериментальное оборудование включало в себя переносной компьютер типа ноутбук, с установленным специальным программным обеспечением; шумомер-виброметр «Экофизика-110А HF»; микрофонный предусилитель «Р200»; микрофон «ВМК-205»; акустический калибратор «АК-1000»; сдвоенную антенную решетку, состоящую из двух идентичных акустических излучателей «АИ-91М» (рис. 1).

Измерение диаграммы направленности проводилось следующим образом. Сдвоенный излучатель из двух антенных решеток располагался на поворотном механизме с градуированной шкалой на высоте 3 м от поверхности земли (до оси антенн). На расстоянии 10 м от излучателя была установлена мачта с микрофоном. Антенные решетки были подключены к компьютеру, на котором было установлено программное обеспечение для генерирования звуковых сигналов заданной частоты. К микрофону подключался шумомер, с помощью которого проводилось измерение уровня звукового давления. Звуковое давление левой и правой решеток было отрегулировано на значение 120 дБ на частоте 2500 Гц.



Рис. 1. Одиночная антенная решетка

Эксперимент проводился последовательно при излучении только левой решетки, затем только правой решетки и при излучении обеих решеток вместе. Измерения ДН антенных решеток проводились в азимутальной плоскости в диапазоне углов от  $-50^\circ$  до  $+50^\circ$  с шагом в  $2^\circ$ . Также снималась ДН разностной гармоники. Для этого решетки сдвоенного излучателя были откалиброваны на одинаковое звуковое давление на разных частотах: левая на частоте 2500 Гц, правая на частоте 2550 Гц.

В качестве примера на рис. 2 показаны теоретическая и экспериментальные ДН сдвоенного излучателя. Красным цветом (1) обозначена теоретическая ДН, синим цветом (2) – экспериментальная. Видно, что в пределах главного лепестка ДН результаты теоретического расчета и практических измерений имеют хорошее совпадение. Уровень боковых лепестков ДН в экспериментальных данных оказался выше, чем по теории.

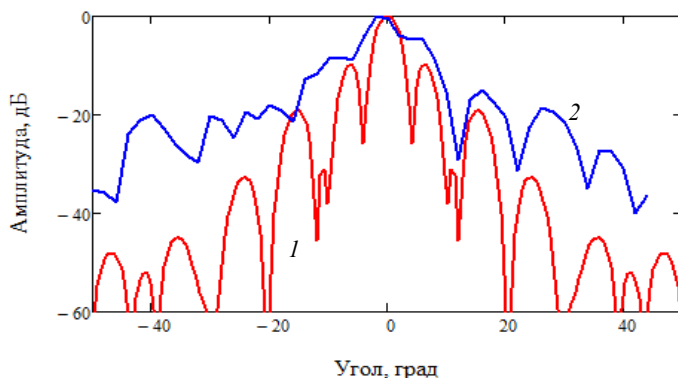


Рис. 2. Теоретическая (1 – нижняя, красный цвет) и экспериментальная (2 – верхняя, синий цвет) ДН сдвоенного излучателя

Таким образом, результаты измерения ДН сдвоенной антенной решетки показали хорошее соответствие в пределах главного лепестка диаграммы направленности, в то время как боковое излучение оказалось существенно выше теоретического расчета. Очевидно, это связано с тем, что единичные элементы решеток имеют различную амплитудно-частотную характеристику в пределах 10–15% погрешности изготовления элементов. Также на результаты экспериментальных исследований очень сильное влияние оказывают условия проведения эксперимента, в данном случае это уровень фонового окружающего шума, наличие отражающих поверхностей, которые вносят свой вклад в итоговый уровень принимаемого сигнала.

Результаты получены в рамках выполнения проекта ПЧ-14/17 (раздел 07.08) государственного задания Минобрнауки России.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Bradley S.G.* Atmospheric acoustic remote sensing: principles and applications. CRC Press / Taylor&Francis Group. – 2007. – 296 p.
2. *Atmospheric Systems Corporation* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minisodar.com>, свободный\_ (дата обращения: 30.06.2015).
3. *Красненко Н.П.* Сверхширокополосные сигналы в радиолокационных и акустических системах: конспекты лекций / Науч. совет по распространению радиоволн. – Муром: Изд. полиграфический центр МИ ВлГУ, 2006. – С. 96–115.
4. *Красненко Н.П., Раков А.С., Раков Д.С., Сандуков Ц.Д.* // Приборы и техника эксперимента. – 2012. – №3. – С. 129–130.

### ЗАТУХАНИЕ В КАНАЛЕ СВЯЗИ ЗАБОЙНОЙ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

*А.Б. Мирманов*

*Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина,  
Астана, Казахстан, [mirmanov.a@mail.ru](mailto:mirmanov.a@mail.ru)*

Геофизические телеметрические системы предназначены для измерения координат и геофизических параметров забоя и выдачи их на дневную поверхность по каналу связи. Существующие каналы связи – электромагнитный и гидравлический – отличаются слабой энергетической эффективностью, так как большое затухание в проводящей среде требует высокого уровня мощности излучателя. В предлагаемом канале связи [1] сигнал измерительной аппаратуры бурового ствола излучается сверхвысокочастотным передатчиком [2] и в виде радиоимпульсов передается по буровой трубе, как по волноводу с заперделными по частотному диапазону параметрами. Высокое затухание в тракте и гетерогенность среды требуют специальных исследований для проектирования приёмопередающей аппаратуры. В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований затухания и формы огибающей и даются рекомендации для определения технических характеристик приёмника.

Ослабление сигнала в тракте в зависимости от частоты исследовалось на экспериментальной установке [2]. В качестве имитационной модели канала использовались заполненные водой буровые трубы разной длины между волноводными разъёмами панорамного измерителя Р2-61. Десять серий экспериментов содержали до 50 частотных точек. На рис. 1 приведены усреднённые зависимости затухания сиг-

нала от частоты в трубах диаметром 100 мм, длиной 2 м, заполненных водой на четверть (1), наполовину (2) и полностью (3).

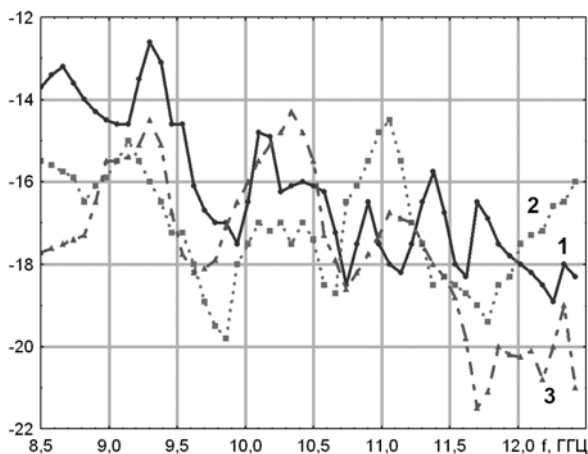


Рис. 1. Зависимости затухания от частоты

Для исследования формы огибающей микроволнового сигнала использовался передатчик [2] с детекторной головкой, подключённой к осциллографу. Серии экспериментов также проводились для модели канала в виде труб с водой, имитировавших буровой раствор. На рис. 2 приведены усреднённые временные графики импульсных сигналов для различных условий распространения радиоволн в трубах при тех же условиях.

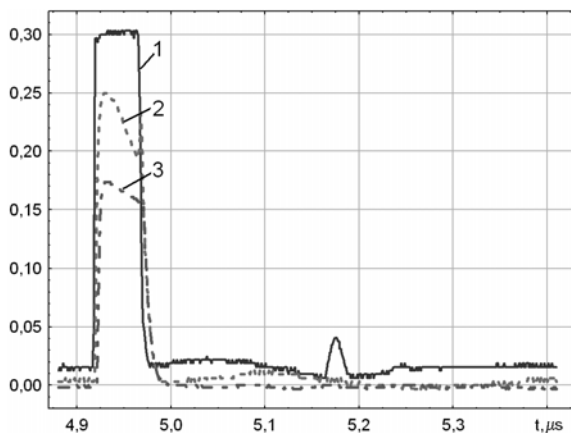


Рис. 2. Осциллограммы огибающей радиоимпульса

Анализ экспериментальных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Затухание в канале связи увеличивается с ростом частоты. Поэтому работа на нижних частотах диапазона предпочтительнее.

2. Характеристики радиоканала почти не отличаются от электромагнитного. Зависимости затухания от частоты похожи и содержат окна радиопрозрачности ( $\sim 9, 11$  ГГц).

3. Из-за влияния проводящей среды новый канал связи отличается от всех существующих вносимым затуханием более чем 20 дБ/м. В незаполненном канале затухание несущественно.

4. С ростом проводимости канала и затухания в тракте наблюдается сильный спад плоской вершины импульса. Использование модуляции переднего фронта предпочтительнее.

Таким образом, проведённые экспериментальные исследования параметров канала связи позволили определить требования к передающему и приёмному устройству для использования нового канала связи передачи телеметрической информации непосредственно в процессе бурения скважин.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Pushkarev V.P., Kochumeev V.A., Stukach O.V.* X-Band Pulse Generator Based on Gunn Diode. In Proceedings of IFOST2012 // The 7th International Forum on Strategic Technology. September 17–21, 2012 / Tomsk Polytechnic University. – Vol. 1. – PP. 555–556. – <http://ieeexplore.ieee.org/document/6357673/>
2. *Kochumeev V.A., Mirmanov A.B., Pushkarev V.P., Stukach O.V.* Problems in design of the new microwave geophysical measuring system // 19-th International Conference on Microwave Radar and Wireless Communications (MIKON). 21–23 May 2012. – Vol. 2. – PP. 516–518. – <http://ieeexplore.ieee.org/document/6233570/>

### МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНОГО РАЗНЕСЕНИЯ НА ОСНОВЕ FSK-МОДУЛЯЦИИ

*С.А. Михайленко, студентка*

*Научный руководитель В.А. Кологривов, доцент каф. РТС ТУСУРа*

**Постановка задачи исследования.** Использование многоантенных технологий направлено на решение двух задач:

- повышение качества связи за счет пространственно-частотного, пространственно-временного, пространственно-кодowego разнесения;
- увеличение скорости передачи при использовании пространственного мультиплексирования [1].

**Результаты исследования и анализ.** На рис. 1 приведена упрощенная функциональная схема многоантенной технологии на основе BFSK.

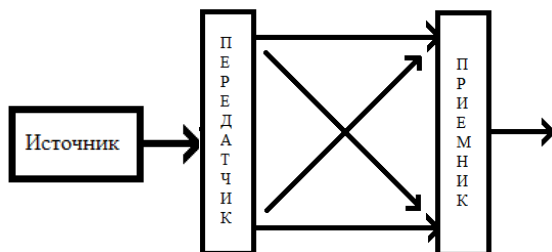


Рис. 1. Упрощенная функциональная схема многоантенной технологии на основе BFSK

Исследование проводилось в относительных масштабах частоты и времени. Длительность модельного эксперимента составляла  $10^4$  бит. Длительность бита равна  $\tau=1$ . Разнос несущих частот составлял  $\pi$  рад/с ( $\omega_1 = 10\pi$ ,  $\omega_2 = 11\pi$ ).

Модельное исследование было проведено при наличии:

- одной передающей и одной приемной антенн (SISO);
- одной передающей и двух приемных антенн (SIMO);
- двух передающих и одной приемной антенны (MISO);
- двух передающих и двух приемных антенн (MIMO).

Результаты модельного исследования приведены на рис. 2–5.

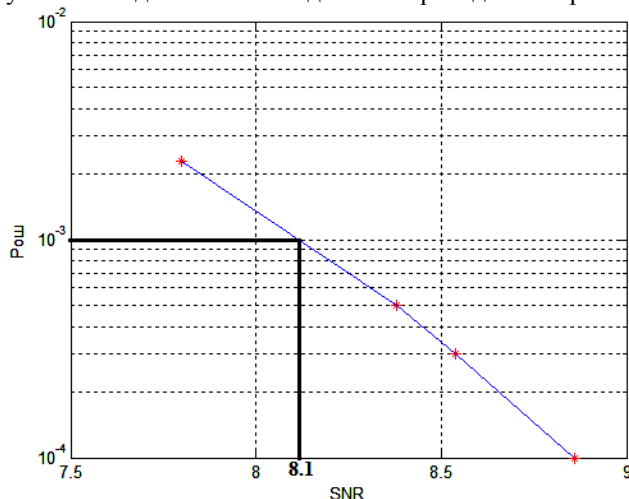


Рис. 2. График помехоустойчивости BFSK-модема при SISO

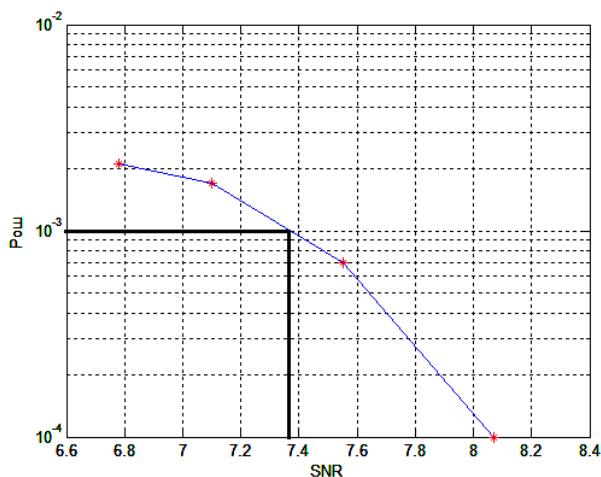


Рис. 3. График помехоустойчивости BFSK-модема при SIMO

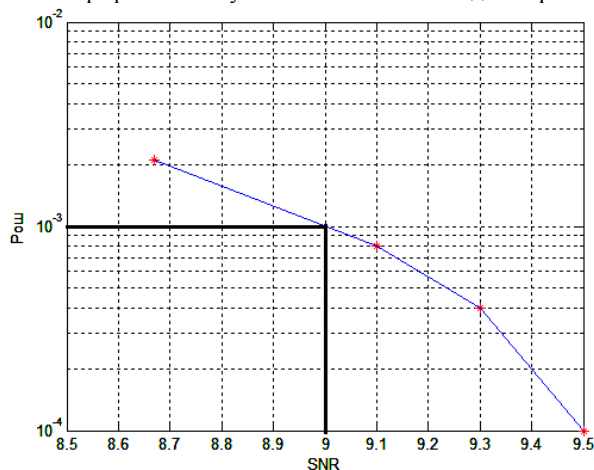


Рис. 4. График помехоустойчивости BFSK-модема при MISO

Для технологии – SISO (рис. 2), при вероятности появления ошибок  $10^{-3}$ , отношение сигнал/шум составило 8,1 дБ, для технологии – SIMO (рис. 3), при вероятности появления ошибок  $10^{-3}$ , отношение сигнал/шум составило 7,35 дБ. Для технологии – MISO (рис. 4), при вероятности появления ошибок  $10^{-3}$ , отношение сигнал/шум составило 9 дБ и для технологии – MIMO (рис. 5), при той же вероятности появления ошибки, отношение сигнал/шум приблизительно составило 7,6 дБ.



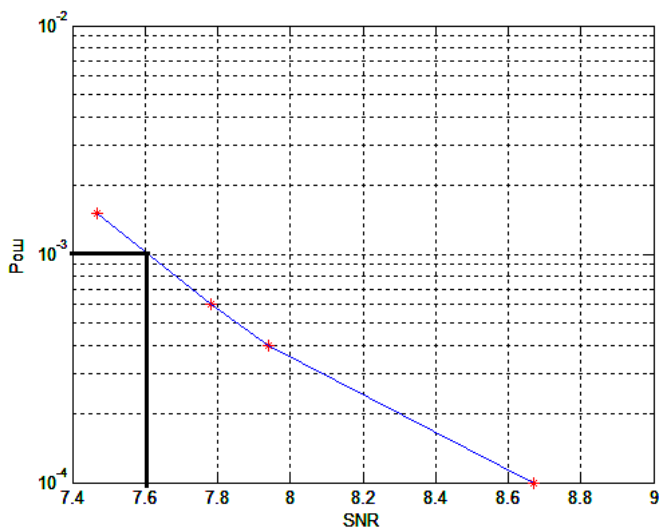


Рис. 5. График помехоустойчивости BFSK-модема при MIMO

Наибольший выигрыш по помехоустойчивости дает технология с одной передающей и несколькими приемными антеннами, так как вероятность одновременных замираний в каналах распространения низкая. Худшие результаты по помехоустойчивости наблюдаются при приеме сигналов с нескольких передающих антенн, так как при этом возрастает уровень разностных продуктов [2], которые при неортогональном разнесении попадают в полосу пропускания ФНЧ-приемника. Применение в такой ситуации технологии MIMO при существенных аппаратных затратах не дает значимого выигрыша.

**Заключение.** Единственной из многоантенных технологий при пространственно-частотном разнесении каналов передачи, которую можно рекомендовать для улучшения помехоустойчивости, является технология SIMO.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Многоантенные технологии (MIMO) в LTE* [Электронный доступ]. – <http://studall.org/all2-155287.html>
2. *Михайленко С.А.* Влияние разностных продуктов в многочастотных системах передачи. – Томск.

## СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТ ТЕРМИНАЛОВ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

*Н.В. Собко, магистрант каф. РТФ ТУСУРа*

*Научный руководитель Г.Н. Якушевич, доцент каф. РТС, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР*

Рассмотрены этапы разработки синтезатора частоты (СЧ) в качестве гетеродина терминалов мобильной связи с шагом 1 МГц на диапазон частот от 1,9 до 2,1 ГГц с быстродействием не хуже 5 мс и уровнем фазовых шумов на отстройке 1 кГц не хуже 85 дБн/Гц. На основании проведенного обзора методов построения СЧ и требований ТЗ можно сделать вывод, что для получения высокой чистоты спектра выходного сигнала, требуемого шага сетки и быстродействия следует использовать СЧ, построенный по косвенному методу на основе импульсной фазовой автоподстройки частоты (ИФАПЧ). Поскольку в ТЗ не предъявляется жестких требований к быстродействию СЧ, с целью простоты реализации было решено использовать петлю ИФАПЧ с делителем постоянного коэффициента деления (ДПКД).

Для начала нужно выбрать чип ИФАПЧ, обеспечивающий выполнение требований по уровню фазовых шумов и частоте сравнения на ЧФД. Поскольку предполагается использование в кольце делителя с целочисленным коэффициентом деления, то частота сравнения на ЧФД будет определять шаг сетки частот, коэффициенты деления делителей ДФКД и ДПКД должны быть равны 10 и 1900...2100. Выбираем ИФАПЧ на чипе ADF4106

Перейдем к выбору ГУНН. Исходя из требуемого синтезируемого диапазона частот и минимального фазового шума, остановим свой выбор на KSV-5V2000B.

На рис. 1 представлена структурная схема спроектированного синтезатора частот, состоящая из 3 функциональных блоков.

1-й блок включает внутренний кварцевый генератор и имеет возможность подключить внешний генератор, переключение между генераторами осуществляется ключом на полевых транзисторах.

2-й блок включает микросхему ADF4106, ФНЧ, аттенюатор и усилитель на микросхеме TQR369185. На микросхеме ADF4106 поступает два сигнала – один с опорного генератора, второй с ГУНа. С помощью ДФКД и ДПКД происходит уравнивание частоты и на выходе микросхемы появляется управляющее напряжение, равное разности фаз между опорным сигналом и сигналом с ГУНа. Аттенюатор нужен для устранения влияния нежелательного сигнала. Усилитель TQR369185 нужен для обеспечения нужного уровня по мощности.

3-й блок состоит из микроконтроллера STM32F205, который осуществляет управление микросхемой ADF4106 и ключом.

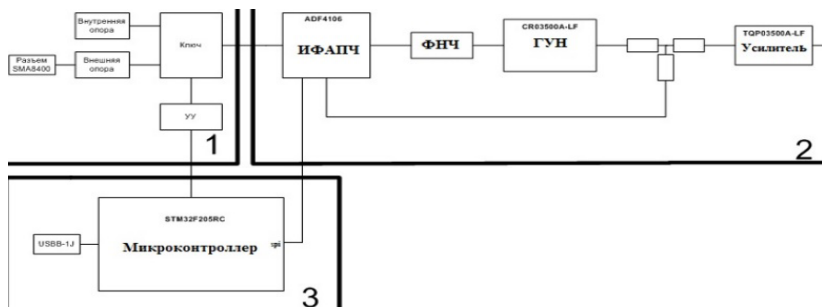


Рис. 1. Структурная схема синтезатора частот

### Результаты моделирования

Моделирование предложенного схемного решения проводилось для определения основных характеристик: фазовые шумы СЧ; скорость перестройки СЧ.

На рис. 2 изображена схема синтезатора частот, моделируемая в программе ADSimPLL.

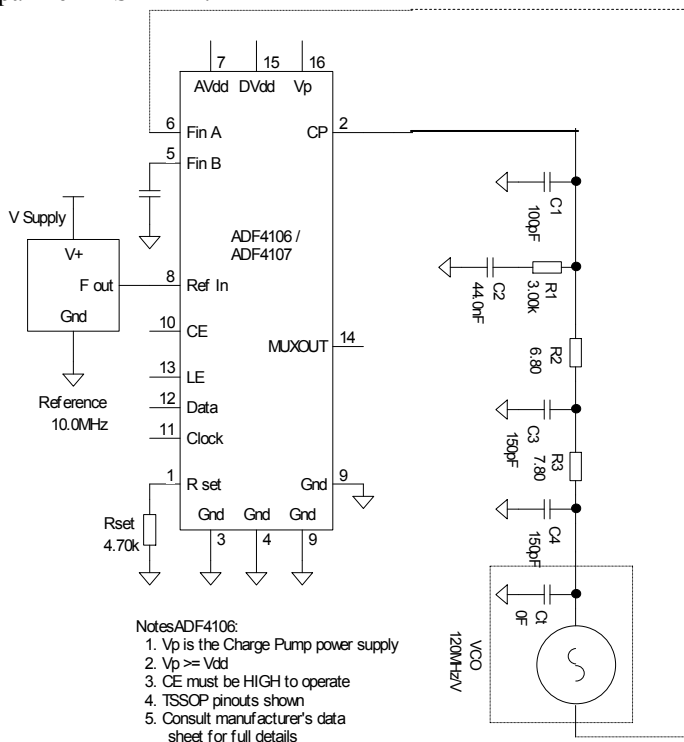


Рис. 2. Упрощенная функциональная схема СЧ

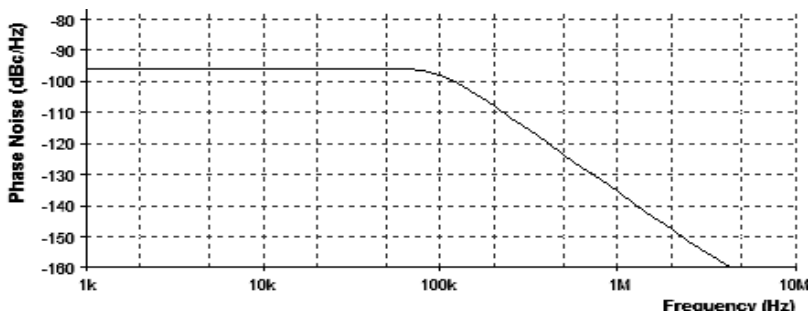


Рис. 3. Фазовые шумы на частоте 2 ГГц

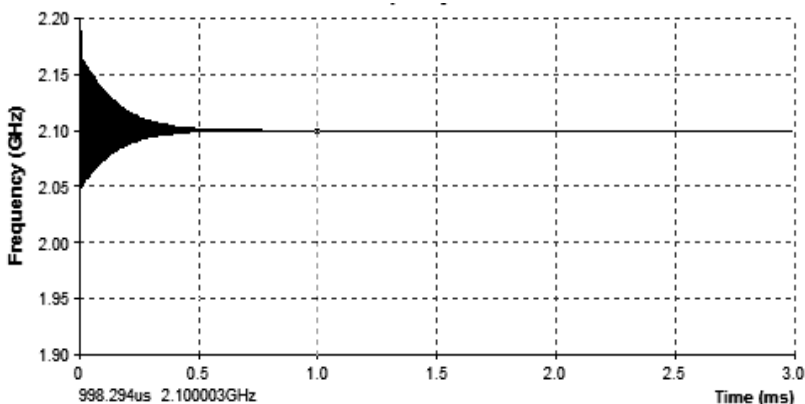


Рис. 4. Переходной процесс в петле ИФАПЧ при переключении с 1900 на 2100 МГц

Моделирование показало, что исследованные СЧ с ДПКД позволяет выполнить требования ТЗ по обеспечению быстродействия 5 мс при смене частот в рамках заданного диапазона 1,9...2,1 ГГц с частотой среза ФНЧ, равной 70 кГц. Также СЧ позволяет обеспечить уровень фазовых шумов равным 95 дБн/Гц, что отвечает требованиям ТЗ.

Далее была составлена электрическая принципиальная схема, произведена трассировка платы и был выполнен заказ платы.

**Результаты экспериментального исследования.** После монтажа платы синтезатора частоты были получены следующие характеристики: фазовые шумы СЧ (рис. 5) и скорость перестройки СЧ (рис. 6).

**Заключение.** В ходе проделанной работе был разработан синтезатор частот на основе ИФАПЧ для использования в качестве гетеродина терминалов мобильной связи на диапазон частот 1,9...2,1 ГГц.

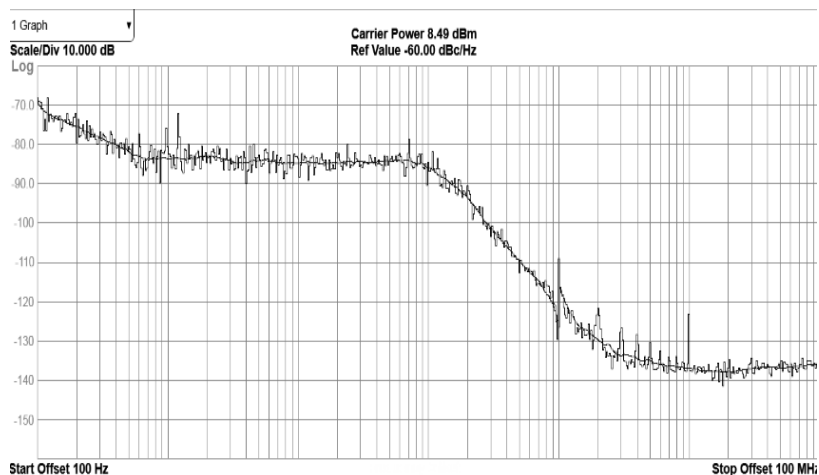


Рис. 5. Фазовые шумы на частоте 2 ГГц

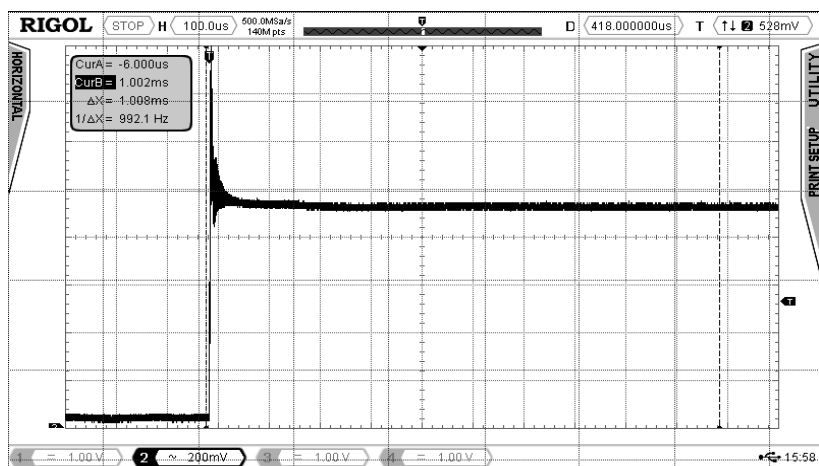


Рис. 6. Переходной процесс в петле ИФАПЧ при переключении с 1900 на 2100 МГц

### ЛИТЕРАТУРА

1. Белов Л. Радиочастотные компоненты. Синтезаторы стабильных частот // Электроника: НТБ. – 2004. – № 2. – 44 с.
2. Синтезаторы частот для радиосвязи и радиовещания. Типы, основные параметры, технические требования и методы измерений. – М.: ГОСКОМ СССР по стандартам, 1984. – 42 с.

3. *Микроконтроллер STM32F205* [Электронный ресурс] – Режим доступа [http://www.st.com/content/st\\_com/en.html](http://www.st.com/content/st_com/en.html)

4. *Левин В.А., Малиновский В.Н., Романов С.К.* Синтезаторы частот с системой импульсно-фазовой автоподстройки. – М.: Радио и связь, 1989. – 232 с.

5. *ADIsimPLL* [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.analog.com/pll/ADIsimPLL>

## **КВАДРАТИЧНЫЙ ДИОДНЫЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО ПРИЕМНИКА**

***С.Е. Тарасов, Б.В. Уткин, студенты каф. РТС***

*Научный руководитель А.В. Филатов, проф. каф. ТОР, д.т.н.*

*Томск, ТУСУР, [filsash@mail.ru](mailto:filsash@mail.ru)*

В микроволновых радиометрических приемниках для выделения огибающей принимаемого сигнала используются амплитудные детекторы с квадратичной характеристикой, в которых происходит преобразование поступающей на него мощности в результирующий ток. Основным требованием, которое предъявляется к данному типу детекторам, является выполнение квадратичного закона в широком динамическом и частотном диапазонах. На настоящий момент созданы различные схемные решения детекторных секций квадратичного детектирования, включая использование для этих целей схем аналогового умножения, других видов преобразования сигналов, цифровых методов обработки [1, 2]. Тем не менее применение в качестве активного элемента детекторной секции диодного элемента не утратило своей актуальности. Это связано с такими преимуществами, как высокая чувствительность и хорошие частотные характеристики, наряду с простотой конструкции.

Целью настоящей работы является исследование схем квадратичного детектора на основе диода и операционного усилителя с инвертирующим и неинвертирующим включением.

Для проведения экспериментов были рассмотрены две принципиальные схемы квадратичных диодных детекторов (рис. 1), в которых используются операционные усилители с неинвертирующим и инвертирующим включениями. Выбраны компоненты схем и произведен расчет номиналов. Далее с использованием программного пакета Altium Designer 14 было выполнено проектирование печатных плат и произведена сборка элементов на платах.

Чертёж печатной платы диодного детектора на основе операционного усилителя с инвертирующим включением представлен на

рис. 2. Для операционного усилителя был использован корпус SOIC-8, для диода – SOT-23. Во входной секции были использованы резисторы и конденсаторы с размерами  $0,3 \times 0,6$  мм, а для остальных каскадов –  $0,6 \times 0,8$  мм. Входная микрополосковая линия передачи была рассчитана по формуле, представленной в [3], исходя из того, что толщина диэлектрика (стеклотекстолита) составляет 0,5 мм, диэлектрическая проницаемость 4,7, а волновое сопротивление 50 Ом, толщина металлизации 35 мкм.

На рис. 2 представлена законченная принципиальная схема квадратичного детектора с последовательным инвертирующим включением двух операционных усилителей.

Если записать зависимость выходного (выпрямленного) напряжения  $U_{\text{вых}}$  детектора от напряжения на входе  $U_{\text{вх}}$  в виде  $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}^\alpha$ , то «идеальному» к.д. соответствует  $\alpha = 2$ .

Для получения точных количественных данных о параметрах к.д. нами были выполнены измерения зависимости выходного напряжения детектора от напряжения на входе. Исследовался детекторный диод, работающий с нулевым смещением. Измерения проводились на частоте 1–50 МГц, на гармоническом (без модуляции) сигнале, сопротивление нагрузки 250 кОм.

Методика измерения коэффициента квадратичности  $\gamma$  следующая. Проводились измерения зависимости выходного напряжения квадратичного детектора от входного на частоте 25 МГц осциллографом DSO-X 2002A. Действующее значение коэффициента квадратичности измерялось для следующих интервалов изменения входного напряжения:  $V_{\text{in}}^{i+1}/V_{\text{in}}^i = 2$ . Таким образом, получилось 5 интервалов в диапазоне входных напряжений 10–160 мВ. Значение  $\gamma$ , соответствующее начальной точке  $i$ -го интервала, определяется путём решения уравнения  $V_{\text{in}}^{i+1}/V_{\text{in}}^i = 2^\gamma$ .

Как показали эксперименты, схема с инвертирующим включением операционного усилителя обладает более стабильным коэффициентом  $\gamma$  во всём динамическом и частотном диапазонах (рис. 3).

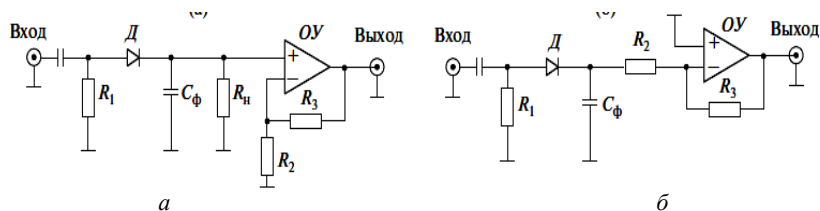


Рис. 1. Упрощённая принципиальная схемы неинвертирующего (а) и инвертирующего (б) включения операционного усилителя

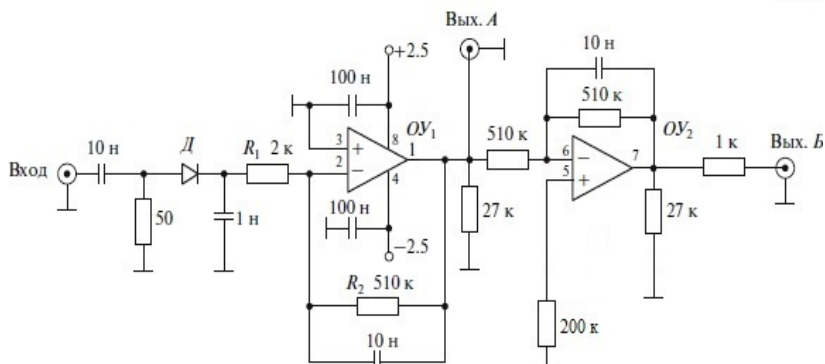


Рис. 2. Принципиальная схема готового диодного детектора с инвертирующим включением ОУ: ОУ<sub>1,2</sub> – AD8542 (soic-8), Д – HSMS2852 (sot-23)

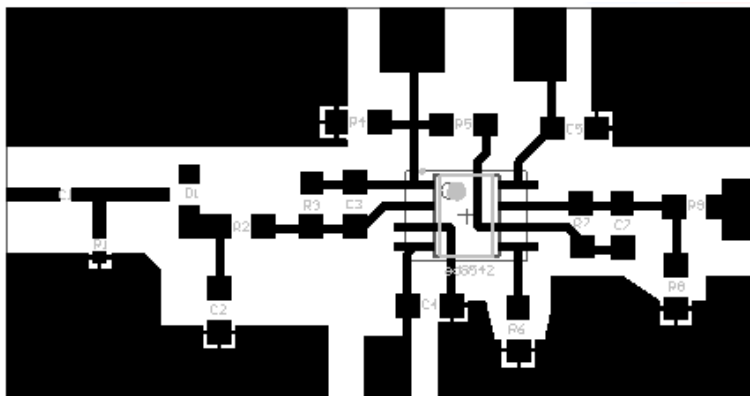


Рис. 3. Топология печатной платы для инвертирующего включения ОУ

### ЛИТЕРАТУРА

1. Брагин И.В., Михайлов В.Ф., Брагин С.И. и др. Микроволновая аппаратура дистанционного зондирования поверхности Земли и атмосферы. – СПб.: ГУАП, 2001. – 241 с.
2. Есепкина Н.А., Корольков Д.В., Парийский Ю.Н. Радиотелескопы и радиометры / под ред. Д.В. Королькова. – М.: Наука, 1973. – 416 с.
3. Фуско В. СВЧ-цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.



# СИСТЕМА СИНХРОНИЗАЦИИ ШКАЛ ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТОВОЛОКОННЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

*Д.В. Тимошин, студент каф. РТС*

*Научный руководитель В.Г. Корниенко, с.н.с. НИИ РТС*

*Томск, ТУСУР, d.v.timoshin@mail.ru*

В современном мире, с развитием цифровых систем коммутации и средств передачи информации, синхронизация стала иметь большое значение в цифровом оборудовании [1]. Постоянное улучшение радиоэлектронных систем приводит к увеличению требований к точности синхронизации шкал времени (ШВ), создаваемых в пространственно разнесенных объектах. Эти объекты могут находиться на разном расстоянии друг от друга и должны реагировать на внешние события. Для синхронизации временных шкал, в качестве линии связи, можно использовать различные варианты линий, но моя задача состоит в создании макета для синхронизации ШВ с использованием оптоволоконных линий передачи данных.

Синхронизация временных шкал используется для того, чтобы все компоненты системы согласованно работали в единой ШВ [2]. На рис. 1 приведена структурная схема аппаратуры синхронизации шкал времени.

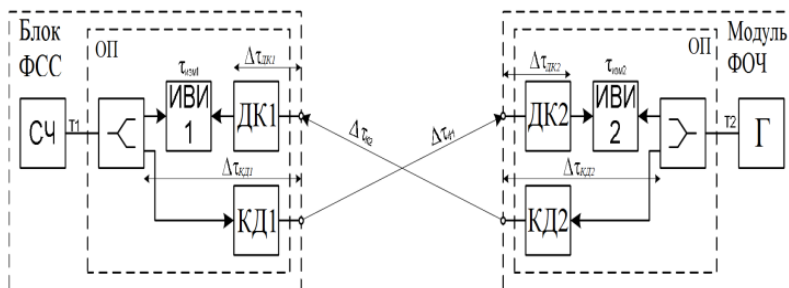


Рис. 1. Структурная схема аппаратуры синхронизации ШВ

Способ данного метода синхронизации заключается в следующем. Есть формирователь синхросигналов (ФСС), содержащий в своем составе стандарт частоты, а также есть несколько формирователей опорных частот (ФОЧ), расположенных в разнесенных в пространстве приемных пунктах. В ФОЧ установлен измеритель временных интервалов, который измеряет задержку между синхросигналом, вырабатываемым из частоты местного генератора, и синхросигналом, прошедшим по линии связи от ФСС до ФОЧ. Вводится обратный канал пере-

дачи синхросигнала от ФОЧ до ФСС. На стороне ФСС, также в соответствующем измерителе временных интервалов, измеряется задержка между синхросигналом, вырабатываемым из частоты стандарта частоты ФСС, и синхросигналом, прошедшим по линии связи от ФОЧ до ФСС.

На рис. 2 приведен график, поясняющий формирование задержек между двумя ШВ в разнесенных в пространстве пунктах.

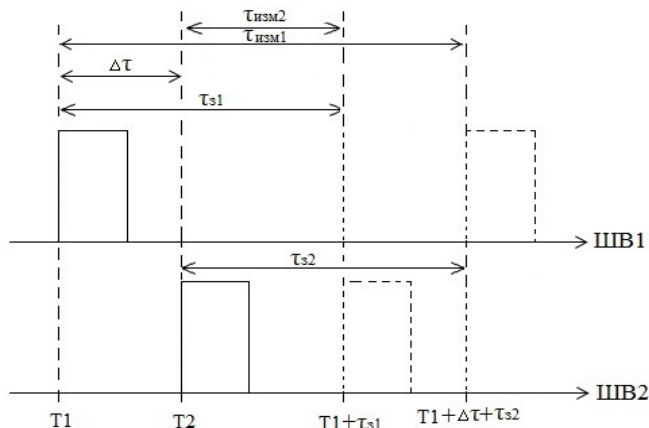


Рис. 2. Формирование задержек между двумя ШВ

В общем виде рассогласование ШВ между двумя пунктами можно записать в виде

$$\Delta\tau = T_2 - T_1,$$

где  $T_1$  и  $T_2$  – моменты формирования метки времени в каждом из пунктов.

Путем регулировки времени формирования ШВ необходимо стремиться к нулевому значению  $\Delta\tau$  либо учитывать рассогласование  $\Delta\tau$  в измерениях.

Для этого в обоих пунктах в ИВИ необходимо измерять промежуток времени между своей меткой времени (МВ) и началом МВ, принятой с другого пункта:

$$\tau_{изм1} = \Delta\tau_{32} + \Delta\tau, \quad (1)$$

$$\tau_{изм2} = \Delta\tau_{31} - \Delta\tau,$$

где  $\Delta\tau_{31} = \Delta\tau_{кл1} + \Delta\tau_{к1} + \Delta\tau_{д2}$  – время распространения МВ1 через кодер КД1, канал 1, декодер ДК1;  $\Delta\tau_{32} = \Delta\tau_{кл2} + \Delta\tau_{к2} + \Delta\tau_{дк1}$  – время распространения МВ2 через кодер КД2, канал 2, декодер ДК1.

Тогда оценку рассогласования ШВ в двух пунктах можно записать в виде

$$\Delta\bar{\tau} = \frac{\tau_{\text{изм } 1} - \tau_{\text{изм } 2}}{2}.$$

Или, представляя из формулы (1),

$$\Delta\bar{\tau} = \frac{\tau_{32} + \Delta\tau - \tau_{31} + \Delta\tau}{2} = \Delta\tau_3 + \Delta\tau.$$

Выражая разницу времен распространения МВ1 и МВ2 через

$$\Delta\tau_3 = \tau_{32} - \tau_{31} = \Delta\tau_K - \Delta\tau_{\text{апп } 1} + \Delta\tau_{\text{апп } 2},$$

где  $\Delta\tau_K = \Delta\tau_{K2} - \Delta\tau_{K1}$ ,  $\Delta\tau_{\text{апп } 1} = \tau_{\text{кд } 1} + \Delta\tau_{\text{кд } 2}$ ,  $\Delta\tau_{\text{апп } 2} = \tau_{\text{кд } 2} + \Delta\tau_{\text{кд } 1}$ ,  
получаем выражение для оценки рассогласования ШВ:

$$\Delta\bar{\tau} = \Delta\tau + \frac{\Delta\tau_3}{2} + \Delta\tau_{\text{изм}}.$$

Из этого выражения видно, что на оценку рассогласования ШВ влияют:

- разница каналов распространения МВ;
- ошибки измерения интервалов между МВ.

В общем виде рассогласование появляется между двумя ШВ в разнесенных в пространстве пунктах. Путем регулировки времени формирования ШВ в приемных пунктах нужно стремиться к нулевому значению их разности [3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Синхронизация* телекоммуникационных сетей [Электронный ресурс]. – Режим доступа [http://www.unitest.com/pdf/sinhro\\_det.pdf](http://www.unitest.com/pdf/sinhro_det.pdf) (дата обращения: 20.02.2017).
2. *Одуан К.* Измерение времени / К. Одуан, Б. Гипо. – М.: Техносфера, 2002. – 400 с.
3. *Танцай П.И., Корниенко В.Г.* Экспериментальные исследования точности синхронизации шкал времени в пространственно разнесенных пунктах методом запросной радиолокации // Доклады ТУСУРа. – 2008. – № 2 (18), ч. 2, Декабрь. – С. 25–31.

### О ДИСПЕРСИОННЫХ ИСКАЖЕНИЯХ СВЕРХКОРОТКОГО ХАОТИЧЕСКОГО РАДИОИМПУЛЬСА В МЕЖПЛАНЕТНОЙ ПЛАЗМЕ

**Ю.С. Худышев, м.н.с.**

*Научный руководитель Г.М. Стрелков, д.ф.-м.н., проф.  
ФИРЭ им. В.А. Котельникова, РАН, Фрязино, Моск. обл.*

Кратко изложены результаты анализа дисперсионных искажений радиоимпульсного сигнала со специфическими начальными характе-

ристиками в холодной плазменной среде при интегральной электронной концентрации  $TEC = \int_z N_e(z) dz$  ( $N_e$  – локальная электронная концентрация;  $z$  – длина пути), характерной для межпланетных трасс.

Излучаемый импульс представляет собой смесь двух подимпульсов равной длительности  $t_{\text{и}}$  – хаотического и частотно-модулированного (далее – ЧМ-импульса). Соответственно, его поле  $E$  есть сумма полей подимпульсов  $E_1$  и  $E_2$ . Поле первого подимпульса задается как решение стохастического дифференциального уравнения вида

$$\ddot{E}_1(t) + (\omega_p)^2 E_1(t) = (\omega_p)^2 (\varepsilon - E_1^2(t)) \dot{E}_1(t) + \omega_p^2 \sqrt{2D} \xi(t). \quad (1)$$

Здесь  $t$  – время;  $\xi(t)$  – нормированный гауссовский белый шум, моделируемый по [1];  $D$  – константа, задающая его интенсивность;  $f_p$  – собственная частота осциллятора;  $\omega_p = 2\pi f_p$ ;  $\varepsilon < 1$  – параметр, определяющий степень квазигармоничности колебаний напряженности поля в подимпульсе в отсутствие шума. При этом в одном случае величина  $f_p$  полагалась постоянной, в другом – изменяющейся во времени по закону  $f_p(t) = f_p - 0,5\Delta f(1 - t/t_{\text{и}})$ .

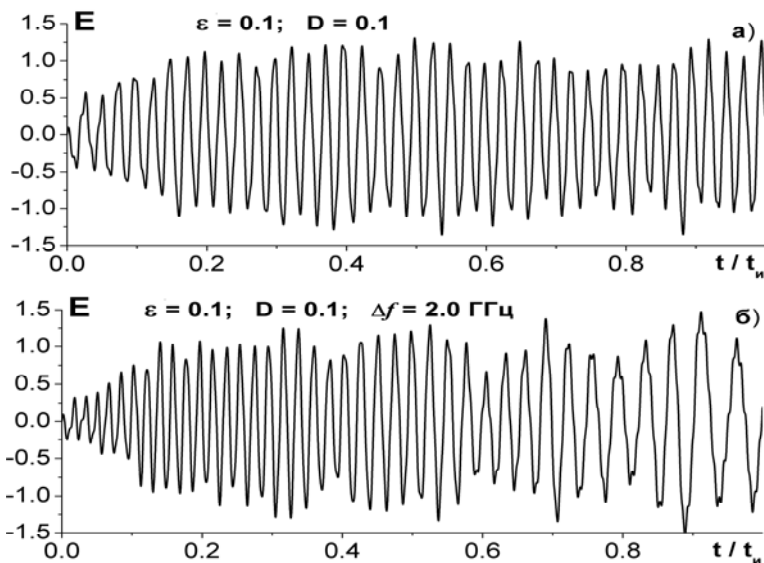


Рис. 1. Излучаемый импульс при постоянной (а) и линейно изменяющейся во времени (б) резонансной частоте осциллятора ( $f_p = 2$  ГГц,  $\Delta f = 2$  ГГц)

Поле второго подымпульса описывалось выражением

$$E_2(0;t) = E_{02} \sin \left[ \frac{2\omega_H(1 - \sqrt{1 - (t/t_H)(1 - (\omega_H/\omega_B)^2)})}{1 - (\omega_H/\omega_B)^2} \right], 0 \leq t \leq t_H, \quad (2)$$

где  $E_{02}$  – амплитуда ЧМ-подымпульса;  $\omega_H = 2\pi f_H$  и  $\omega_B = 2\pi f_B$  – его нижняя и верхняя мгновенные круговые частоты. На рис. 1 и 2 даны примеры рассмотренных в работе импульсов и их спектров. Цифрами 1 и 2 на поле рис. 2 указаны вклады, вносимые хаотическим и ЧМ-импульсами в спектр излучаемого импульса.

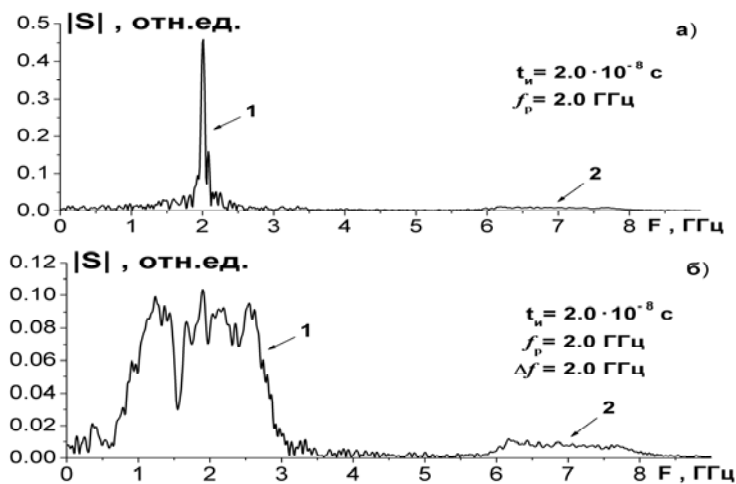


Рис. 2. Амплитудные спектры импульсов, изображенных на рис. 1, а и б

Последующая деформация распространяющегося в плазменной среде хаотического импульса описывалась по [2]. При рассмотренных значениях параметров задачи с увеличением ТЕС в процессе распространения происходит постепенное разделение импульсов на временной оси (на поле рис. 3 они обозначены цифрами 1 и 2). Пиковые значения поля в хаотическом импульсе 1 постепенно уменьшаются из-за его уширения, а пиковое значение поля в ЧМ-импульсе 2, напротив, может значительно возрасти вследствие его сжатия. При принятом законе частотной модуляции [см. (2)] межпланетная среда в рассматриваемой задаче фактически является аналогом идеального согласованного фильтра. Эффект разделения может проявляться и при пересечении частотных интервалов, занимаемых спектрами указанных импульсов. Обсуждается возможность его использования при передаче информации по трассам с большими величинами ТЕС.

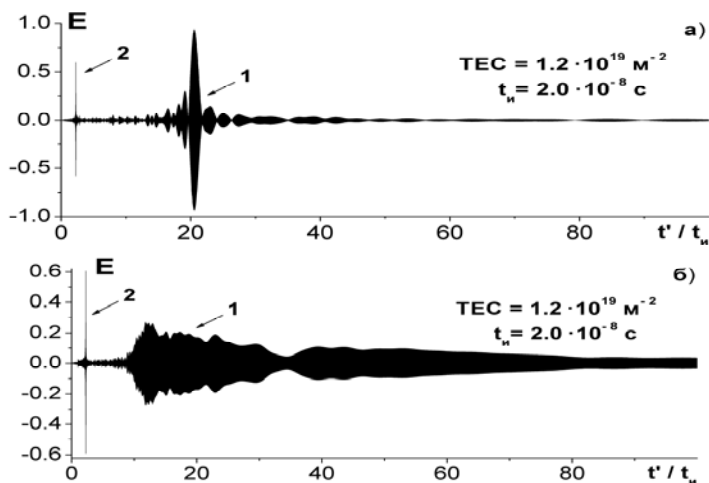


Рис. 3. Искажения импульсов, изображенных на рис. 1, в плазменной среде

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Box G.E.P., Muller M.E. A note on the generation of random normal deviates // Ann. Math. Statistics. – 1958. – Vol. 29, No. 2. – PP. 610–611.
2. Гуляев Ю.В., Стрелков Г.М. Распространение сверхширокополосного радиоимпульса в холодной плазме // Докл. РАН. – 2006. – Т. 408, № 6. – С. 754–757.
3. Худышев Ю.С. О возможной особенности искажений смеси хаотического и ЧМ-радиоимпульсов при распространении в холодной плазме // XVIII Всерос. науч. конф. студентов-радиофизиков: тез. докл. – СПб.: Соло, 2015. – С. 58–60.

#### ЛОКАЛЬНО-ОПТИМАЛЬНЫЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ПОГЛОЩАЮЩИЙ СЛОЙ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ МЕТОДОМ ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

**М.А. Колединцева, А.В. Могильников, студенты каф. РТС**  
 Научный руководитель Ю.П. Акулиничев, проф. каф. РТС, д.т.н.  
 Томск, ТУСУР, [marinkoled@yandex.ru](mailto:marinkoled@yandex.ru), [mog.v.andrey@yandex.ru](mailto:mog.v.andrey@yandex.ru)  
 Проект ГПО РТС-1505 «Программный комплекс системы  
 прогнозирования характеристик СВЧ-радиоволн»

Одним из численных методов, позволяющих рассчитать ожидаемую напряженность поля в прямоугольной области «дальность – высота», расположенной в заданном направлении от источника излуче-

ния, является двумерное параболическое волновое уравнение (ПУ) для комплексной огибающей  $U(x, z)$  напряженности  $E(x, z) = U(x, z) \exp(ikx)$  поля [1]. В области  $0 \leq x \leq D$ ,  $0 \leq z \leq H$  расчет поля ведется лишь в узлах вводимой прямоугольной расчётной сетки с размерами ячеек, равными шагам дискретизации по дальности  $\Delta x = D/M$  и высоте  $\Delta z = H/N$ . Сначала задают значения напряженности поля в узлах сетки при  $x = 0$ , а затем последовательно, применяя один и тот же алгоритм, находят значения напряженности в узлах сетки при  $x = \Delta x$ ,  $x = 2\Delta x$ , ...,  $x = D$ .

Наиболее популярным алгоритмом является метод дискретного преобразования Фурье (ДПФ) с расщеплением, который заключается в следующем [2]. Чтобы найти вектор-столбец  $\mathbf{u}$  отсчетов КО поля в узлах сетки  $(m + 1)$ -го слоя, к вектору значений отсчетов  $m$ -го слоя применяют дискретное преобразование Фурье  $F$ , вектор полученных значений умножается на диагональную матрицу коэффициентов передачи для гармоник ряда Фурье  $\Lambda$ , а затем применяют обратное преобразование Фурье  $F^{-1}$ . Диагональные матрицы  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{L}$  имитируют неоднородности среды и искусственный поглощающий слой, в итоге

$$U(x + \Delta x) = \mathbf{L} \mathbf{E} F^{-1} \Lambda F U(x). \quad (1)$$

Нижней границей расчетной области обычно является реальная физическая поверхность Земли, импедансные граничные условия которой известны. Для описания же верхней, искусственной границы используют искусственный поглощающий слой (ПС)  $\mathbf{L}$ . Пока это единственный способ задания нелокального граничного условия на верхней границе при использовании метода ДПФ [3]. Фактически  $\mathbf{L}$  позволяет ослаблять волны, отраженные от границы расчетной области (ДПФ не вносит в расчет ошибок лишь при работе в бесконечно больших областях). В настоящее время для метода ДПФ не найдена оптимальная форма такого слоя. Поиску такой формы и посвящена эта работа. Критерием оптимальности приняли минимум СКО расчета поля при однократном использовании метода ДПФ по отношению к векторам эталонных отсчетов  $U_0(x + m\Delta x)$  при  $m = 0, 1, \dots, M$ , полученных в результате расчета в области, размеры которой можно считать бесконечно большими.

Чтобы исключить влияние посторонних факторов, в данной работе рассматривалось распространение радиоволн в безграничной однородной среде с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon(x, z) = 1$ , поэтому граничное условие расчетной области вводилось одинаково и сверху, и снизу. Ширину каждого поглощающего слоя приняли фиксированной и равной половине расчетной области. За входное поле считали вектор случайных чисел, имеющих нормальное

распределение с нулевым математическим ожиданием и единичным СКО. Число элементов вектора равно числу отсчетов поля в рабочей области.

Выражение (1) можно представить в виде  $U(x + \Delta x) = GU(x)$ . Матрица  $\mathbf{G}$  включает в себя матрицы прямого  $F$  и обратного  $F^{-1}$  ПФ, диагональную матрицу коэффициентов передачи ряда Фурье  $\Lambda$ . Каждый  $n$ -й столбец матрицы  $\mathbf{G}$  является отсчетами поля, полученными методом ДПФ, примененного к отсчетам слоя, в котором на  $n$ -й позиции по высоте расположен единичный источник излучения. Формально расчетную область можно разделить на рабочую область и область поглощающего слоя. Значит, матрицу  $\mathbf{G}$  можно разбить на четыре матрицы переходов:  $\mathbf{g}_{pp}$ ,  $\mathbf{g}_{pc}$ ,  $\mathbf{g}_{cp}$ ,  $\mathbf{g}_{cc}$ . Причем  $\mathbf{g}_{pp}$  – матрица перехода из рабочей области входных отсчетов в рабочую область выходных отсчетов,  $\mathbf{g}_{pc}$  – матрица перехода из рабочей области входных отсчетов в область поглощающего слоя выходных отсчетов,  $\mathbf{g}_{cp}$  и  $\mathbf{g}_{cc}$  – по аналогии.

Один из способов получения оптимальной формы поглощающего слоя заключается в следующем. Произведение отсчетов поля вектора  $U_3(x)$  (из рабочей области) на матрицу перехода  $\mathbf{g}_{pp}$  равно вектору отсчетов поля на расстоянии  $x + \Delta x$  от источника. Но он отличается от  $U_3(x + \Delta x)$ . Разность этих векторов, умноженная на матрицу, обратную матрице  $\mathbf{g}_{cp}$ , и будет определять форму ПС:

$$L = \mathbf{g}_{cp}^{-1} (U_3(x + \Delta x) - \mathbf{g}_{pp} U_3(x)). \quad (2)$$

Применение поглощающего слоя, полученного таким довольно простым способом, при малом числе входных отсчетов позволяет значительно повысить точность расчета поля на некоторой дальности  $x + \Delta x$  от источника. Однако на практике используют тысячи входных отсчетов, тогда ошибки расчета, возникающие при обращении матрицы  $\mathbf{g}_{cp}$ , будут достигать катастрофически больших значений (СКО расчета может достичь десятков процентов), к тому же значительно растет время расчета. Перечисленных факторов достаточно, чтобы понять, что описанный метод определения поглощающего слоя не пригоден для применения на практике.

Поэтому следующим шагом был поиск ответа на вопрос: возможно ли в буквальном смысле подобрать оптимальную форму ПС? Для этого был проведен следующий вычислительный эксперимент.

Как и в предыдущем случае, были найдены векторы эталонных отсчетов поля  $U_3(x)$ , и  $U_3(x + \Delta x)$ , на расстояниях от источника  $x$  и  $x + \Delta x$ . Вектор разности между  $U_3(x + \Delta x)$  и  $U(x + \Delta x)$  (последний получен применением метода ДПФ к вектору  $U_3(x)$ ) характеризует ошибку метода (1), назовем его вектором ошибок. За начальный слой  $\mathbf{L}$  были приняты значения вектора  $U_3(x)$  (только те, которые распо-



жены в области поглощающего слоя). Затем каждая пара этих значений, симметрично расположенных относительно центра расчетной области, была увеличена на значение нормированного коэффициента корреляции между вектором ошибок и векторами откликов поля на единичные источники, находящиеся на тех же позициях, к которым производится расчет прибавки. То есть вектором отклика считаем отсчеты поля, полученные применением методом ДПФ к вектору отсчетов поля, в котором два значения равны единице, а остальные – нулю.

Проведенные расчеты показали, что применение подобранного вышеописанным способом поглощающего слоя приводит к, пусть иногда незначительному, но повышению точности расчета поля (СКО уменьшается на единицы процентов). То есть форму ПС, обеспечивающую минимум СКО расчета поля, в принципе можно в буквальном смысле подобрать для расчетной области любых размеров. Однако остается открытым вопрос об оптимальном алгоритме поиска такой формы. Также стоит отметить, что форма ПС значительно зависит от многих факторов. Таких как число отсчетов поля  $N$  и  $M$ , размеров ячеек расчетной сетки  $\Delta x$  и  $\Delta z$ , длины распространяющейся волны  $\lambda$  и т.д. Например, из рис. 1 видно, что формы ПС, полученных при расчете поля на разных дальностях от источника  $D$ , различны.

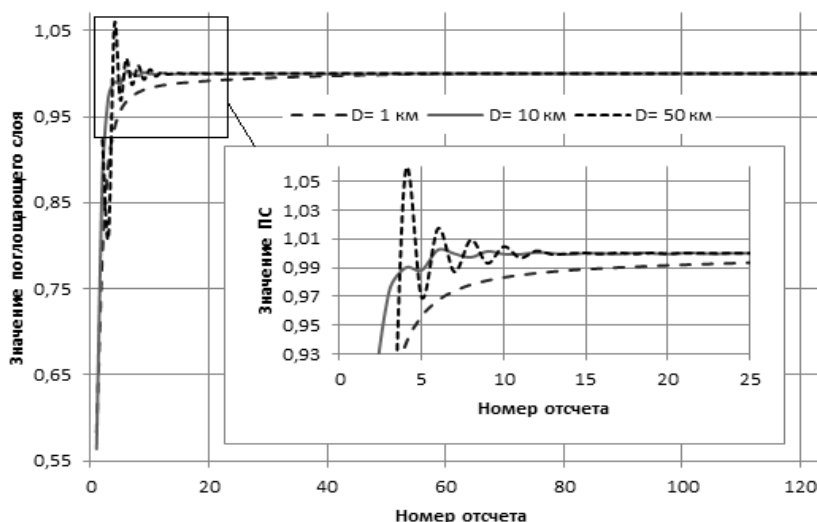


Рис. 1. Формы поглощающих слоев при расчете поля на разных дальностях от источника  $D$  (усредненные по двадцати реализациям). Число входных отсчетов  $N = 512$ , длина излучаемой волны  $\lambda = 0,1$  м, шаг дискретизации по дальности  $\Delta x = 100$  м, по высоте –  $\Delta z = 1$  м

В работе впервые найдена форма дискретного поглощающего слоя, обеспечивающая минимум СКО расчета поля на фиксированном расстоянии от источника. В наиболее неблагоприятной ситуации (случайное поле на входе) показано, что форму такого оптимального ПС можно найти методом последовательных приближений. Значения ПС заметно отличаются от единицы лишь на краях области расчета, что согласуется с результатами [3], при этом форма слоя существенно меняется при удалении от источника. Это усложняет использование данных результатов при расчете поля в неоднородной среде, где вторичные источники излучения могут встречаться на протяжении всей трассы. То есть возникает задача поиска оптимального слоя неизменяемой формы. Кроме того, можно в 2–3 раза уменьшить размер ПС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Levy M.* Parabolic equation methods for electromagnetic wave propagation // IEEE. – 2000. – 336 p.
2. *Kuttler J.R., Dockery G.D.* Theoretical description of parabolic approximation / Fourier split-step method of representing electromagnetic propagation in the troposphere // Radio Science. – 1991. – Vol. 26, No. 2. – PP. 381–393.
3. *Акулиничев Ю.П., Абрамов П.В., Ваулин И.Н.* Влияние поглощающего слоя на численное решение параболического уравнения // Доклады ТУСУРа. – 2007. – № 2 (16). – С. 139–145.

## **ПОДСЕКЦИЯ 1.2**

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

*Председатель – Шостак А.С., проф. каф. КИПР, д.т.н.;*  
*зам. председателя – Озёркин Д.В., доцент, декан РКФ, к.т.н.*

### **УСТРОЙСТВО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ ЛЬДА**

***В.П. Зайцев, И.И. Горелкин, студенты, каф. КИПР,***  
***М.М. Абулкасымов, ассистент каф. КИПР***  
*Научный руководитель А.С. Шостак, проф. каф. КИПР, д.т.н.*  
*Томск, ТУСУР, m.abulkasymov@mail.ru*

Задачи определения толщины льда являются актуальными как в военной, так и в гражданско-спасательной деятельности.

Области применения:

- Контроль безопасности передвижения транспорта по ледовым переправам.
- Мониторинг толщины льда на замерзших реках и водоемах для органов МЧС, рыбаков и т.д.
- Безопасная транспортировка тяжелой техники по ледовым переправам для нефтегазовых, транспортных компаний, работающих в арктических регионах, а также для переброса военной техники.

В настоящее время при проектировании ледовых переправ толщина льда, при которой допустимо движение тяжелой техники, согласно Ведомственным нормам, (1991) определяется формулой  $h = n\alpha\sqrt{P}$ . Здесь  $h$  – толщина льда (см);  $n$  – коэффициент, учитывающий интенсивность движения;  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от характера распределения нагрузки (для колесной нагрузки  $\alpha = 11$ , для гусеничной нагрузки  $\alpha = 9$ );  $P$  – масса транспортного средства (т). Допустимая масса транспортного средства при движении через ледовую переправу в зависимости от толщины льда приведена в [1, таблица].

Традиционно толщину льда замеряют в лунках, пробуриваемых с помощью мотобуров через каждые 50–100 м по профилю, т.е. дискретно. На бортах транспортных средств и в журнале промеров отме-

чают толщину льда. Кроме того, в журнал промеров заносятся данные о структуре льда, глубине водоема, а также расчетная допустимая величина нагрузки (масса транспортного средства) для данного участка ледяного покрова. Несмотря на постоянные замеры, толщина льда по профилю может существенно меняться. Практика показывает, что толщина льда может меняться резко: до 30 см в радиусе 2 м. Это означает, что толщина льда на профиле может варьировать от допустимой для движения тяжелой техники до недопустимой, когда есть угроза провалиться под лед.

Таким образом, имеет место потребность в разработке устройства неразрушающего контроля льда.

В настоящей работе представлены возможности измерения толщины льда радиолокационным методом.

Для возможности оценки контроля льда проведено численное моделирование задачи о нормальном падении плоской электромагнитной волны (угол падения  $\Theta = 0$ ) перпендикулярной поляризации, на диэлектрическую среду.

Геометрия задачи представлена в работе [3]. Из среды с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_1$  нормально падает плоская электромагнитная волна на диэлектрический слой толщиной  $h_1$  с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_2$  нижняя граница слоя  $h_1$  – лёд. Определим его как среду с параметрами:  $\epsilon_2 = 4 - i \cdot 10^{-1}$ .

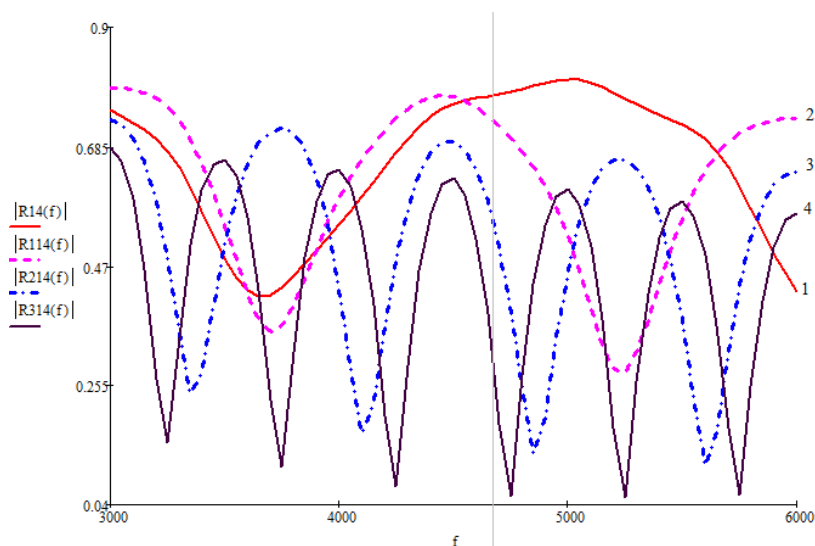


Рис. 1. Зависимость коэффициента отражения от длины волны, где 1 – 5 см; 2 – 10 см; 3 – 15 см; 4 – 20 см слоя льда

Требуется определить коэффициент отражения ( $R_{отр}$ ) от исследуемой среды в зависимости от частоты зондирующего сигнала  $f$  (длины волны  $\lambda$ ). Используя результаты работ [3], запишем выражение для коэффициента отражения плоской электромагнитной волны от модели контролируемой среды  $R_{13}(f)$  следующим образом:

$$R_{13}(f) = \frac{\eta_{12}(f) + r_{23} \cdot e^{\gamma_{12}(f)}}{1 + \eta_{12}(f) + r_{23} \cdot e^{\gamma_{12}(f)}}.$$

Расчеты значений коэффициентов отражения  $R_{13}(f)$  проводились для дискретных слоев льда: 5, 10, 15, 20 см в диапазоне частот 3–6 ГГц. Результаты расчетов представлены на рис. 1.

Анализируя рис. 1 можно сказать, что ростом толщины льда растет число экстремумов на кривых.

На рис. 2 представлена структурная схема устройства контроля льда.

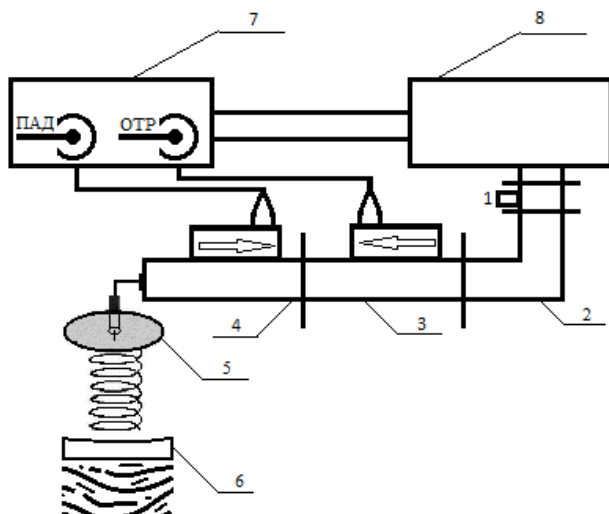


Рис. 2. Структурная схема устройства: 1 – аттенуатор; 2 – переход; 3 – детектор направленной падающей волны; 4 – детектор отраженной волны; 5 – спиральная антенна; 6 – ледяной покров; 7 – индикатор КСВН и ослабления; 8 – генератор качающей частоты

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ермаков А.П., Старовойтов А.В., Владов М.Л. Георадиолокационные исследования верхней части разреза при проектировании сейсмических работ в зимнее время / МГУ // Технологии сейсморазведки. – 2012. – № 2. – С. 89–97.
2. Абулкасымов М.М., Шостак А.С., Черныш Т.А. Метод неразрушающего контроля состояния взлетно-посадочной полосы // Матер. XVII Между-

нар. науч.-техн. конф., 19 мая 2016 г. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2016. – С. 217–219.

3. *Абулкасымов М.М.* Радиолокационный метод сверхширокополосного зондирования для обнаружения обледенений на поверхности самолета // Сб. тр. XIII Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Россия, Томск, 26–29 апреля 2016 г. – Томск: Изд-во НИ ТПУ, 2016. – С. 9–11.

4. *Шостак А.С.* О возможности определения диэлектрической проницаемости верхних слоев подстилающих сред по измеренным коэффициентам отражения при наклонном зондировании плоскими волнами вертикальной и горизонтальной поляризации в СВЧ-диапазоне / А.С. Шостак, В.В. Загоскин, С.П. Лукьянов, А.С. Карауш // Журнал радиоэлектроники. – 1999. – №11. – С. 4.

## **АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ОТРАЖАЕМОСТИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СРЕДЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ**

***Э.А. Аджахунов, студент каф. КИПР***

*Научный руководитель Е.В. Масалов, д.т.н., проф., каф. КИПР  
Томск, ТУСУР, essentuki111@gmail.com, e-v-masalov@yandex.ru  
Проект ГПО КИПР-1302 «Исследование эффективности методов  
дистанционного зондирования радиолокационным способом»*

Важной задачей для отраслей хозяйственной деятельности является оценка метеорологического состояния атмосферы. Для решения данной задачи в РФ в настоящее время используется доплеровский метеорологический радиолокатор ДМРЛ-С, который использует сигналы с линейной поляризацией.

В данном радиолокаторе не учитывается влияние среды, заполненной гидрометеорами, на оценку дифференциальной радиолокационной отражаемости, поэтому существует потребность в анализе этого влияния на изменчивость  $Z_{DR}$ .

Оценка дифференциальной радиолокационной ( $Z_{DR}$ ) отражаемости позволяет существенно увеличить информативную способность радиолокационного сигнала. На основании метода дифференциальной радиолокационной отражаемости можно вынести суждения о размере и форме капель метеообразования.  $Z_{DR}$  определяется, как отношение амплитуд сигналов излученных и принятых с вертикальной и горизонтальной поляризациями соответственно:

$$Z_{DR} = 20 \lg \frac{|\dot{E}_Y|}{|\dot{E}_X|}, \quad (1)$$

где  $|\dot{E}_X|$  – амплитуда сигнала, излученного и принятого с горизонтальной поляризации;  $|\dot{E}_Y|$  – амплитуда сигнала, излученного и принятого с вертикальной поляризации.

Анализ зависимостей дифференциальной радиолокационной отражаемости  $Z_{DR}(z)$  для интенсивности дождя  $12,5$  (рис. 1) и  $150 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$  (рис. 2) показывает, что поляризационная структура радиолокационных сигналов значительно подвержена влиянию среды распространения при линейной поляризации. За счёт этого влияния поляризация сигналов в процессе распространения становится эллиптической и угол наклона эллипса поляризации отличается от начального угла наклона плоскости поляризации излучаемых колебаний. Также видно, что дифференциальная радиолокационная отражаемость для однородного заполнения среды гидрометеорами зависит от параметров  $z$  – длины трассы;  $\beta_n$  – начального угла наклона плоскости поляризации излучаемых колебаний;  $\Delta\phi$  – дифференциального ослабления;  $\Delta\alpha$  – дифференциального фазового сдвига. Расчет проводился для длины волны сигнала  $\lambda = 3 \text{ см}$ . При интенсивности дождя  $R = 12,5 \text{ мм/ч}$  дифференциальный фазовый сдвиг и дифференциальное ослабление составляют  $\Delta\alpha = 0,02 \text{ дБ/км}$ ;  $\Delta\phi = 1 \text{ град/км}$ ; при интенсивности дождя  $R = 150 \text{ мм/ч}$  дифференциальный фазовый сдвиг и дифференциальное ослабление составляют  $\Delta\alpha = 0,08 \text{ дБ/км}$ ;  $\Delta\phi = 14 \text{ град/км}$  [1].

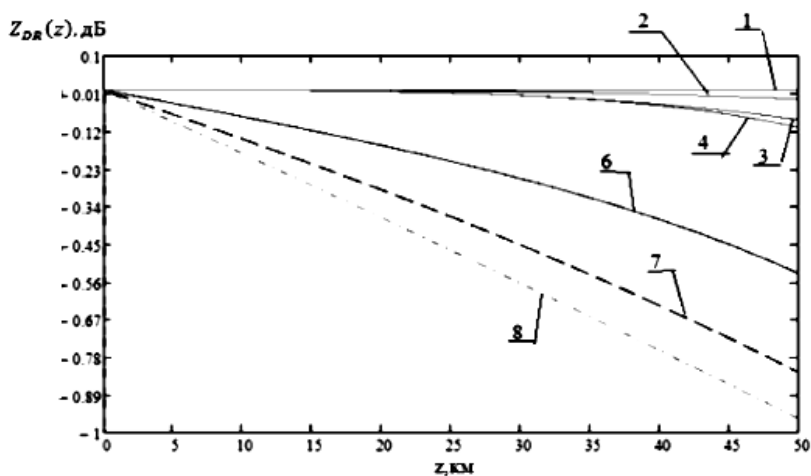


Рис. 1. Зависимости дифференциальной радиолокационной отражаемости  $Z_{DR}(z)$  при различных значениях начального угла наклона плоскости поляризации излучаемых колебаний  $\beta_n$  для интенсивности дождя  $R = 12,5 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$

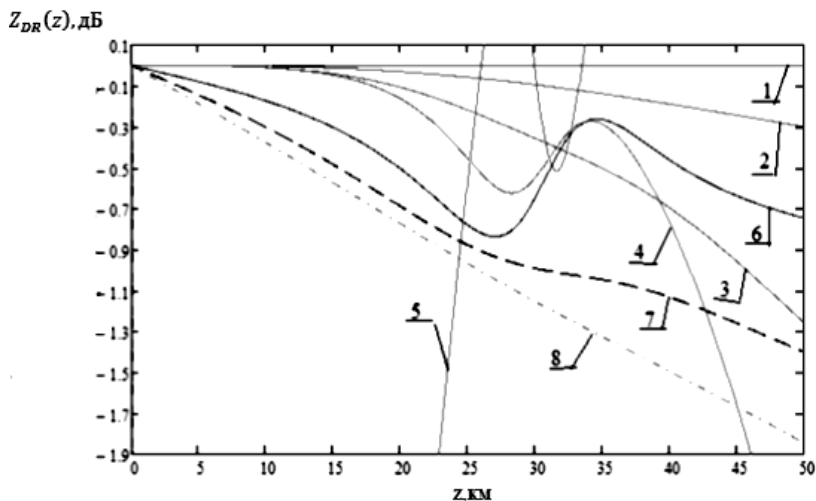


Рис. 2. Зависимости дифференциальной радиолокационной отражаемости  $Z_{DR}(z)$  при различных значениях начального угла наклона плоскости поляризации излучаемых колебаний  $\beta_n$  для интенсивности дождя  $R = 150 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$

Здесь 1 – соответственно  $\beta_n = 0^\circ$ ; 2 –  $11,25^\circ$ ; 3 –  $22,5^\circ$ ; 4 –  $33,75^\circ$ ; 5 –  $45^\circ$ ; 6 –  $56,25^\circ$ ; 7 –  $67,5^\circ$ ; 8 –  $78,75^\circ$ .

Расчеты производились для компонент вектора Джонса принимаемого сигнала, определяемых на основании методики, изложенной в [2].

Сравнивая оба графика, мы видим, что при увеличении интенсивности осадков проявляются нелинейности поляризационных характеристик.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Масалов Е.В., Янов С.В. Влияние среды, заполненной гидromетеорами, на оценку дифференциальной радиолокационной отражаемости // Доклады ТУСУРа. – 2011, май. – С. 295–297.
2. Татаринов В.Н., Татаринов С.В., Лигтхарт Л.П. Введение в современную теорию поляризации радиолокационных сигналов. Поляризация плоских электромагнитных волн и ее преобразования. – Томск, 2006. – Т. 1.



## **КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАПРЕЩЕННЫХ ПРЕДМЕТОВ**

***К.С. Дарменов, К.М. Красников, студенты каф. КИПР;  
М.М. Абулкасымов, ассистент каф. КИПР***

*Научный руководитель А.С. Шостак, проф. каф. КИПР, д.т.н.  
Томск, ТУСУР, kanski2101@mail.ru*

В настоящее время имеется ряд систем дистанционного обнаружения взрывных устройств, использующих такие типы отображения, как рентген, микроволновая голография, акустическое детектирование и др.

Но как показывает практика, уже не целесообразно полагаться на такие системы контроля безопасности, как металлодетекторы и системы рентгеновского излучения. Использование металлодетекторов и рентгеновских установок недостаточно для обнаружения угрозы, которые могут нести самодельные взрывные устройства, исполненные на нелинейных элементах, таких как диоды, транзисторы, интегральные микросхемы и т.д. [2].

Таким образом, в настоящее время существует проблема расширения функциональных возможностей металлодетектора в части обеспечения возможности обнаружения предметов, содержащих полупроводниковые элементы.

Основной задачей при перевозках воздушным транспортом является предоставление пассажирам комплексной системы безопасности.

Поставленную задачу можно решить несколькими методами: используя индукционный, радиационной интроскопии, радиоволновый [3].

Однако из проведенного системного анализа можно утверждать, что используемые в настоящее время методы и средства обнаружения опасных предметов имеют ряд ограничений.

Чтобы исключить эти ограничения, наиболее целесообразным в нашем случае является разработка системы, которая должна обнаруживать не только металлические предметы, но и предметы, содержащие полупроводниковые элементы.

Для этого необходимо и достаточно системы, состоящей из двух независимых приборов, размещенных в одном корпусе: радиоволнового канала и индукционного канала. Система, состоящая из радиоволнового и индукционного канала, необходима потому, что объект может содержать и металлы, и полупроводники.

В основу работы индукционного канала заложен индукционный импульсный метод переходных процессов. Этот метод основан на

измерении неустановившегося электромагнитного поля вихревых токов, наведенных в проводящем материале объекта поиска после ступенчатого изменения в некоторый момент времени первичного возбуждающего электромагнитного поля.

Работа радиоволнового канала основана на регистрации результата взаимодействия первичного электромагнитного поля, создаваемого излучателем (генератор ВЧ с антенной) с контролируемой средой. Антенна нелинейного локатора облучает объект для того, чтобы определить наличие в нем электронных компонентов. Когда высокочастотный сигнал облучает полупроводниковые соединения (диоды, транзисторы и т.д.), он возвращается на гармонических частотах с определенными уровнями благодаря нелинейным характеристикам соединения. Регистрация осуществляется с помощью двух приемников, настроенных на вторую и третью гармонику [4].

На основании алгоритма, представленного ранее, можно предложить структурную схему, изображенную на рис. 1.

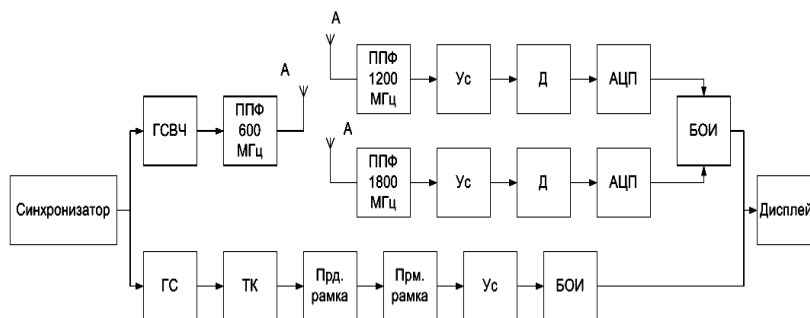


Рис. 1. Обобщенная структурная схема системы дистанционного обнаружения опасных предметов

Таким образом, разработанное устройство позволяет обнаруживать как металлические, так и полупроводниковые элементы. Когда НЛ облучает полупроводник, отклик на 2-й гармонике сильнее, чем на 3-й. При облучении ложного соединения наблюдается обратный эффект: отклик на 3-й гармонике сильнее, чем на 2-й. В качестве ложного соединения может выступать коррозионное соединение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Avdochenko B.I.* The Investigation of the Possibility of using linear Dipole Antennas for Dimension of Dielectric permittivity of the real soil and layered soil / B.I. Avdochenko, A.P. Batsula, A.S. Shostak, S.G. Kataev, K.A. Volegov // 4th International Conference on Ultrawideband and Ultrashot Impulse Signals, UWBUSIS-2008. – Sevastopol, 2008. – PP. 261–263.

2. *Применение* сверхвысокочастотного радиотеплового метода наблюдения в системе безопасности // Radio radar [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.radioradar.net/articles/scientific\\_technical/rms.html](http://www.radioradar.net/articles/scientific_technical/rms.html) (дата обращения: 02.06.2016).

3. *CNews Analytics: аналитика. Досмотровое оборудование – оружие антитеррора* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cnews.ru/reviews/free/transport2006/articles/antiterror/> (дата обращения: 02.06.2016).

4. *Режим работы нелинейного радиолокатора* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.frontinformatics.ru/fineds-968-1.html> (дата обращения: 02.06.2016).

## **АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ОБ ОТКАЗАХ ИЗДЕЛИЙ АВИОНИКИ НА ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

***А.В. Гурьянов, генеральный директор;***

***А.В. Шукалов, доцент, к.т.н.; И.О. Жаринов, зав. каф., д.т.н.;***

***М.О. Костишин, доцент, к.т.н.; Д.С. Иваньков, студент***

*Научный руководитель И.О. Жаринов, зав. каф. МПБЭВА, д.т.н.*

*Санкт-Петербург, университет ИТМО, igor\_rabota@pisem.net*

*АО «ОКБ «Электроавтоматика»; ИТМО, каф. МП БЭВА,*

*Санкт-Петербург, mpbva@mail.ru*

В современном надёжностно-ориентированном приборостроении получили широкое практическое применение различные программные средства, позволяющие автоматизировать работу разработчиков, связанную с оценкой показателей надёжности проектируемых изделий [1, 2]. При всем многообразии функций существующих программных комплексов (RELEX (Relex software Corporation, США); A.L.D.Group (Израиль); Risk Spectrum (Relcon AB, Швеция); ISOGRAPH (Великобритания), АКСОНИКА (Россия)), предоставляемых разработчикам в процессе проектирования, вопросы учета статистических данных об отказах изделий, полученных не в результате прогнозирования, а из эксплуатации, не получили развития в данных программах на достаточном уровне. В этой связи актуальной является задача разработки нового алгоритмического средства для документирования инженерных данных о фактических отказах изделий, полученных по результатам их практической эксплуатации.

Блок-схема алгоритма обработки и учета данных об отказах изделий авионики приведена на рис. 1.

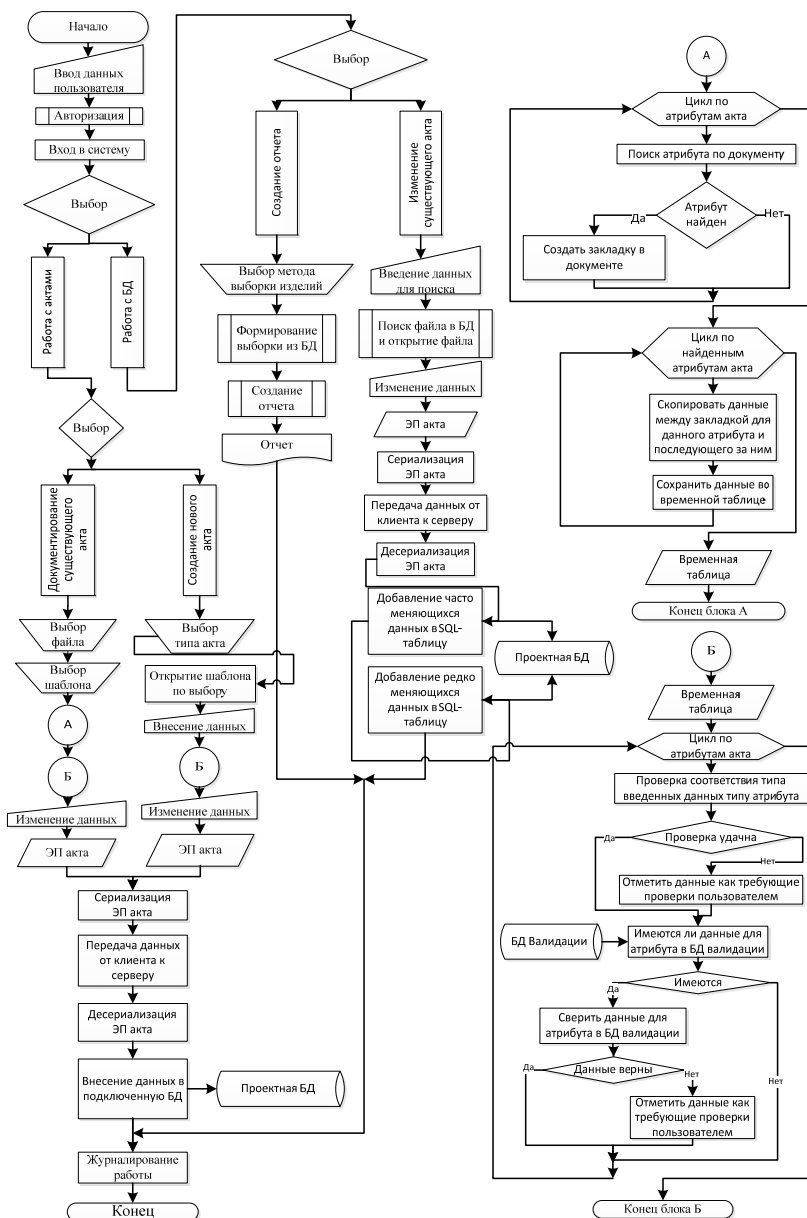


Рис. 1. Блок-схема алгоритма обработки данных об отказах изделий авионики:  
БД – база данных, ЭП – электронное представление

Процесс ввода нового документа об отказе изделия происходит следующим образом. Сначала пользователю предлагается выбрать один из видов документов: акт исследования, рекламационный акт, технический акт и пр. Далее на экране инструментальной ЭВМ отображается диалоговое окно с имеющимся шаблоном для введения пользователем данных. Шаблоны имеют разные поля для заполнения пользователем в зависимости от типа документа об отказе.

Номенклатура полей соответствует стандартам организации, принятым и внедренным на приборостроительном предприятии распорядительными приказами. В процессе ввода пользователем данных в диалоговом окне программы обеспечивается их валидация.

Процедура электронного документирования информации об отказах выполняется следующим образом.

Пользователь указывает в рабочем окне программы путь к файлу (сканированный документ) на дисковом пространстве инструментальной ЭВМ и вид документа, по которому должна быть осуществлена обработка данных. Далее алгоритм обработки данных в цикле выполняет поиск данных в файле по каждому из полей (атрибутов электронного представления акта).

Процедура электронного документирования ранее изготовленного на бумажном носителе акта необходима в случае, если в проектной организации за годы работы накопилось множество надежно-ориентированных документов, подготовленных в бумажном виде и требующих их структуризации для передачи в единый электронный архив предприятия.

Если атрибут в файле найден, алгоритм формирует закладку в данном месте файла и продолжается поиск в файле следующего атрибута, при этом запоминается последовательность, в которой были выявлены все атрибуты. Далее выполняется цикл алгоритма по выявленным атрибутам с сохраненной в оперативной памяти последовательностью и извлекаются данные между  $k$ -м и  $(k+1)$ -м атрибутом, при этом извлекаемые данные присваиваются  $k$ -му атрибуту. После окончания цикла работы алгоритма надежно-ориентированные данные выводятся на экран инструментальной ЭВМ пользователю в формате заполненного шаблона.

При корректном вводе пользователем данных, подтвержденных системой валидации программы, данные из полей файла переносятся в электронную форму документа на инструментальной ЭВМ клиента. Далее происходит сериализация, процесс перевода электронной структуры документа в последовательность битов с последующей их передачей на сервер. На сервере полученные от клиента данные десе-

риализуются в электронную форму документа и записываются в подключенную к серверу проектную базу данных.

Предлагаемый алгоритм позволяет разработчикам автоматизировать процесс учета сведений об отказах изделий и способствует формированию более точной оценки надежности будущих изделий, имеющих схожие или заимствованные сборочные единицы, по которым уже получены достаточные статистические сведения об отказах их эксплуатации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Богатырев В.А.* Надежность и эффективность резервирования компьютерных сетей // Информационные технологии. – 2006. – № 9. – С. 25–30.
2. *Kniga E., Zharinov I., Shukalov A., Nechaev V.* Reliability evaluation of integrated modular avionics computational structures for different hardware configurations // Key Engineering Materials. – 2016. – Vol. 685. – PP. 350–354.

#### КЛАССИФИКАЦИЯ ОТКАЗОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ АВИОНИКИ

*А.В. Гурьянов, ген. директор; О.А. Кузнецова, начальник отд.;  
А.В. Шукалов, доцент, к.т.н; И.О. Жаринов, зав. каф., д.т.н.;  
В.А. Нечаев, ст. преп.*

*Научный руководитель И.О. Жаринов, зав. каф. МПБЭВА, д.т.н.  
Санкт-Петербург, университет ИТМО, igor\_rabota@pisem.net  
АО «ОКБ «Электроавтоматика»,  
университет ИТМО, каф. МП БЭВА, mpbva@mail.ru*

Работы по оценке показателей надежности изделий авионики сопровождают изделие на протяжении всех этапов жизненного цикла.

В общем случае при опытно-конструкторской разработке изделий авионики в части оценки показателей надежности выполняются [1]:

- приближенная оценка допустимых значений показателей безотказности при согласовании технического задания;
- уточненная оценка достигнутых показателей безотказности до начала предварительных испытаний;
- испытания на безотказность изделий авионики на этапе предварительных испытаний;
- испытания на безотказность изделий авионики на этапе межведомственных испытаний;
- анализ соответствия показателей безотказности изделий авионики требованиям технического задания.

На этапах производства изделия авионики основная задача в части обеспечения надежности – оценка и контроль достигнутых значений. Оценка показателей надежности изделия выполняется обработкой статистических данных периодических испытаний изделия на надежность в целом или испытаний его составных частей, а оценка самого изделия – расчетно-экспериментальным методом.

В процессе эксплуатации изделия ведется непрерывный анализ статистических данных об отказах изделий для контроля надежности и определения, при эксплуатации «по состоянию», наступления предельного состояния, т.е. состояния, когда дальнейшая эксплуатация изделия недопустима или может привести к возникновению опасных ситуации или/и является экономически нецелесообразной. На основе результатов статистического анализа ведется разработка мероприятий, позволяющих продлить срок службы изделий.

Для классификации отказов изделий, выпущенных на предприятии, производится анализ причин отказов согласно алгоритму, представленному на рис. 1. Подтвержденным отказом изделия является выявленный в нем и зафиксированный документально дефект (один, несколько), повлекший несоответствие изделия установленным требованиям. На практике различают:

- конструктивный дефект – дефект изделия, соответствующего всем требованиям конструкторской и технологической документации, выявленный в процессе производства или эксплуатации изделия и обусловленный несовершенством конструкции;

- производственный дефект – дефект изделия, обусловленный несовершенством технологической документации или отклонением от конструкторской и технологической документации, выявленный в процессе производства или эксплуатации изделия;

- эксплуатационный дефект – дефект изделия, обусловленный несоблюдением потребителем условий и правил эксплуатации (применения), хранения и транспортирования изделия.

Отказы изделий авионики, зафиксированные как произошедшие в эксплуатации в течение рассматриваемого календарного периода, классифицируются на отказы, произошедшие на земле (при обслуживании оборудования), и отказы, произошедшие в полете воздушного судна. Из каждого класса отказов исключаются отказы, не учитываемые по критериям, приведенным ниже:

- отказы, вызванные воздействием внешних воздействующих факторов, не предусмотренных требованиями технических условий (ТУ) и оговоренных в руководстве по технической эксплуатации;

- зависимые отказы и повреждения, обусловленные влиянием на изделие неисправностей сопрягающего оборудования;

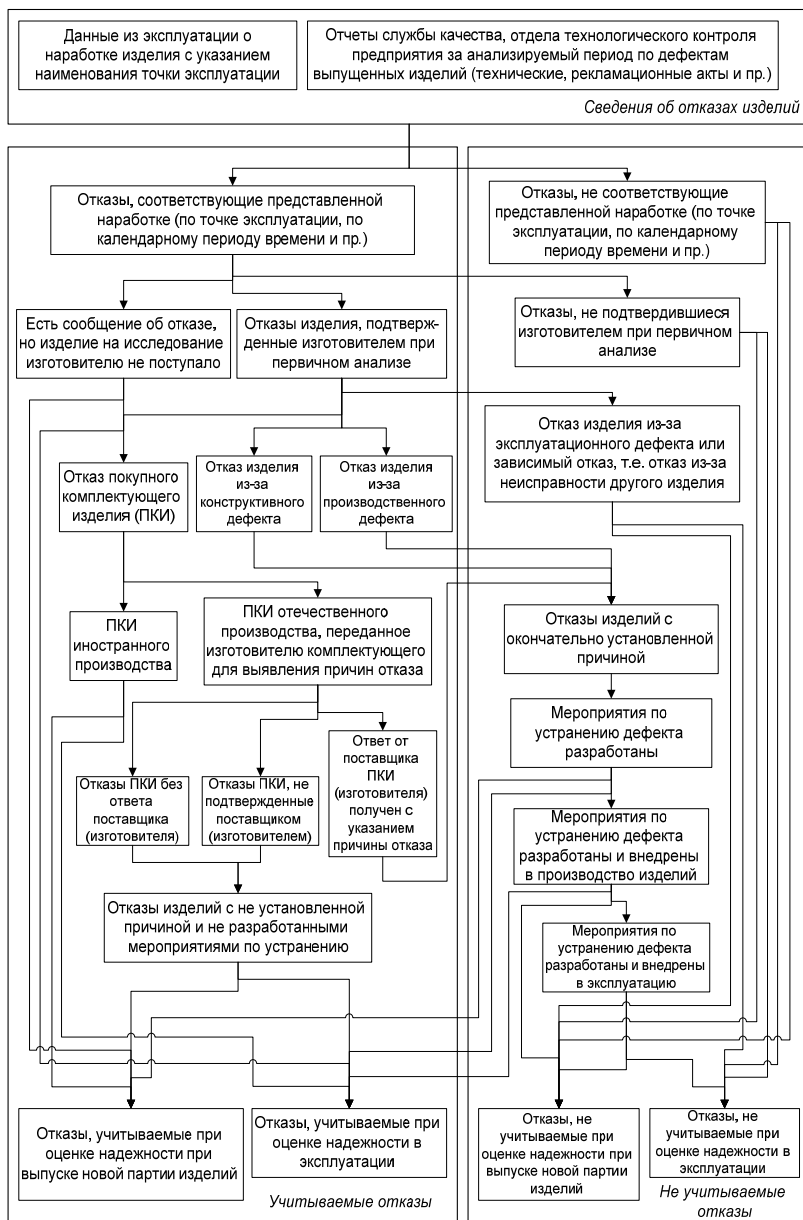


Рис. 1. Алгоритм классификации сведений об отказах изделий авионики на учитываемые и не учитываемые отказы при оценке показателей надежности



– отказы, зафиксированные до проведения в изделии изменений конструкции, схемы или норм (техническое задание) и ТУ, затрагивающих элементы или параметры, связанные с влиянием на эти отказы, если после таких изменений подобные отказы не наблюдались в течение установленного комиссией по проведению испытаний времени или в принципе невозможны (ненадежный элемент исключен из схемы аппаратуры).

Таким образом, алгоритм, представленный на рис. 1, позволяет классифицировать все отказы, выявленные в процессе эксплуатации изделий авиационной промышленности, что способствует формированию более точной оценки статистики отказов.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Богатырев В.А.* Комбинаторно-вероятностная оценка надежности и отказоустойчивости кластерных систем // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2006. – № 6. – С. 21–26.

### **АНАЛИЗ МЕТОДИК ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ БЛОКОВ КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ**

***А.Ю. Мишина, Ю.С. Отмахов, студенты каф. КИПР***

*Научный руководитель А.А. Чернышев, доцент, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, lika.mishina.95@mail.ru*

*Проект ГПО КИПР-1305 «Компьютерное моделирование  
конструкций электронных средств»*

Важной составляющей проектирования блоков космической аппаратуры (БКА) является расчет теплового режима с точностью, обеспечивающей возможность применения конструкторских решений.

При расчетах температуры корпуса и нагретой зоны БКА обычно применяются коэффициентные методы [1], которые дают погрешность  $\pm 10^\circ\text{C}$ .

В отдельных случаях разработчик затрагивает уточненный расчет с погрешностью не хуже  $\pm(2...3)^\circ\text{C}$ . В этом случае используется итерационная методика на основе теплофизических зависимостей, установленных применительно к электронной аппаратуре научной школой проф. Г.Н. Дульнева [2].

Целью настоящего теоретического исследования является оценка целесообразности применения уточняющей итерационной методики в случаях, когда предварительный расчет теплового режима БКА выполнен коэффициентным методом.

Анализ проведём путем сравнения результатов расчета температуры поверхности БКА указанными методами в определенном диапазоне варьирования влияющих факторов.

В расчетах коэффициентными методами [1] используются готовые зависимости перегрева нагретой зоны или корпуса блока от рассеиваемой мощности, отнесенной к соответствующей площади поверхности.

Методика Г.Н. Дульнева [2] требует задания ориентации блока в пространстве, его геометрических размеров (длина, ширина, высота), температуры окружающей среды, степени черноты поверхностей и барометрического давления.

С целью идентификации блоков по соотношению габаритных размеров (длина, ширина, высота – для наземных условий) нами введено понятие *фактора формы*. Под фактором формы  $K_{\phi}$  понимается отношение вертикального определяющего размера блока, выполненного в форме прямоугольного параллелепипеда, к горизонтальному определяющему размеру (рис. 1):

$$K_{\phi} = \frac{h}{l_{\min}},$$

где  $h$  – высота блока;  $l_{\min}$  – минимальный из его горизонтальных размеров;  $K_{\phi}$  не меняется при форме корпуса БКА с частичным срезом одного угла, которая характерна для блоков, размещаемых в гермоотсеке КА.

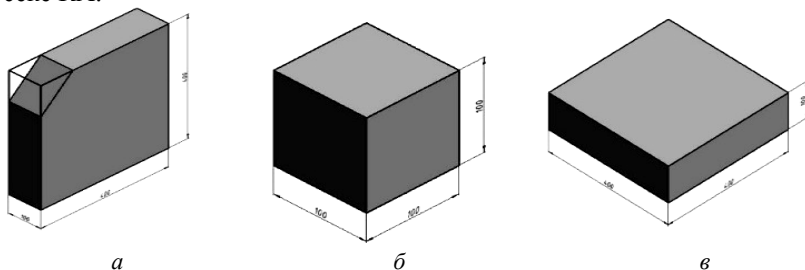


Рис. 1. Блоки КА с различными значениями фактора формы:

$a - K_{\phi} = 4$ ;  $б - K_{\phi} = 1$ ;  $в - K_{\phi} = 0,25$

Сопоставление методик проведем путем сравнения тепловых характеристик корпуса БКА, рассчитанных коэффициентным и итерационным методами.

Под тепловой характеристикой понимается зависимость перегрева  $v_k$  от удельной мощности  $q_k$  корпуса БКА:

$$v_k = v_k(q_k), \quad v_k = t_k - t_c, \quad q_k = \frac{P}{S_k},$$

где  $\upsilon_k$  – перегрев корпуса, °C;  $t_k$  – температура корпуса, °C;  $t_c$  – температура среды, °C;  $q_k$  – удельная мощность Вт/м<sup>2</sup>;  $S_k$  – площадь поверхности корпуса, м<sup>2</sup>;  $P$  – суммарная мощность источников тепла в БКА, Вт.

Расчеты, результаты которых представлены на рис. 2, 3, проведены для следующих диапазонов влияющих факторов: удельная мощность корпуса  $q_k = 0 \dots 300$  Вт/м<sup>2</sup>; температура среды  $t_c = 4 \dots 30$  °C; линейные размеры  $L = 100 \dots 400$  мм; приведенная степень черноты поверхностей  $\epsilon_{пр} = 0,8$ ; фактор формы  $K_\phi = 0,25 \dots 4$ .

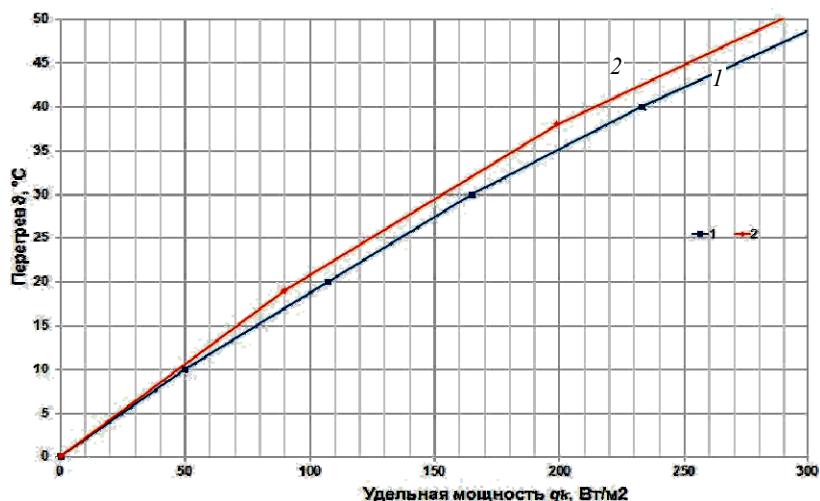


Рис. 2. Результаты расчета перегрева корпуса БКА в условиях вакуума / невакуумности при  $t_c = 4^\circ\text{C}$ : 1 – по методике Г.Н. Дульнева; 2 – коэффициентным методом

В расчетах принято во внимание, что при охлаждении БКА, размещаемых на негерметичной платформе спутника в объеме экранно-вакуумной изоляции, конвективная теплоотдача отсутствует. Диапазон варьирования температуры среды  $t_c$  выбран с учетом того, что средняя температура термоциклирования в объеме экранно-вакуумной изоляции спутника составляет ориентировочно  $+4^\circ\text{C}$ , в то время как максимальная температура в лаборатории при наземных электрических испытаниях БКА не превышает  $30^\circ\text{C}$ .

Как следует из представленных тепловых характеристик, результаты расчетов перегрева корпуса БКА коэффициентным методом [1] и методом Г.Н. Дульнева [2] в широком диапазоне удельной мощности различаются не более чем на  $3^\circ\text{C}$ . Это позволяет сделать следующий

вывод: уточнение расчета перегрева БКА, выполненного коэффициентным методом, путем применения более трудоемкой итерационной теплофизической методики, нецелесообразно, поскольку расхождение получаемых результатов не превосходит погрешности последней.

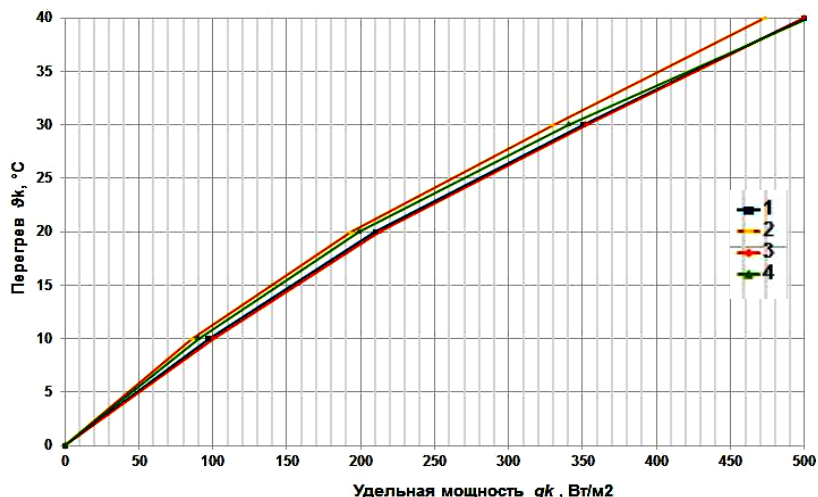


Рис. 3. Результаты расчета перегрева корпуса БКА ( $t_c = 30^\circ\text{C}$ , наземные условия) по методике Г.Н. Дульнева (1 —  $K_\phi = 0,25$ ; 2 —  $K_\phi = 1$ ; 3 —  $K_\phi = 4$ ) и коэффициентным методом (4)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Роткоп Л.Л., Спокойный Ю.Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоаппаратуры. — М.: Сов. радио, 1976. — 232 с.
2. Дульнев Г.Н., Тарновский Н.Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры. — Л.: Энергия, 1971. — 248 с.

#### МЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ МШУ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ РАБОТЫ В СОСТАВЕ КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

*А.В. Паращинец, А.Е. Ефремова, студенты; В.В. Терешков,  
аспирант каф. РТС; А.А. Залевский, студент каф. ТОР*

*Научный руководитель В.Д. Дмитриев, доцент каф. ТОР, к.т.н.  
Томск, ТУСУР, dvd51@mail.ru*

В данной работе рассматривается процесс механического инженерного анализа конструкции маломощного усилителя (МШУ), предназначенного для работы в составе космической аппаратуры (КА).

В настоящее время существует множество программных решений (NX Nastran, Ansys и др.), позволяющих проводить виртуальный механический анализ конструкций с достаточно высокой точностью. Все они основаны на методе конечных элементов (МКЭ), который включает в себя следующие этапы [1]:

- создание идеализированной модели на основе реальной физической конструкции;
- создание дискретной модели, состоящей из конечных элементов (КЭ);
- решение системы разрешающих уравнений, которые соответствуют выбранному типу анализа.

Таким образом, следуя обозначенным выше этапам, можно провести виртуальный механический анализ конструкции радиотехнического устройства и сделать вывод о его соответствии поставленным задачам.

В случае КА главными воздействиями являются вибрации корпуса летательного аппарата при выводе на орбиту, а также удары, которые распространяются по нему во время отделения ступеней ракетоносителя.

Конструкция устройства МШУ состоит из печатной платы, зонда, гермоввода и корпуса. Общий вид устройства представлен на рис. 1.

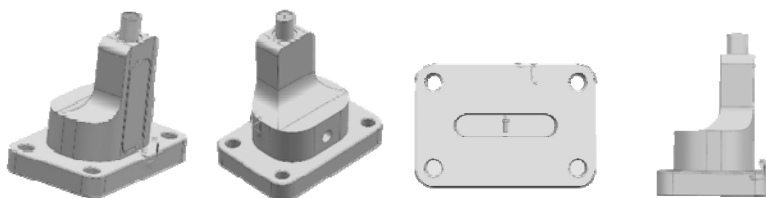


Рис. 1. Общий вид МШУ

В табл. 1 представлены материалы, из которых сделан корпус и составные части МШУ.

Т а б л и ц а 1

**Использованные материалы**

| Материал                | Плотность,<br>$\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | Модуль<br>Юнга $E$ ,<br>ГПа | Коэффициент<br>Пуассона $\mu$ | Предел<br>прочности,<br>$\sigma_b$ , МПа |
|-------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|
| Д16Т [2]                | 2800                                     | 71                          | 0,33                          | 345                                      |
| 29НК [3]                | 8350                                     | 196                         | 0,35                          | 650                                      |
| Кварцевое<br>стекло [4] | 2203                                     | 75                          | 0,17                          | 50                                       |

По имеющейся геометрии модели, а также физическим характеристикам использованных в процессе проектирования материалов была получена КЭ-модель, представленная на рис. 2. В местах крепления МШУ (указаны стрелкой на рис. 2) жесткая заделка. Количество узлов конечно-элементной модели МШУ равно 186984, элементов – 117943, общая масса прибора 0,0548 кг.

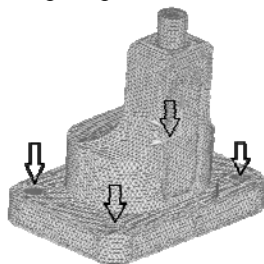


Рис. 2. Конечно-элементная модель прибора МШУ

Постановка требований к механическим нагрузкам зависит от конкретного расположения устройства на ракетоносителе, в данном случае используются усредненные требования к подобным устройствам и особого интереса не представляют.

Критерием оценки устойчивости к нагрузкам служит коэффициент запаса прочности (1):

$$\eta = \frac{\sigma}{\sigma_p}, \quad (1)$$

где  $\eta$  – коэффициент запаса прочности по пределу прочности;  $\sigma$  – напряжение предела прочности;  $\sigma_p$  – максимальное расчетное напряжение в приборе.

Максимальные расчетные напряжения вычислялись по модели фон Мизеса.

Следующим этапом выступает симуляция различных воздействий, таких как синусоидальная вибрация и ударное воздействие.

В табл. 2 приведены максимальные значения напряжений в элементах конструкции МШУ и коэффициенты запаса прочности для материалов, детали из которых испытывают наибольшее напряжение в процессе синусоидального воздействия.

В табл. 3 приведены максимальные значения напряжений в элементах конструкции МШУ и коэффициенты запаса прочности при воздействии ударных нагрузок.

В табл. 4 приведены минимальные значения запаса прочности для рассмотренных расчетных случаев.

Таблица 2

**Результаты моделирования вибрационных нагрузок**

| Направление воздействия                           | Предел прочности/текучести материала детали, МПа | Напряжения, МПа | Коэффициент запаса прочности |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------|------------------------------|
| Перпендикулярно плоскости крепления (вдоль оси Z) | 650                                              | 2,646           | 245,653                      |
| Параллельно плоскости крепления (плоскость XY)    | 650                                              | 2,165           | 300,231                      |

Таблица 3

**Результаты расчета на ударное воздействие**

| Направление удара | Предел прочности / текучести материала детали, МПа | Напряжения, МПа | Коэффициент запаса прочности |
|-------------------|----------------------------------------------------|-----------------|------------------------------|
| X                 | 300                                                | 50,03           | 5,99                         |
| Y                 | 650                                                | 346,12          | 1,878                        |
| Z                 | 650                                                | 323,04          | 2,012                        |

Таблица 4

**Минимальные значения коэффициентов запаса прочности для различных расчетных случаев**

| Расчетный случай        | Минимальный коэффициент запаса прочности |
|-------------------------|------------------------------------------|
| Синусоидальная вибрация | 245,653                                  |
| Ударные нагрузки        | 1,878                                    |

На основе выполненного инженерного анализа были получены значения напряжений, возникающих в конструкции МШУ, и рассчитаны коэффициенты запаса прочности, которые позволяют оценить наиболее критичные случаи нагружения прибора. Минимальное численное значение коэффициента запаса прочности достигается при воздействии ударных нагрузок и составляет 1,878 при напряжении 346,12 МПа. Таким образом, конструкция МШУ полностью удовлетворяет поставленным требованиям, выдерживая весь спектр механических воздействий, которым может подвергаться в течение эксплуатации.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Гончаров П.С., Артамонов И.А., Халитов Т.Ф. и др. NX Advanced Simulation. Инженерный анализ. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 504 с.
2. ГОСТ 21631–76. Листы из алюминия и алюминиевых сплавов. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 30 с.

3. ГОСТ 14080–78. Лента из прецизионных сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 17 с.

4. ГОСТ 15130–86. Стекло кварцевое оптическое. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 31 с.

## **ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОКРИСТАЛЛЬНЫХ МИКРОМОДУЛЕЙ (МКМ) В БОРТОВОЙ КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЕ**

***А.Б. Перелыгин, А.Е. Абрамов, В.Э. Белоусова,***

***Я.С. Груздева, студенты каф. КИПР***

*Научный руководитель Д.В. Озеркин, доцент каф. КИПР*

*Томск, ТУСУР, pereligin93@mail.ru*

*Проект ГПО КИПР-1602 «Исследование перспектив применения 3D-модулей в космической радиоэлектронной аппаратуре»*

В настоящее время в развитии электроники и микроэлектроники наблюдаются тенденции к все большей интеграции и миниатюризации изделий. В таких областях, как космическая промышленность, предъявляются жесткие требования к компоновке и массогабаритным характеристикам изделий, печатных узлов и элементной компонентной базе (ЭКБ).

С целью оценки перспектив применения МКМ в бортовой космической аппаратуре по заказу АО ИСС было сформулировано техническое задание (ТЗ) на разработку импульсного усилителя мощности (ИУМ) для управления электродвигателями.

После проведенного системного анализа по выбору материала основания для гибкой печатной платы (ГПП) МКМ принято решение об использовании лавсановых пленок (полиэтилентерефталат, PET). Обоснование выбора материала приведено в таблице [1].

### **Обоснование выбора материала основания для ГПП**

| Требования ТЗ                                                                                                                     | Характеристики материала                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Наземная эксплуатация в составе бортовой аппаратуры (БА): Температура окружающей среды от +5 до +35 °С                            | Рабочий диапазон температур от –60 до +105 °С.<br>Очень низкая стоимость.<br>Низкое влагопоглощение.<br>Хорошая гибкость |
| Относительная влажность не более 80% при +20 °С                                                                                   |                                                                                                                          |
| Атмосферное давление от 900 до 1100 гПа                                                                                           |                                                                                                                          |
| В течение эксплуатации БА в составе КА по целевому назначению в следующих условиях: температура окружающей среды от –20 до +50 °С |                                                                                                                          |
| Пониженное давление – $1,3 \times 10^{-4}$ Па                                                                                     |                                                                                                                          |



Рассмотрим применение технологии МКМ в различных исполнениях: на гибких основаниях; в составе технологии «корпус-на-корпус» (PoP).

Технология МКМ объединяет в себе широкий спектр методов сборки монолитных ИМС, начиная от гибридных интегральных схем (ГИС) и кончая микромодулями, почти полностью изготавливаемыми из кремния. В общем случае МКМ представляет собой две или более монолитные ИС любой степени интеграции, помещенные на многослойной подложке в общий корпус и соединенные между собой с помощью одно- или многоуровневой системы межсоединений.

По расположению кристаллов различают МКМ с планарным (одноуровневым) размещением кристаллов, с установкой кристаллов на ребро, с кристаллами в нескольких уровнях (трехмерные модули) (рис. 1). По количеству кристаллов можно выделить МКМ малой (от 2–4 до 20–30 ИС), средней (от 30–50 до 100 ИС) и большой (свыше 100 ИС) сложности. По способу формирования проводников МКМ различают с толстопленочными, тонкопленочными проводниками и со смешанным типом используемых проводников [2, 3].

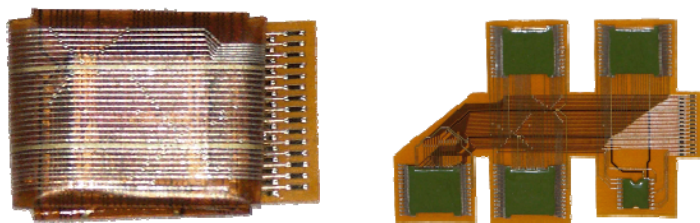


Рис. 1. Многокристальный модуль памяти на гибком полиимидном основании в трехмерном (3D) исполнении

Первоначально печатная плата проектируется, как при двумерном (плоском) варианте исполнения, с последующим анализом помехозащищенности в трехмерном исполнении. На этапе сборочно-монтажных операции полиимидную плату со смонтированными на ней микросхемами сворачивают в трехмерную структуру. Возможно свертывание полиимидной основы не в прямоугольную, а в кубическую форму, что значительно увеличивает плотность компоновки [2, 3].

Достоинства: уменьшение массогабаритных показателей; высокая плотность межсоединений; высокая надежность; возможность сочетания передовых технологий; ремонтпригодность.

Проблемы: конструирование и тестирование; выбор материалов и процессов; межблочный монтаж.

Технология «корпус-на-корпус» (Package-to-Package) – технология монтажа микросхем, при которой компоненты с матричным рас-

положением выводов устанавливаются друг на друга штабелем. При этом все корпуса кроме верхнего, имеют контактные площадки на верхней стороне для установки следующего компонента (рис. 2).

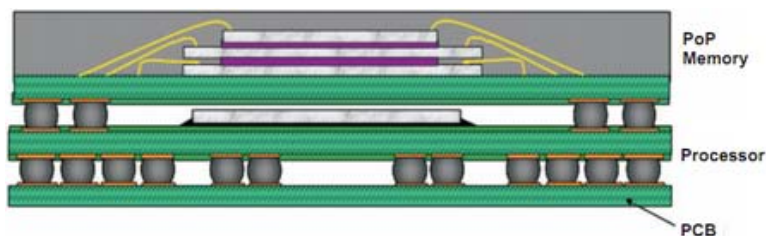


Рис. 2. Технология Package-to-Package (PoP) на примере процессоров с микросхемами памяти PoP

При сборке на печатную плату устанавливается нижний компонент, после чего производится захват компонента следующего уровня, окунание его во флюсующий состав и установка на предыдущий компонент. При монтаже верхних уровней обычно паяльная паста не применяется в силу сложности ее нанесения, а для формирования паяных соединений используется припой, содержащийся в самих выводах [2, 3].

Достоинства: обеспечивает высокую плотность компоновки; экономит пространство на печатной плате; сокращает длину проводников тем самым повышает их помехозащищенность и увеличивает быстродействие системы в целом.

Недостатки: требует достаточно высокой точности оборудования (установщиков); высокого уровня технологий монтажного производства; необходимо знать оптимальные временные промежутки нахождения печатной платы на этапах пайки.

В результате анализа рассмотренных технологий МКМ невозможно однозначно выбрать ту или иную для проектирования ИУМ, так как необходима информация о работе схемы электрической принципиальной.

Таким образом для того, чтобы реализовать ИУМ в качестве МКМ, необходимо и достаточно знать карту рабочих режимов ЭКБ ИУМ; провести компоновку ЭКБ с учетом выделяемой мощности; провести моделирование температурного режима ИУМ на всех вариантах эскиза конструкции и проанализировать полученные результаты.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Назначение и свойства гибких и гибко-жестких печатных плат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rezonit.ru/support/articles/technology/10/> (дата обращения: 21.02.2017).

2. *Конструктивные* модули ЭВМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.uzluga.ru/potrb/3> (дата обращения: 21.02.2017).

3. *Грушевский А., Блинов Г.* Трехмерные многокристалльные модули на гибком основании // *Электроника. НТБ.* – 2008. – Вып. 3. – 100 с.

## **АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ ДАННЫХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗНЫХ ВИДОВ ПОЛЯРИЗАЦИИ В МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАТОРАХ**

***Д.Е. Понамарев, студент каф. КИПР***

*Научный руководитель Е.В. Масалов, д.т.н., проф.*

*Томск, ТУСУР, dmitri4ponamarev@gmail.com, e-v-masalov@yandex.ru  
Проект ГПО КИПР-1302 «Исследование эффективности методов  
дистанционного зондирования метеообъектов радиолокационным  
способом»*

В процессе развития метеорологических радиолокаторов применялись различные виды и комбинации поляризаций как излучаемого, так и принимаемого сигналов. Например, на начальных этапах развития производилось излучение сигнала с круговой и приём с линейной поляризациями. В современных радиолокаторах, как правило, производится одновременное излучение и последующий приём сигналов с горизонтальной и вертикальной поляризациями. Однако этот способ страдает от низкого динамического диапазона [1].

На сегодняшний момент существуют предположения о том, что будущие метеорологические радиолокаторы будут реализовывать гибридную поляризацию, режим работы которой включает в себя передачу линейно поляризованной волны с ориентацией  $45^\circ$  и приём горизонтальной или вертикальной компонент обратнорассеянного сигнала.

Причинами такого выбора являются как теоретические, так и практические. Теоретическое предположение заключается в том, что погодные цели наиболее часто удовлетворяют симметрии зеркального отражения относительно вертикальной оси. С практической точки зрения предполагается, что системы обработки таких сигналов будут проще и дешевле. Кроме того, гибридная поляризация была задумана для эффективного измерения дифференциальной радиолокационной отражаемости  $Z_{DR}$ .

Рассматривать вопрос информативности данных лучше всего с точки зрения модуля поляризационного отношения. Его чувствительность к цели зависит от состояния передачи. Чтобы исследовать эту зависимость, необходимо произвести обработку и анализ поляризметрических данных с метеорологических радиолокаторов, построив за-

висимость модуля поляризационного отношения от состояния передачи (рис. 1) [2].

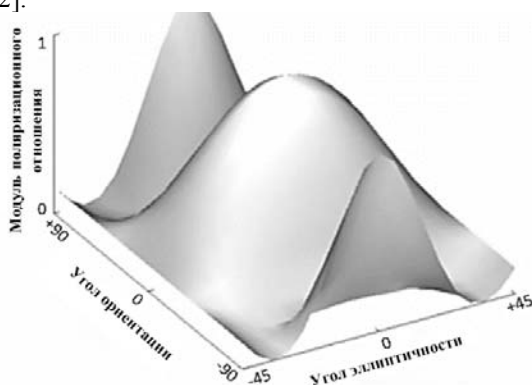


Рис. 1. Зависимость модуля поляризационного отношения от состояния передачи

Из результатов видно, что модуль поляризационного отношения достигает минимального значения при круговой поляризации и максимального значения при горизонтальной и вертикальной линейной поляризации. В случае дождя в горизонтальной или вертикальной линейной передаче (максимальный модуль поляризационного отношения) он страдает от низкого динамического диапазона, при круговой поляризации способность извлечения информации значительно усиливается.

Если предположить, что все погодные радиолокационные цели попадают в одну из двух указанных выше категорий, то результаты могут быть обобщены следующим образом:

1. Модуль поляризационного отношения при горизонтальной или вертикальной передачах всегда максимален.
2. Модуль поляризационного отношения при использовании круговой поляризации всегда минимален.

Кроме того, дополнительные исследования показывают, что модуль поляризационного отношения линейно поляризованной волны с ориентацией  $45^\circ$  минимален для анизотропных и максимален для изотропных целей. Этот факт даёт возможность получать информацию о широком диапазоне гидрометеоров [2].

Таким образом, наиболее оптимальным видом поляризации излучаемого сигнала для применения в метеорологических радиолокаторах является круговая поляризация и линейная поляризация с углом ориентации  $45^\circ$ , которая только начала активно изучаться и воплощаться в жизнь.

Также несомненный интерес представляет использование сочетания сигналов с круговой и линейной поляризациями и приём сигналов с этими же поляризациями. В этом случае возможна оценка так называемой модифицированной дифференциальной радиолокационной отражаемости  $Z_{DR}^*$ .

$$Z_{DR}^* = \frac{20 \lg |\dot{E}_{кр}|}{|\dot{E}_x|},$$

где  $|\dot{E}_{кр}|$  – амплитуда излучённого и принятого сигнала с круговой поляризацией;  $|\dot{E}_x|$  – амплитуда излучённого и принятого сигнала с горизонтальной поляризацией.

Воздействие среды распространения, заполненной гидрометеорами, оказывает негативное влияние на поляризационные характеристики сигналов [3]. Как показывают результаты расчётов  $Z_{DR}^*$  с использованием методик, изложенных в [4] и [5], на изменение этого параметра существенное воздействие оказывают величины дифференциального фазового сдвига  $\Delta\Phi$  [град/км] и дифференциального ослабления  $\Delta\alpha$  [дБ/км]. На рис. 2 приведена  $Z_{DR}^*$  для интенсивности осадков  $R = 150$  мм/ч и углов  $\beta_n$  рассогласования базиса РЛС и собственного поляризационного базиса среды распространения, равных  $0^\circ$ ,  $11,25^\circ$ ;  $22,5^\circ$ ;  $33,75^\circ$ ;  $45^\circ$ ;  $67,5^\circ$ ;  $78,75^\circ$  и  $90^\circ$ . Расчёты проводились для длины волны  $\lambda = 3$  см, для которой  $\Delta\Phi$  и  $\Delta\alpha$  равны 14 град/км и 0,8 дБ/км соответственно [4].

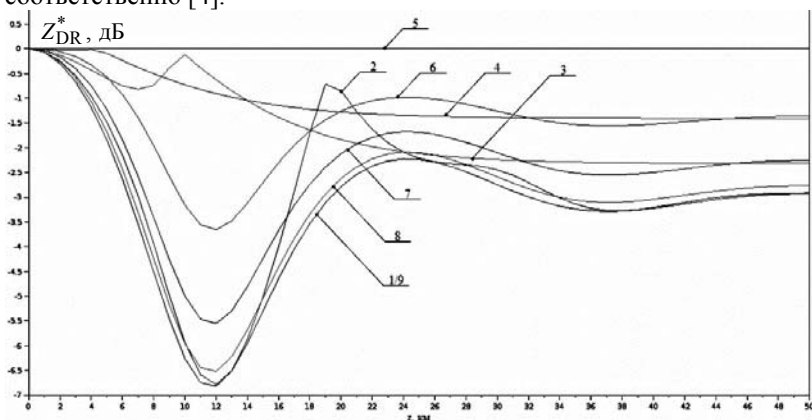


Рис. 2. Зависимость модифицированной дифференциальной радиолокационной отражаемости от длины трассы для  $R = 150$  мм/ч соответственно  
 1 – при  $\beta_n = 0^\circ$ ; 2 –  $11,25^\circ$ ; 3 –  $22,5^\circ$ ; 4 –  $33,75^\circ$ ; 5 –  $45^\circ$ ; 6 –  $56,25^\circ$ ;  
 7 –  $67,5^\circ$ ; 8 –  $78,75^\circ$ ; 9 –  $90^\circ$

Видно, что имеет место существенное изменение  $Z_{DR}^*$  в процессе прохождения трассы сигналом.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Richard D. Scott, Paul R. Krehbiel, William Rison*. The Use of Simultaneous Horizontal and Vertical Transmissions for Dual – Polarization Radar Meteorological Observations // Электронный журн. – 2001. – URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/d82a/431754d3024cbfd346fed825928017f447bb.pdf> (дата обращения: 02.03.2017).

2. *Michele Galletti, Madhu Chandra, Thomas Börner*. Degree of Polarization for Weather Radars // Proceedings of IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) [Электронный ресурс] // Электронный журн. – 2007. – URL: <http://elib.dlr.de/47864/1/PID397572.pdf> (дата обращения: 02.03.2017).

3. *Вовшин Б.М., Вылегжанин И.С., Жуков В.Ю., Пушков А.А., Щукин Г.Г.* Теория и практика поляризационных изменений в метеорологической радиолокации [Электронный ресурс] // Матер. V Всерос. науч. конф. «Вторые Всероссийские Армандовские чтения». – 2012. – Т. 1. – С. 49–54.

4. *Масалов Е.В., Янов С.В.* Влияние среды, заполненной гидрометеорами, на оценку дифференциальной радиолокационной отражаемости // Доклады ТУСУРа. – 2011, май. – Ч. 6. – С. 295–297.

5. *Татаринов В.Н., Татаринов С.В., Лигтхарт Л.П.* Введение в современную теорию поляризации радиолокационных сигналов. Поляризация плоских электромагнитных волн и ее преобразования. – Томск, 2006. – Т. 1.

### РАСПРОСТРАНЕНИЕ СИГНАЛОВ В ОДНОРОДНОЙ И НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДАХ

***А.С. Рудометова, К.В. Кокоулин, студенты каф. КИПР***

*Научный руководитель Е.В. Масалов, проф. каф. КИПР, д.т.н.*

*Томск, ТУСУР, [nastyarydi@mail.ru](mailto:nastyarydi@mail.ru)*

*Проект ГПО КИПР-1302 «Исследования эффективности методов дистанционного зондирования метеообъектов радиолокационным способом»*

В настоящее время наибольшее применение получили простейшие методы радиолокации, основанные на излучении и приеме линейных ортогональных и круговых поляризаций. Среди них наибольшее распространение получили методы дифференциальной радиолокационной отражаемости и модифицированной дифференциальной радиолокационной отражаемости за счет их относительно несложной реализации. Они позволяют получить информацию о метеообразованиях, учитывающую их поляризационно-анизотропные свойства. По результатам метода дифференциальной радиолокационной отражаемости можно предполагать размер и форму капель метеообразования

[1]. Однако остается много нерешенных вопросов, связанных с оцениваем измерения интенсивности осадков и с применением поляризационных оценок в алгоритме распознавания опасных явлений. Анализ проводимых исследований показывает, что измеряемые на основе этих методов параметры подвержены воздействию различных факторов.

Одним из факторов, существенно воздействующим на поляризационную структуру радиолокационного сигнала в процессе его распространения в среде, заполненной гидрометеорами, является наличие дифференциального фазового сдвига  $\Delta\phi$  и дифференциального ослабления  $\Delta\alpha$ .

При рассмотрении случая, когда ориентация измерительного базиса, базиса среды распространения и поляризационного базиса лоцируемого участка метеообразования совпадает, учет воздействия среды распространения не представляется трудным. Полученные предварительные результаты определения зависимостей дифференциальной радиолокационной отражаемости  $Z_{DR}(z)$  и модифицированной дифференциальной радиолокационной отражаемости  $Z_{CDR}(z)$  от длины трассы  $z$  для различных интенсивностей дождя показывают, что необходимо учитывать воздействие дифференциальных факторов ( $\Delta\phi$  и  $\Delta\alpha$ ) на поляризационную характеристику сигнала в процессе распространения от передней границы метеообразования к периферии. То есть поляризационные характеристики в большей степени зависят от поляризационных факторов среды [2].

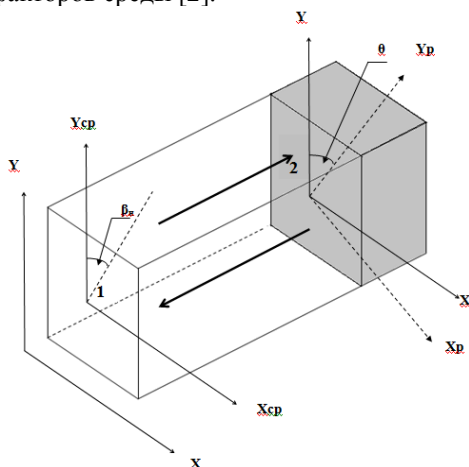


Рис. 1. Графическое представление процесса распространения радиолокационного сигнала в случае несовпадения рассеивающего и измерительного базисов: область 1 – измерительный базис (базис РЛС); 2 – базис рассеивающего участка

Однако наиболее интересным и значимым для практики является случай несовпадения базиса РЛС с собственным базисом среды и лоцируемым участком, учитывая, что сигнал распространяется в однородной среде, а рассеяние происходит анизотропным участком, заполненным гидрометеорами (рис. 1).

Этот случай также предусматривает необходимость учета степени поляризационной анизотропии лоцируемого метеообъема.

Таким образом, при решении задач о дистанционном зондировании метеообъема необходимо рассматривать не идеализированные погодные условия, а реальные, в процессе распространения в которых на изменение поляризационных характеристик сигнала влияет степень поляризационной анизотропии, обуславливаемая размерами отдельных гидрометеоров. Анализ характера изменения  $Z_{DR}(z)$  и  $Z_{CDR}(z)$  при появлении степени анизотропии также требует дальнейших исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Масалов Е.В., Ещенко С.Ю. Влияние ориентации собственного базиса метеообъекта на точностные характеристики поляризационного радиолокатора // Доклады Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. – 2011. – № 2(24), ч. 3. – С. 14–15.

2. Татаринов В.Н., Татаринов С.В., Лигтхарт Л.П. Введение в современную теорию поляризации радиолокационных сигналов. – Т. 1: Поляризация плоских электромагнитных волн. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. – С. 15–299.

#### РАЗВИТИЕ ПЛАЗМЕННЫХ ЗВУКОИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

*Д.Г. Старосек, аспирант каф. КИПР*

*Научный руководитель Д.В. Озёркин, доцент каф. КИПР, к.т.н.*

*Томск, TVCYP, ozerkin.denis@yandex.ru*

Акустические системы уже достаточно давно плотно вошли в жизнь человека. Практически в каждом современном доме имеется звуковоспроизводящее устройство самых различных видов и классов: от простейшего настенного радио до напольной акустической системы Hi-End класса. Однако практически все звукоизлучатели имеют схожие принцип действия и конструкцию. Традиционным исполнением звуковых излучателей является динамическая головка (ДГ). ДГ – устройство, в котором происходит преобразование электрического сигнала в звуковой. Такое преобразование происходит за счет движения звуковой катушки с проводом в постоянном магнитном поле. В результате этих колебаний происходят механические колебания, ко-



которые передаются диффузору, затем окружающему воздуху [1]. Конструкция головки с подвижной катушкой разработана еще в 1898 г. Оливером Лоджем и не лишена принципиальных недостатков. К таким недостаткам можно отнести массу подвижной части динамика, упругие силы подвеса диффузора, возникновение паразитных резонансных явлений и др. Стоит отметить, что полностью избавиться от искажений звука, вызванных вышеописанными свойствами, невозможно. А незначительные усовершенствования, как правило, становятся причиной резкого увеличения стоимости. В связи с этим было предложено разработать конструкцию, у которой отсутствуют подобные недостатки.

В конце XIX в. в качестве уличного освещения в Европе широко использовался свет электрической дуги, зажигаемой между угольными электродами. Дуговая лампа изображена на рис. 1. Среди недостатков такого метода можно отметить характерный шум, издаваемый разрядом. Британский физик Вильям Ду Боис Дуддел (William Du Bois Duddell, 1869–1942), работавший над проблемой уменьшения громкости шума уличного освещения, в своих опытах открыл возможность изменения тона издаваемого звука. Он обнаружил, что варьируя параметры цепи питания дуговой лампы, можно контролировать тембр и уровень звука [2].



Рис. 1. Дуговая лампа. Свеча Яблочкова

Практическое применение «дуге» нашлось в 1950-е годы, когда советские радиолюбители продемонстрировали звуковоспроизводящий агрегат с ионофоном [3].

Позже одними из первых достоинства плазменных излучателей оценили немецкие инженеры. При создании своей акустики они исходили из того, что человеческий слух имеет феноменальное разрешение. Исследования показали, что даже не слишком тренированный слушатель замечает изменение громкости на 0,2 дБ, тембра с 1000 до 1003 Гц и временную задержку между сигналами порядка 10 мкс. Динамический диапазон слухового аппарата человека шире, чем у формата CD-Audio, и составляет порядка 85 дБ. Именно поэтому разработка акустической системы началась с поиска «идеального» высокочастотного (ВЧ) звена – с линейной амплитудно-частотной характери-

стикой (АЧХ) вплоть до ультразвуковых частот, широкой дисперсией и когерентным излучением. Перепробовав массу вариантов, разработчики пришли к забытой плазменной технологии, которая при современном уровне производства уже не казалась столь сложной и опасной [4].

В настоящее время производством плазменных излучателей занимается всего несколько зарубежных компаний и акустические системы, в состав которых входят такие излучатели имеют весьма высокую стоимость. При этом основную часть стоимости определяет не столько плазменный излучатель, сколько дорогостоящие материалы акустической системы в целом (рис. 2).



Рис. 2. Плазменный звукоизлучатель Lansche Audio

В результате было предложено разработать акустическую систему с плазменным излучателем, доступную широкому кругу потребителей. Предполагается использовать настольную акустическую систему среднего класса в качестве донора, в состав которой будет включен плазменный излучатель. В результате ожидается получить доступную акустическую систему бытового назначения, которой будут присущи все преимущества плазменных излучателей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Динамическая* головка. Технообзор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tehnobzor.com/schemes/audioteh/59-dinamicheskaya-golovka.html> (дата обращения: 1.03.2017).
2. *Электронная* музыка. Поющая дуга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gazetaigraem.ru/a2200710> (дата обращения: 1.03.2017).
3. *Ионофон* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ldsound.ru/ionofon> (дата обращения: 1.03.2017).
4. *Акустика* Lansche Audio №5, компоненты Metronome и Symphonic Line [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.salonav.com/arch/2009/11/060.html> (дата обращения: 1.03.2017).

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОДНОРОДНОЙ И НЕОДНОРОДНОЙ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ИМПЕДАНС ЛИНЕЙНЫХ АНТЕНН

*К.А. Джакыпов, Т.Г. Черныш, студенты;*

*М.М. Абулкасымов, ассистент каф. КИПР*

*Научный руководитель А.С. Шостак, проф. каф. КИПР, д.т.н.*

*Томск, ТУСУР, tima\_95@mail.ru*

*Проект ГПО КИПР-1303 «Исследование радиолокационных методов  
подповерхностного зондирования»*

Современные радиофизические методы дистанционного зондирования способны с высокой точностью получить данные о текущем состоянии и свойствах исследуемой неоднородной диэлектрической структуры. Очень часто зондирование проводится с помощью антенны, которая находится на расстоянии, соизмеримом с рабочей длиной волны. В данной работе теоретически исследуется влияние неоднородных сред с различными профильными распределениями диэлектрической проницаемости [1] (рис. 1) на импеданс линейной полуволновой антенны, расположенной вблизи границы раздела. Исследование влияния подстилающей среды на импеданс может быть использовано при конструировании приземных антенн, а также для разработки методов зондирования неоднородных плоскостойких сред.

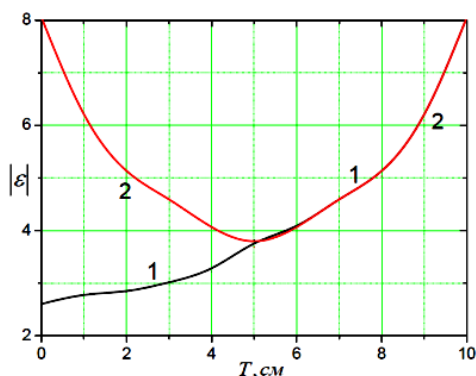


Рис. 1. Исследуемые профильные распределения диэлектрической проницаемости по глубине  $T$

Геометрия задачи исследуемой слоистой структуры представлена в [2]. Перед тем как перейти к рассмотрению неоднородной плоскостойкой структуры, был рассмотрен более простой случай влияния однородной структуры на импеданс линейной полуволновой антенны.

Была рассмотрена зависимость модуля полного сопротивления антенны от приведенной высоты антенны  $h/\lambda$  для различных сред (рис. 2). Рабочая длина волны для упрощения расчетов была принята равной 1. Расчеты внесенного сопротивления проводились по формулам [2] для трехслойной модели.

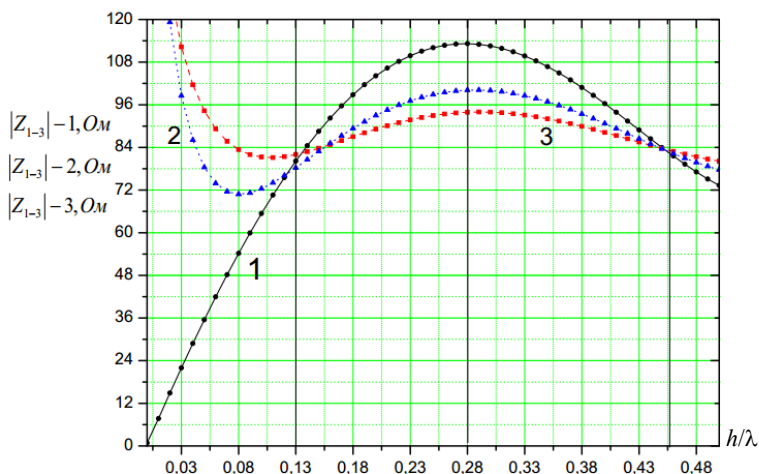


Рис. 2. Графики зависимости модуля полного сопротивления линейной антенны от приведенной высоты антенны для различных однородных подстилающих поверхностей. Кривая 1 –  $\varepsilon_2 = 2,5 - 10^7 j$  (металлоподобная); 2 –  $\varepsilon_2 = 5 - 0,01 j$  (диэлектрик); 3 –  $\varepsilon_2 = 15 - 0,1 j$  (диэлектрик)

Из графика (см. рис. 2) видно, что отношением, наиболее предпочтительным для исследования влияния различных сред на параметры линейных антенн, является  $h/\lambda = 0,28$ . На данной приведенной высоте располагаются экстремумы сопротивления для различных сред, использование которых позволяет избежать неоднозначностей при определении сопротивлений, как, например, при значениях  $h/\lambda = 0,13$  и  $h/\lambda = 0,455$  (см. рис. 2), в которых графики пересекаются, и нельзя однозначно определить, какая из сред повлияла на импеданс.

В рамках данной работы были исследованы зависимости коэффициента отражения для нормального падения плоских волн и внесенного в антенну сопротивления от частоты для выбранных профильных распределений (см. рис. 1). Основываясь на выводах, сделанных из графика на рис. 2, была выбрана высота антенны  $h = 0,28 \cdot \lambda$ . Длина плеча антенны  $l = \lambda/4$ , каждый конечный слой со второго по одиннадцатый имеют толщину 1 см. Диапазон частот, выбранных для исследования, 200–1200 МГц.

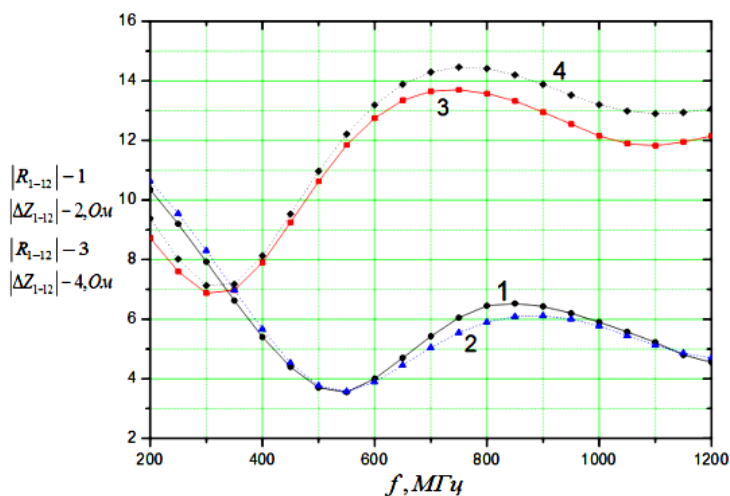


Рис. 3. Графики зависимостей модуля внесенного сопротивления в антенну и коэффициентов отражения при использовании масштабного коэффициента  $K$ . Кривые 1 и 2 – для первого распределения, 3 и 4 – для второго

В ходе анализа графиков коэффициента отражения для нормального падения плоских волн и внесенного сопротивления было выявлено, что зависимости имеют схожую форму. Эта схожесть позволила при использовании масштабного коэффициента перейти от одной зависимости к другой. В частности, важным переходом является переход от расчета коэффициента отражения к внесенному в антенну сопротивлению (рис. 3). Это связано с тем, что расчеты сопротивлений по формулам статьи [2] сложнее и требуют больше времени. Данное упрощение позволяет с допустимой погрешностью использовать расчеты коэффициента отражения для прогнозирования изменений внесенного сопротивления в антенну.

Таким образом, графики позволяют сделать вывод о возможности контроля, внесенного с однородной и неоднородной структурой в антенну сопротивления, что может быть использовано для лучшего согласования антенно-фидерных устройств, при настройке на определенные частоты. Также если проводить зондирование поверхности полосой частот, при этом измеряя сопротивление антенны, можно по полученным зависимостям внесенного сопротивления от частоты определить характер подстилающей поверхности. Подобный контроль диэлектрических параметров среды может быть использован для отслеживания возникновения дефектов в известной структуре со вре-

менем. Следует также учитывать то, что для различных толщин многослойных поверхностей нужно индивидуально подбирать рабочую длину волны, так как от нее зависит глубина зондирования и способность разрешить тонкие слои.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шостак А.С., Першанин Д.А. Зондирование неоднородных материальных сред плоскими волнами горизонтальной и вертикальной поляризации // Изв. вузов. Физика. – 2012. – №8/3. – С. 128–129.
2. Шостак А.С., Лукьянов С.П., Дума А.Р., Загоскин В.В. Анализ теоретических и экспериментальных исследований влияния диэлектрических свойств контролируемого полупространства на параметры линейных вибраторных антенн // Журнал радиоэлектроники. – 2001. – №1. – С. 1–11.
3. Финкельштейн М.И., Мендельсон В.Л., Кутев В.А. Радиолокация слоистых земных покровов. – М.: Сов. радио, 1977. – 173 с.
4. Абулкасымов М.М., Шостак А.С., Черныш Т.Г. Метод неразрушающего контроля состояния взлетно-посадочной полосы // Матер. XVII Междунар. науч.-техн. конф., 19 мая 2016 г. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2016. – С. 217–219.

## **ПОДСЕКЦИЯ 1.3**

### **РАДИОТЕХНИКА**

*Председатель – Семенов Э.В., доцент, проф. каф. РЗИ, д.т.н.;  
зам. председателя – Артющев С.А., инженер каф. КУДР, к.т.н.*

#### **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СИМИСТОРНЫМ БЛОКОМ**

*Б.В. Белецкий, магистрант; А.С. Задорин, д.ф.-м.н., проф. каф. РЗИ  
Томск, ТУСУР, bronya-01-92@inbox.ru*

*Проект ГПО РЗИ-1503 «Многозонная термическая установка  
по выращиванию монокристаллических оптических  
и полупроводниковых материалов»*

В настоящее время сотрудники ООО «ЛЮК» выполняют главным образом работы по двум основным направлениям (в двух областях) высоких технологий:

- разработка технологий производства монокристаллических оптических и полупроводниковых материалов;
- производство конкретных монокристаллических оптических и полупроводниковых материалов и функциональных элементов на их основе ( $\text{ZnGeP}_2$ ). Объектом исследования является вертикальная прецизионная многозонная термическая установка для выращивания оптических кристаллов по методу Бриджмена–Стокбаргера [1, 2].

Цель данной статьи – модернизировать систему управления вертикальной прецизионной многозонной термической установки для повышения точности поддержания температуры.

В данном проекте разрабатывается устройство на базе микроконтроллера фирмы AVR семейства mega. Эти контроллеры характеризуются наиболее развитой периферией, наибольшими среди всех микроконтроллеров AVR объемами памяти программ и данных, поддерживают несколько режимов пониженного энергопотребления, имеют блок прерываний, сторожевой таймер и допускают программирование непосредственно в готовом устройстве [3].

При работе с платой стабилизации мощности выявился ряд недостатков. Самый главный недостаток заключается в схеме управления платой, а именно аналоговое управление. Так, при работе на мощ-

ностях ниже 10% наблюдаются помехи на входной линии, что негативно сказывается на процессе регулирования термической установкой. Дабы исключить это влияние на схему, было решено перейти к цифровому управлению платой. Управлять отдаваемой в нагрузку мощностью можно, регулируя количество периодов / полупериодов сетевого тока через эту нагрузку. Или просто включать / выключать ток через нагрузку с определённым соотношением. Данный метод регулировки подходит для сильно инерционных нагрузок. Микроконтроллер является узлом формирования импульсов управления симистора. Он отслеживает моменты перехода сетевого напряжения через нуль [4, 5] и в нужный момент производит включение симистора. Принципиальная схема фазоимпульсного управления мощностью приведена на рис. 1.

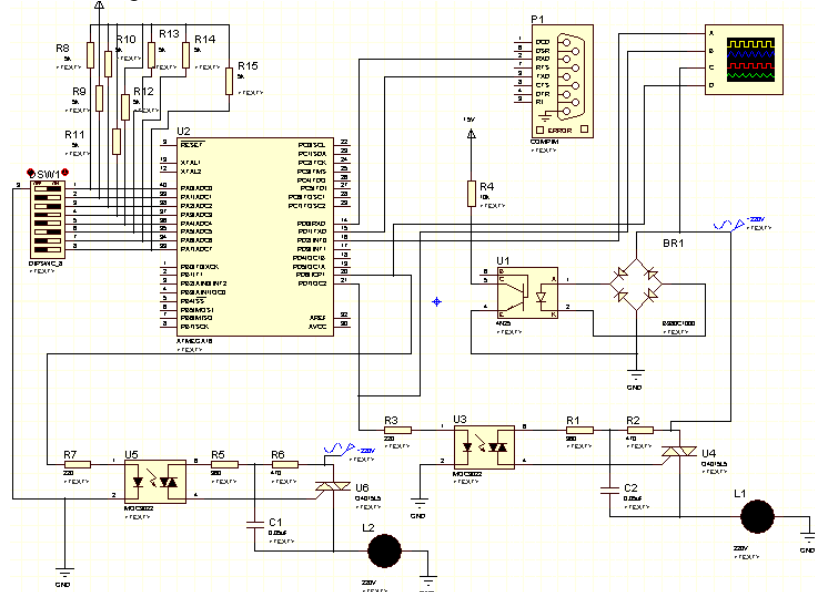


Рис. 1. Схема моделирования фазоимпульсного управления силовым симистором

В ходе исследовательской работы для повышения точности поддержания температуры в термической установке было выбрано направление к переходу от аналогового к цифровому управлению температурой холодного конца термопар. С помощью микроконтроллера управляя симисторным блоком, решили ряд недостатков, такие как нестабильная работа при низких мощностях, дребезг импульса отключения симистора, высокая энергия потребления.



## ЛИТЕРАТУРА

1. *Методы* выращивания кристаллов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://megabook.ru/article>
2. *Метод* Бриджмена–Стокбаргера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://chem21.info/info/195809/>
3. *AVR*: настройка таймера счетчика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mainloop.ru/avr-atmega/avr-timer-counter.html>
4. *Управление* мощностью [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://termodat.msk.ru/article/upravlenie-moschnostyu>
5. *Шонфелдер Герт, Шнайдер Корнелиус*. Измерительные устройства на базе микропроцессора ATmega. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 288 с.

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДВУМЕРНОЙ ДИАГНОСТИКИ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ МАТЕРИАЛОВ В КВАЗИОПТИЧЕСКИХ ПУЧКАХ

*А.И. Бердюгин, В.Ю. Выговский,*

*Р.А. Кремзер, студенты, каф. радиоэлектроники*

*Научный руководитель А.В. Бадьин, доцент, к.ф.-м.н.*

*Томск, ТГУ, alekcahdr@gmail.com*

Исследование электрофизических свойств материалов является ключевой задачей современной науки. Одним из перспективных направлений таких исследований является диагностика неоднородных сред. Современные широко применяемые методы диагностики используют технику, работающую в инфракрасном, ультрафиолетовом, а также рентгеновском диапазонах частот. Данные методы имеют существенный недостаток – отрицательное влияние на биологические объекты [1]. Актуальным становится вопрос использования терагерцового излучения в качестве альтернативы применяемым методам. Основными достоинствами терагерцовой диагностики является то, что большинство характерных спектральных особенностей различных сред, а также спектры инородных включений попадают именно в терагерцовый диапазон. Немаловажным является и тот факт, что терагерцовое излучение не обладает вредными для биологических объектов факторами [2]. Однако существенным недостатком такой методики является необходимость осуществления перемещения исследуемого объекта относительно пучка электромагнитного излучения.

Одним из путей решения этой проблемы является создание автоматизированной системы двумерной диагностики неоднородностей материалов в квазиоптических пучках (рис. 1).

Перемещение образца осуществляется посредством механизма двумерной ориентации относительно пучка электромагнитного излучения в тракте спектрометра.

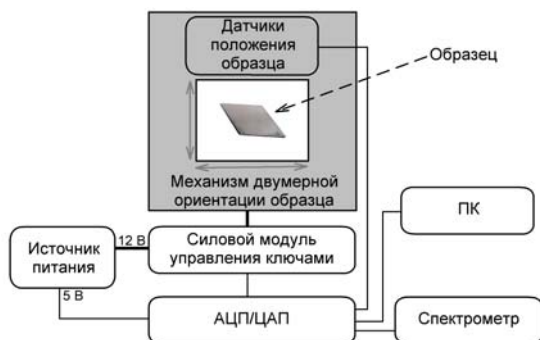


Рис. 1. Блок-схема системы двумерной диагностики неоднородностей материалов

В качестве приводов механизма позиционирования использовались биполярные шаговые двигатели, обмотки которых переключаются с помощью силового модуля управления ключами, представляющего собой схему Н-мостов с гальванической развязкой оптопарами в цепи управления. Питание механизма осуществлялось от источника постоянного напряжения 12 В. Система оснащена обратной связью в виде датчиков начального (нулевого) положения образца. Сбор информации и управление системой производились двенадцатиразрядным аналого-цифровым преобразователем, в роли которого применялся модуль ввода-вывода E-154 фирмы L-card. Через аналоговый вход модуля организована линия связи с детектором спектрометра. Она предназначена для записи значения интенсивности излучения, пройденной через образец. Управление модулем E-154 осуществлялось персональным компьютером с установленным программным обеспечением, написанным на языке LabVIEW. На рис. 2 представлена лицевая панель написанной программы.

Возможности программы позволяют ввести следующие параметры диагностики материалов: координаты позиции, с которой следует начать процесс сканирования ( $X$ ,  $Y$ ), размер области сканирования (Макс.  $X$ , Макс.  $Y$ ), величину шагов по осям  $X$  и  $Y$ , величину окна для сканирования. К тому же после окончания сканирования либо принудительной остановки программы предоставляется возможность сохранить полученные результаты в файл. Программа оснащена функцией пересчёта результатов по введённой в неё формуле. Полученные результаты отображаются с помощью графика интенсивности. В программе предусмотрено диалоговое окно для подсказок и сообщений о работе системы. Управление программой осуществляется путём на-

жания на кнопки «пуск», «стоп» и «калибровка». При выборе калибровки система перемещает образец в начальное (нулевое) положение.

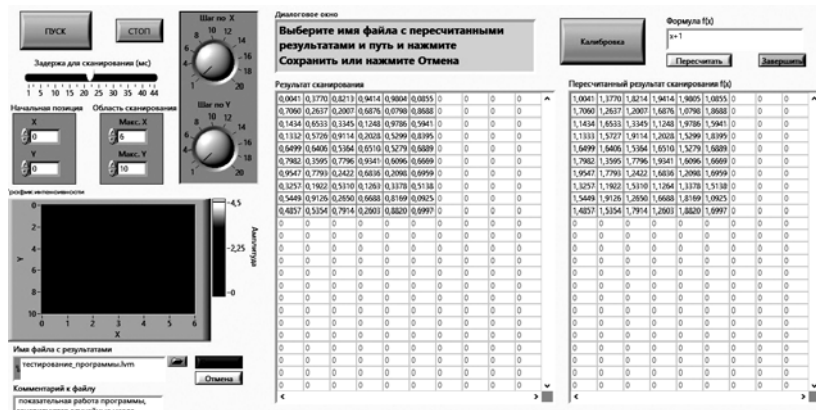


Рис. 2. Лицевая панель программы управления системой двумерной диагностики неоднородностей материалов

Алгоритм программы дан на рис. 3.

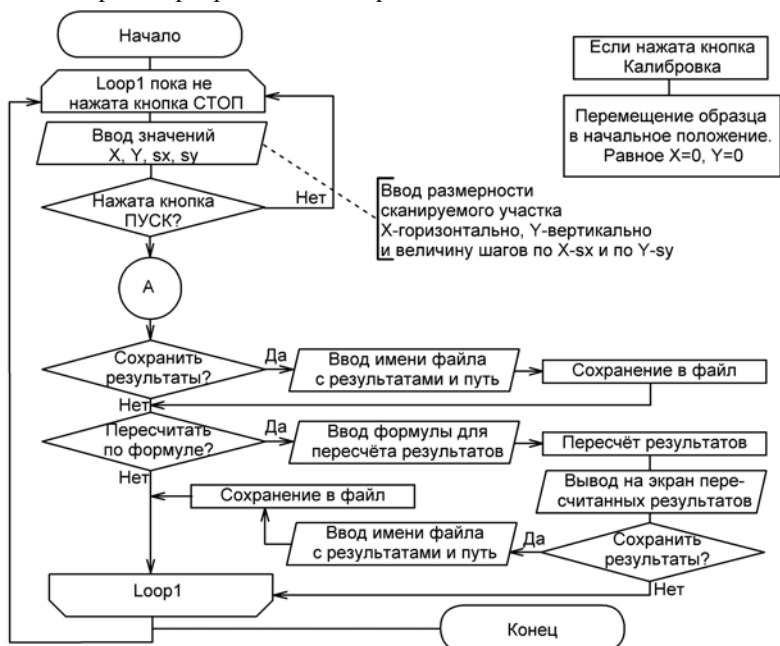


Рис. 3 (начало)

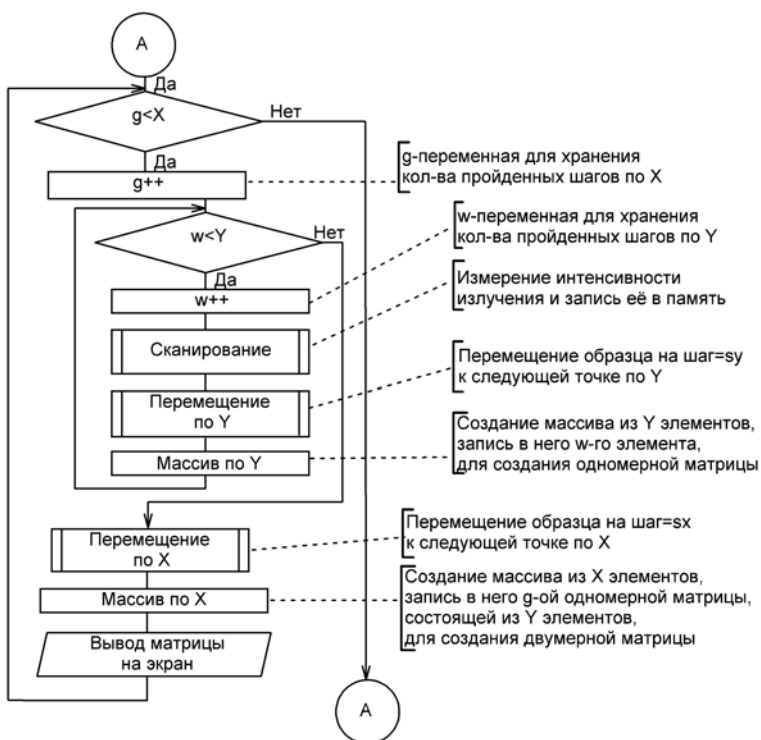


Рис. 3 (окончание). Блок-схема программы системы двумерной диагностики неоднородностей материалов

На рис. 4, а изображён изготовленный образец, а на рис. 4, б показан график пройденной сквозь него интенсивности излучения (напряжение с выхода детектора).

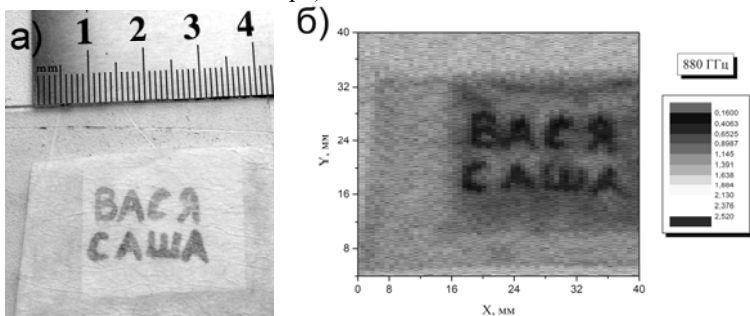


Рис. 4. Изготовленный образец – а;  
график интенсивности пройденного излучения через образец – б

Апробация системы двумерной диагностики неоднородностей материалов была произведена в центре коллективного пользования «Центр радиофизических измерений, диагностики и исследования параметров природных и искусственных материалов» Национального исследовательского Томского государственного университета. Механизм двумерной ориентации был интегрирован в тракт терагерцового спектрометра СТД-21. В механизме размещался на оргстекле образец из листка бумаги с нарисованными на нём буквами грифелем простого карандаша и поверх заклеенный малярным скотчем.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Пальцев Ю.П., Походзей Л.В., Рубцова Н.Б.* Современное состояние гигиенической регламентации электромагнитных полей и перспективы гармонизации с зарубежными стандартами // Медицина труда и промышленная экология. – 2008. – № 6. – С. 62–65.

2. *Казаринов К.Д.* Биологические эффекты электромагнитного поля терагерцового диапазона // Электронная техника. – 2009. – Т. 1. – С. 48–58

### **ИЗУЧЕНИЕ X-ПАРАМЕТРОВ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ADVANCED DESIGN SYSTEM (ADS)**

***А.В. Местников, А.Н. Глазырин, студенты каф. ТОР***

*Научный руководитель В.Д. Дмитриев, к.т.н., доцент каф. ТОР*

*Томск, ТУСУР, traveller7296@gmail.com*

*Проект ГПО-0703 «Аналоговые СВЧ-устройства»*

X-параметры – эффективный инструмент для анализа и разработки нелинейных цепей, созданный компанией Agilent Technologies. Технология X-параметров – это расширение модели S-параметров на нелинейную область [1].

#### **Постановка задачи**

1. Получение X-параметров из нелинейной модели транзистора.
2. Сравнение результатов анализа по методу гармонического баланса нелинейной модели транзистора и модели, описанной X-параметрами:

#### **Результаты работы**

В качестве нелинейной модели транзистора использована модель полевого транзистора T2G600528 Q3 от производителя Triquint.

Основными элементами схемы помимо самой модели транзистора являются: источник для симулирования входного сигнала (XP\_Source), источники смещения (XP\_Bias), нагрузка (XP\_Load),

разделительные конденсаторы (C1 и C2) и блокировочные дросели (L1 и L2). Источник сигнала предоставляет возможность изменять значения входной мощности, также дополнительные параметры для регулирования (например, изменение частоты) можно задать в параметрах симуляции. Схема для получения X-параметров собрана в соответствии с примером, приведенным в [2].

Схема для получения X-параметров из нелинейной модели транзистора показана на рис. 1.

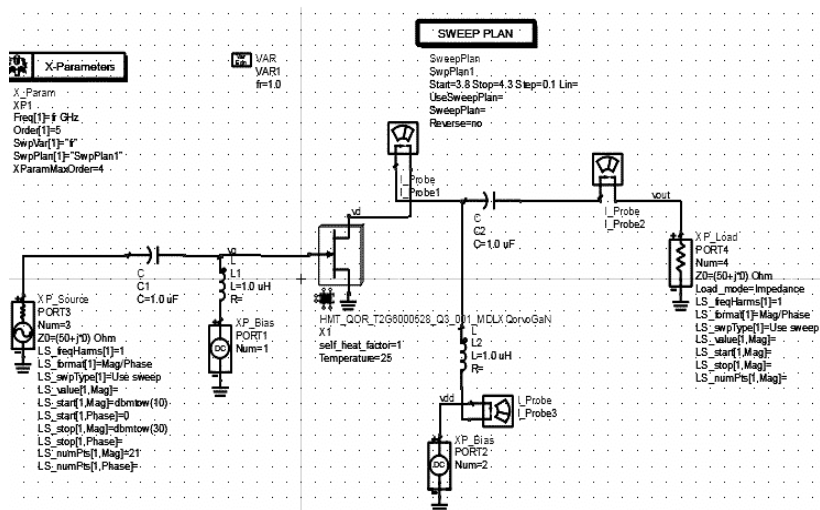


Рис. 1. Схема для получения X-параметров из нелинейной модели транзистора

После того как X-параметры транзистора получены, их можно использовать вместо нелинейной модели нашего транзистора. Далее произведем сравнение результатов анализа по методу гармонического баланса исходной модели транзистора и X-модели.

На рис. 2 приведены зависимости выходной мощности от изменения частоты и входной мощности, сплошная линия отображает результаты, полученные с использованием нелинейной модели транзистора, пунктирная линия – с модели на основе X-параметров, «pin» показывает оси изменения входной мощности в дБм, «fr» показывает изменение частоты в ГГц. Как видно из рисунка, результаты симулирования, полученные при использовании X-модели, имеют малые расхождения с результатами, полученными с использованием нелинейной модели транзистора.

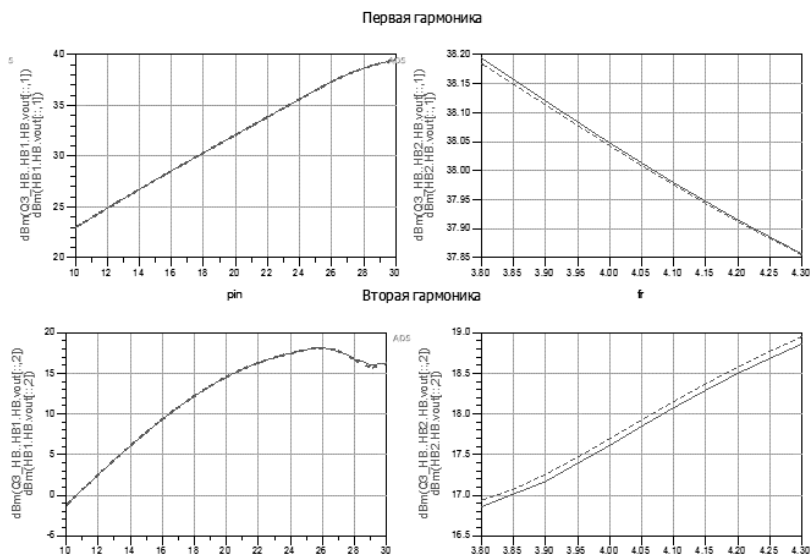


Рис. 2. Зависимость мощности первой и второй гармоники от изменения мощности и частоты

В ходе проделанной работы было изучено применение X-параметров для описания нелинейных устройств. Были получены X-параметры транзистора T2G600528 Q3 от производителя Triquint, а также произведено сравнение результатов анализа на основе метода гармонического баланса нелинейной модели транзистора и модели транзистора, описанной X-параметрами (X-модели). По полученным результатам видно, что расхождения малы. Также следует отметить, что проведение анализа с использованием X-параметров в САПР ADS происходит значительно быстрее чем при использовании нелинейной модели. С учетом того, что модели, описанные X-параметрами, поддерживают каскадное соединение, можно предположить, что расчет радиоэлектронных устройств с использованием X-параметров будет происходить во много раз быстрее, чем с использованием нелинейных моделей и S-параметров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев Е. X-параметры – эффективный инструмент для анализа электрических цепей [Электронный ресурс]. – [http://www.electronics.ru/files/article\\_pdf/3/article\\_3138\\_125.pdf](http://www.electronics.ru/files/article_pdf/3/article_3138_125.pdf)
2. Jialin Cai, Thomas J. X-parameter-Based Frequency Doubler Design // School of Electrical. Brazil. Electronic and Communications Engineering, University College Dublin, Dublin 4, Ireland., [jialin.cai@ucdconnect.ie](mailto:jialin.cai@ucdconnect.ie)

## ПОВЫШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА СВЧ-СМЕСИТЕЛЕЙ

**И.Ю. Дубовской, магистрант каф. ТОР**

*Научный руководитель В.Д. Дмитриев, доцент каф. ТОР, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, liljon133@mail.ru, dvd51@mail.ru*

Для современных радиосистем связи различного назначения трудно переоценить значение устройств СВЧ-диапазона. В зависимости от особенностей назначения радиосистемы на приёмные и передающие СВЧ-тракты накладываются свои требования.

Обычно с целью экономии выходной тракт передатчика работает в режиме, близком к насыщению. При таких режимах даже и при фазовой модуляции возникает опасность появления интермодуляционных искажений (ИМИ) третьего порядка слишком высокого уровня, которые увеличивают ширину спектра сигнала как минимум в два раза. Это может привести к нарушениям связи в соседних каналах. Борьба с ИМИ является важной задачей при решении проблемы увеличения количества передаваемой информации на единицу ширины спектра сигнала.

Целью данной работы является определение аналитических выражений составляющих нелинейного тока при многочастотном входном воздействии на основе рядов Вольтерра [3].

Деформация, вносимая смесителем в сигнал, приводит к изменению спектрального состава (рис. 1). Поэтому, сравнивая спектры на входе и на выходе смесителя по уровню вновь образовавшихся или изменивших свое значение комбинационных составляющих, можно дать оценку нелинейным свойствам анализируемого устройства.

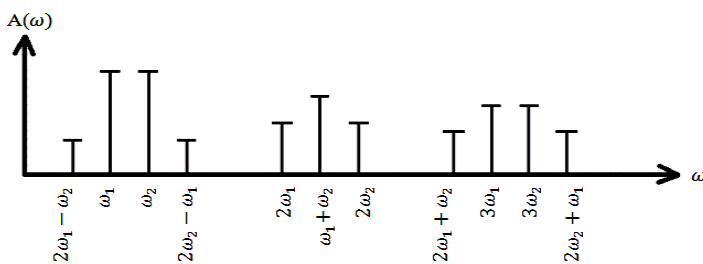


Рис. 1. Гармоники многочастотного сигнала

В общем виде при многочастотном входном воздействии и воздействии второй гармоники на нелинейный элемент кроме основных и разностных частот возникает дополнительная компонента на чётных коэффициентах  $2\omega_1 - \omega_2$  и  $2\omega_2 - \omega_1$ , аппроксимирующих нелинейный



элемент. Это даёт предпосылку к тому, что если коэффициенты  $a_2$  и  $a_3$  будут разного знака, то это приведёт к снижению интермодуляционных искажений.

Для анализа нелинейных преобразований воспользуемся аппроксимацией степенным полиномом третьей степени:

$$i_{нз} = a_1 U(t) + a_2 U^2(t) + a_3 U^3(t) + 2 \times a_2 U_1(t) U_2(t),$$

где  $i_{нз}$  – ток, протекающий через нелинейный элемент, а  $U(t)$  – приложенное к нему напряжение [1].

Куб этого выражения будет содержать компоненты на частотах  $2\omega_1 - \omega_2$  и  $2\omega_2 - \omega_1$ . Однако не менее сложный механизм связан с присутствием квадратичного члена ряда с коэффициентом  $a_2$ . Компоненты тока  $i$  второго порядка малости на частотах  $2\omega_1$ ,  $2\omega_2$  и  $\omega_1 - \omega_2$ , замыкаясь через внешнюю линейную цепь, будут создавать падение напряжения на соответствующих импедансах.

Проведенный предварительный качественный анализ изменения уровня искажений второго порядка  $2\omega_1 - \omega_2$  и интермодуляция третьего порядка, которая получена при трехчастотном воздействии, показали, что если сопротивление линейной части цепи по отношению к нелинейному элементу соизмеримо с проводимостью  $a_1$ , то имеет место уменьшение интермодуляционных искажений [2]. С учетом этого был произведен анализ влияния уровня гетеродина при разных напряжениях сигнала  $0,01\varphi_T - 0,5\varphi_T$ , было получено при разных уровнях  $U_{вх}$ , которое показало, что при величине гетеродина  $1,5\varphi_T$  имеет место значительное снижение интермодуляции на  $2\omega_1 - \omega_2$  (рис. 2, 3).

Для интермодуляции третьего порядка имеет место снижение интермодуляции на частотах  $2\omega_1 - \omega_2$ .

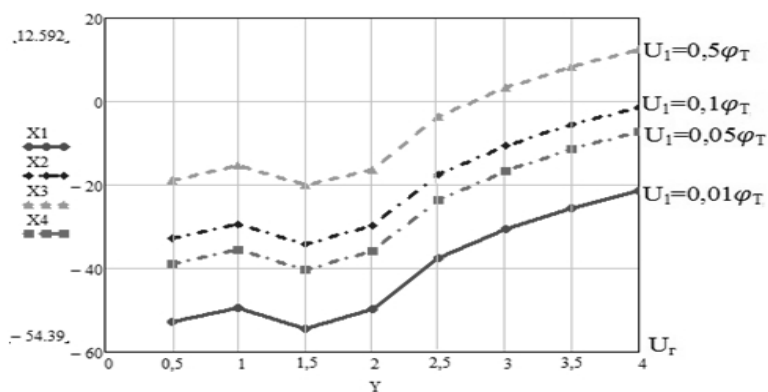


Рис. 2. Итоговая нормированная зависимость компоненты  $2^*(\omega_1 - \omega_2)$  от уровня гетеродина при  $U_{сигн} = 0,01\varphi_T$ ,  $U_{сигн} = 0,05\varphi_T$ ,  $U_{сигн} = 0,1\varphi_T$ ,  $U_{сигн} = 0,5\varphi_T$

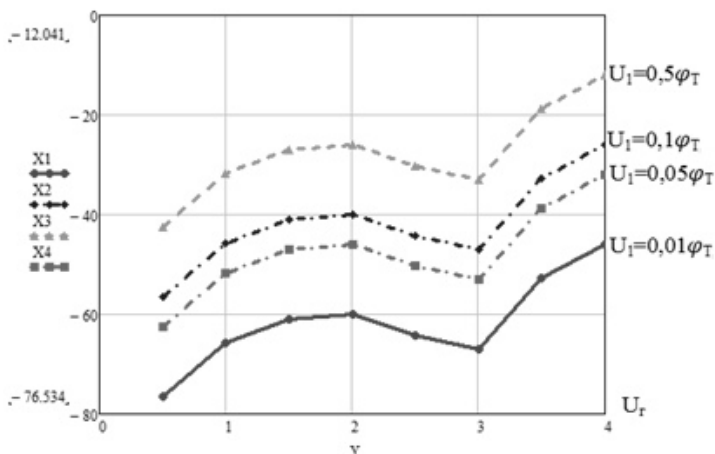


Рис. 3. Итоговая нормированная зависимость интермодуляционной составляющей третьего порядка  $2\omega_1 - \omega_2$  от сигнала гетеродина при  $U_{\text{сигн}} = 0,01\varphi_T$ ,  $U_{\text{сигн}} = 0,05\varphi_T$ ,  $U_{\text{сигн}} = 0,1\varphi_T$ ,  $U_{\text{сигн}} = 0,5\varphi_T$

Была решена задача по определению причин нелинейности смесителя и уменьшению нелинейных искажений сигнала, т.е. уменьшения уровня побочных, комбинационных составляющих в спектре выходного сигнала. Проведенная работа показала, что необходимо учитывать влияние импеданса по отношению к нелинейному элементу на нерабочих частотах второй и разностной гармоники, что позволяет улучшить коэффициент преобразования и при определенных уровнях гетеродина существенно снизить интермодуляционные искажения, тем самым повысить динамический диапазон.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев В.Д., Силютин А.И. Методика расчета широкополосных нелинейных цепей на основе модификации метода нелинейного тока // Изв. высш. учеб. заведений. Радиоэлектроника. – 1986. – №11. – С. 48–53.
2. Богданович Б.М. Радиоприемные устройства с большим динамическим диапазоном. – М.: Радио и связь, 1984. – 176 с.
3. Буссганг Д., Эрман Л., Грейам Д. Анализ нелинейных систем при взаимодействии нескольких входных сигналов // ТИИЭР. – 1974. – Т. 62, № 8. – С. 56–82.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРОВ ОБЛАСТИ СКАНИРОВАНИЯ НА РЕЗУЛЬТАТ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ АМПЛИФАЗОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

*Н.В. Каргаполова, студентка каф. СВЧиКР*

*Научный руководитель Г.Г. Гошин, проф. каф. СВЧиКР, д.ф.-м.н.*

*Томск, ТУСУР, kargapolov09@mail.ru*

Одним из современных методов измерения характеристик излучения антенн является амплифазометрический метод. Данный метод измерения заключается в том, что диаграмма направленности (ДН) антенны в дальней зоне может быть рассчитана по измеренному амплитудно-фазовому распределению (АФР) поля на некоторой поверхности в зоне Френеля. Площадь сканирования зависит от размеров испытуемой антенны и её параметров. Для определения области сканирования плоского сканера удобно представить расположение плоскости сканирования относительно измеряемой антенны, как показано на рис. 1.

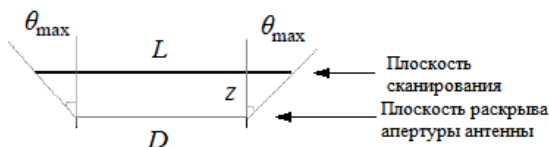


Рис. 1. Схематическое изображение измерительной установки

Размер области сканирования  $L$  определяется из соотношения

$$L \geq D + 2 \cdot z \cdot \operatorname{tg}(\theta_{\max}), \quad (1)$$

где  $D$  – максимальный размер исследуемой антенны;  $z$  – расстояние между плоскостью раскрытия антенны и плоскостью сканирования;  $\theta_{\max}$  – максимальный угол сканирования. Рекомендуется использовать значение  $\theta_{\max}$  от  $60$  до  $70^\circ$  [1].

Актуальным остаётся вопрос, как влияет размер области сканирования на результат восстановления диаграммы направленности в дальней зоне.

Были проведены измерения АФР поля в зоне Френеля. Расстояние между антенной и измерительным зондом –  $0,133$  м. Шаг сканирования –  $0,01$  м. В качестве исследуемой антенны использовался пирамидальный рупор с размерами апертуры  $137 \times 110$  мм высотой  $175$  мм при возбуждении стандартным волноводом размером  $23 \times 10$  мм. Были получены ДН по результатам измерений АФР поля на плоскости сканирования, размеры которой определены из соотноше-

ния (1), при обращении его в строгое равенство, и соответствуют углам  $\theta_{\max}$ , равным 30, 40, 50 и 60° (таблица).

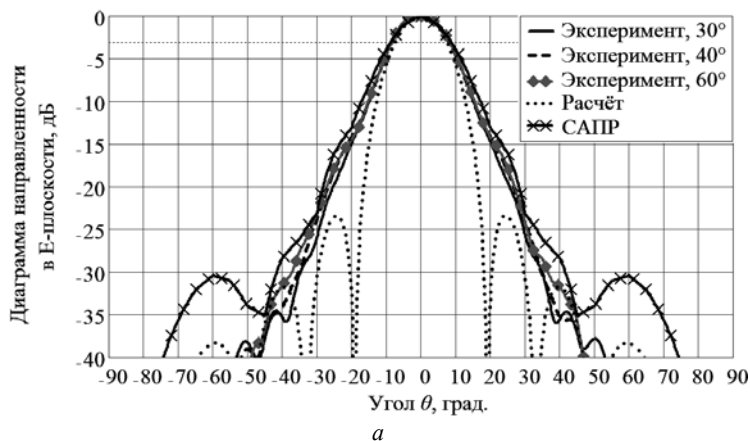
**Размер плоскости сканирования**

| Угол $\theta_{\max}$ , град | Размер области сканирования, м |
|-----------------------------|--------------------------------|
| 30                          | $0,29 \times 0,29$             |
| 40                          | $0,36 \times 0,36$             |
| 50                          | $0,46 \times 0,46$             |
| 60                          | $0,60 \times 0,60$             |

Результаты измерений сравнивались с диаграммами направленности, полученными путём электродинамического моделирования в системе автоматизированного проектирования (САПР) EMPro и рассчитанными по известным формулам (7.31) и (7.32) из [2], в плоскости  $H$  и  $E$ . Моделирование, расчет и эксперимент были проведены на частоте 10 ГГц.

При угле сканирования  $\theta_{\max}$ , равном 60°, была получена ДН, наиболее близкая к аналитической и электродинамической модели (рис. 2). Уменьшение области сканирования приводит к искажениям ДН в области боковых лепестков. Уровень боковых лепестков уменьшается предположительно потому, что регистрируемая мощность, проходящая через плоскость сканирования, уменьшается, а часть потока мощности, не участвующего в восстановлении ДН, увеличивается.

При  $\theta_{\max}$  большем, чем 40°, были получены близкие между собой результаты, а уровень боковых лепестков отличается не более чем на 3 дБ.



**а**  
Рис. 2 (начало)

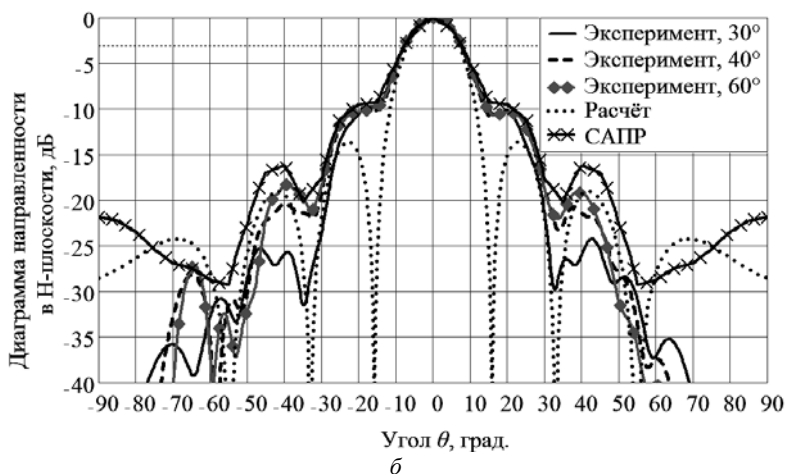


Рис. 2 (окончание). Диаграммы направленности антенны:  
*a* – в плоскости *E*; *б* – в плоскости *H*

Ширина области восстановления ДН в дальней зоне при  $\theta_{\max}$ , равном  $60^\circ$ , составляет около  $\pm 50^\circ$  от максимума излучения. Однако при  $\theta_{\max}$  меньше, чем  $40^\circ$ , диаграмма направленности имеет значительные искажения. Угол раскрыва исследуемого секториального рупора составляет  $37^\circ$ . При этом ширина ДН в *H*-плоскости составляет  $16,7^\circ$ , в *E*-плоскости –  $15,4^\circ$ .

Исследования показали, что для апертурных рупорных антенн максимальный угол сканирования должен быть больше угла раскрыва рупорной антенны не менее чем в два раза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gregson S. Principles of Planar Near-Field Antenna Measurement / S. Gregson, J. McCormick, C. Parini. – London: The Institution of Engineering and Technology, 2007.
2. Гошин Г.Г. Устройства СВЧ и антенны. – Ч. 2. Антенны: учеб. пособие. – Томск: Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 159 с.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ S-ДИАПАЗОНА

*А.В. Помазанов, А.С. Коряковцев, студенты каф. ТОР*  
*Научный руководитель В.Д. Дмитриев, доцент каф. ТОР, к.т.н.*  
*Томск, ТУСУР, dvd51@mail.ru*  
*Проект ГПО ТОР-0703 «Аналоговые СВЧ-устройства»*

Современный этап развития науки и техники характеризуется быстрым развитием радиотехнических средств и систем в направлении расширения функциональных возможностей и повышения качественных показателей. Особенно эффективно развиваются радиотехнические системы СВЧ-диапазона. S-диапазон – диапазон частот дециметровых и сантиметровых длин волн, используемых для наземной и спутниковой радиосвязи [1]. К усилителям мощности предъявляются достаточно высокие требования линейности. Известно, что усилитель должен обеспечивать большую выходную мощность, вследствие он должен обладать большим КПД. В данном проекте разрабатывался УМ для использования в системах беспроводной связи.

Разработка УМ предполагала обоснование структурной схемы, предварительный расчет параметров, расчет согласующих цепей, моделирование усилителя с помощью Microwave Office.

Целью данной работы является создание модели усилителя, соответствующего предъявляемым требованиям, получение его мощностных характеристик, а также КПД.

Для усилителя мощности нам были предоставлены S-параметры и нелинейные модели транзисторов CGH60008D [2] и CGH60030D [3] от производителя CREE. Данные транзисторы имеют небольшую мощность, поэтому их можно легко приобрести, а также у них большой коэффициент усиления и широкая полоса пропускания.

В результате моделирования усилителя мощности класса АВ с помощью Microwave Office были получены следующие характеристики усилителя для диапазона частот 3800–4300 МГц.

- диапазон частот входного сигнала 3800–4300 МГц;
- максимальная выходная мощность: 51,23 дБм (132,7 Вт);
- КПД больше 50% при максимальной выходной мощности.

На рис. 1 представлена структурная схема усилителя, которая состоит из входной цепи, межкаскадной и выходной цепи.

На рис. 2 и 3 представлены характеристики спроектированного усилителя.

В результате работы была спроектирована модель усилителя мощности S-диапазона в среде автоматизированного проектирования

Microwave Office со следующими техническими характеристиками: режим работы усилителя АВ с КПД >50%; коэффициент усиления ( $S_{21}$ ) больше 28 дБ; неравномерность АЧХ  $\pm 3$  дБ; выходная мощность усилителя соответствует 50 дБм (100 Вт). Модель усилителя соответствует всем предъявленным требованиям, а использование нелинейных моделей транзисторов, представленных производителем в учебных целях, гарантирует высокую точность моделирования и высокую степень приближенности полученных характеристик к реальным.

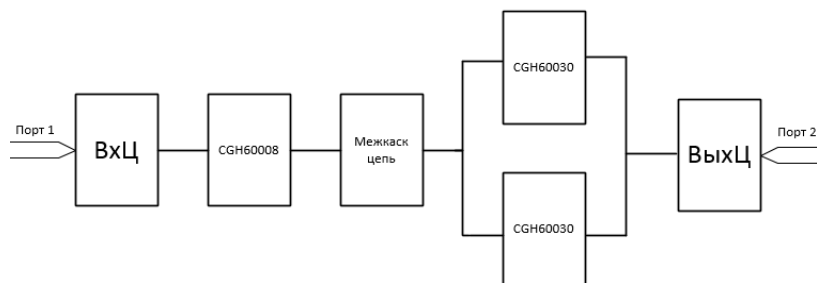


Рис. 1. Структурная схема усилителя мощности

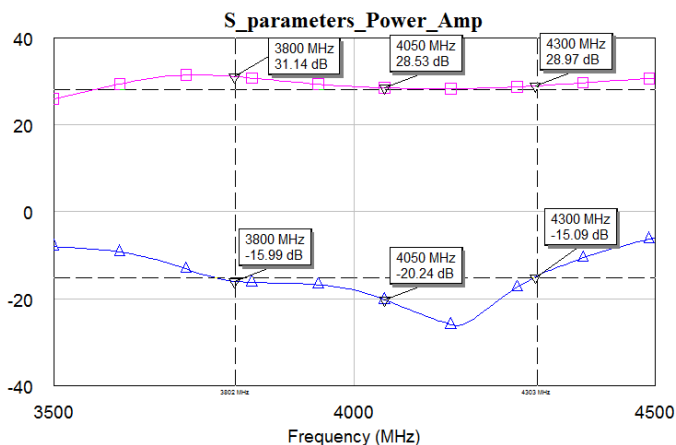


Рис. 2. Модули коэффициентов усиления ( $S_{21}$ ) и отражения ( $S_{11}$ )

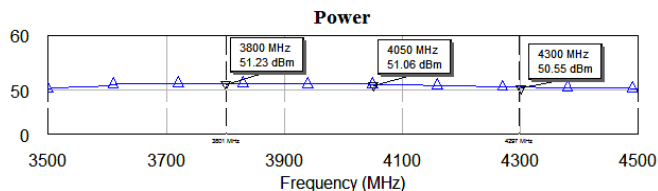


Рис. 3. Выходная мощность

На рис. 4 представлена печатная плата, смоделированная в программной среде Altium Designer.

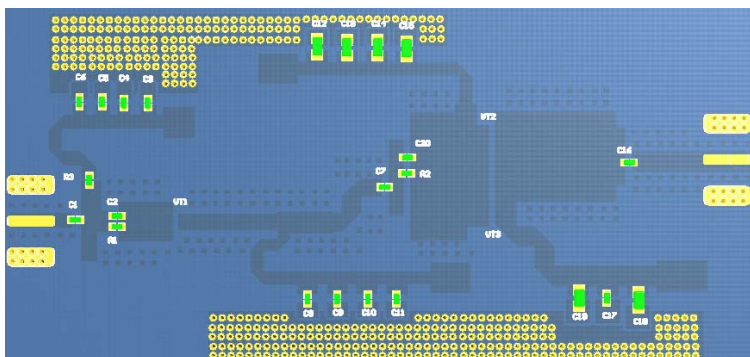


Рис. 4. Печатная плата усилителя

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ-устройств с помощью Microwave Office / под ред. В.Д. Разевига. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – С. 168–202.
2. CGH60008D [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.wolfspeed.com/downloads/dl/file/id/264/product/105/cgh60008d.pdf> (дата обращения: 3.10.2016).
3. CGH60030D [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.wolfspeed.com/downloads/dl/file/id/289/product/107/cgh60030d.pdf> (дата обращения: 3.10.2016).

#### ПОВЕРХНОСТНО-МОНТИРУЕМЫЙ ШИРОКОПОЛОСНЫЙ НАПРАВЛЕННЫЙ ОТВЕТВИТЕЛЬ СВЧ-ДИАПАЗОНА

*А.И. Кравченко, аспирант каф. СВЧМКР, инженер*

*Научный руководитель Г.Г. Гошин, проф. каф. СВЧМКР, д.ф.-м.н.*

*Томск, ООО «НПК ТАИР», ТУСУР, ant8492@yandex.ru*

Направленный ответвитель применяется для разделения падающих и отражённых волн в рефлектометрах и векторных анализаторах цепей [1], в СВЧ-усилителях мощности, а именно в схемах защиты от перегрузки [2], цепях обратной связи, автоматической регулировки мощности, а также там, где необходим контроль мощности, проходящей в микрополосковой линии на ПП в диапазоне 5–20 ГГц. Разработка сверхвысокочастотного (СВЧ) направленного ответвителя (НО), устанавливаемого на печатную плату (ПП) по технологии поверхно-



стного монтажа, актуальна из-за сложностей в изготовлении топологии НО на связанных линиях непосредственно наПП. Например, расстояние между проводниками связанных линий (порядка десятков микрон для класса НО с сильной связью) соизмеримо с толщиной металлизации и допуском на ширину проводниковПП.

Для решения данной задачи подходит тонкоплёночная технология изготовления микрополосковых плат на диэлектрической подложке из керамики  $Al_2O_3$  толщиной  $h = 0,254$  мм, с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r = 9,9$ . Из известных конструкций НО [3] за основу возьмём симметричный НО на связанных линиях с боковой связью, т.к. необходим микрополосковый вариант исполнения НО. Волновое сопротивление линии  $W_b = 50$  Ом. Длина области связи НО равна

$$L = \lambda_b / 4,$$

где  $\lambda_b$  – длина волны с учётом диэлектрической проницаемости.

Для оценки эффективной диэлектрической проницаемости, длины волны и волнового сопротивления связанных линий при чётном и нечётном режиме возбуждения предлагается использовать свободно распространяемое программное обеспечение, например «RfCalc» [4].

Технология поверхностного монтажа НО наПП предполагает пайку методом оплавления. Контактные площадки на нижней стороне НО припаиваются к микрополосковым линиямПП. Электрический контакт связанных линий НО с контактными площадками на нижней стороне подложки осуществлён с помощью металлизированных сквозных отверстий (рис. 1).

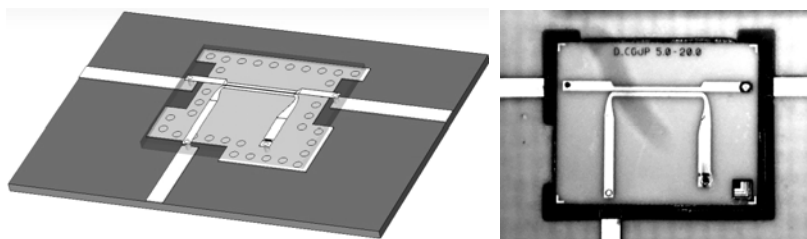


Рис. 1. 3D-модель и макет НО

Дальнейшая оптимизация связанных линий и переходных отверстий проведена в системе автоматизированного проектирования (САПР). Для избегания появления резонансов в электрических характеристиках НО и минимизации паразитных реактивностей в области перехода с микрополоскаПП на связанные линии НО надо объединить землюПП и НО металлизированными переходными отверстиями наПП под НО как можно ближе к переходу.

Изготовлен и измерен в оснастке макет НО (см. рис. 1). Для оценки и исключения из характеристик макета затухания в разъёмах и в подводящих линиях оснастки дополнительно изготовлена и измерена линия без НО. Длина линии и разъёмы такие же, как в оснастке для НО.

Сравнение расчётных характеристик с макетом (рис. 2, 3) показывает, что разъёмы, установленные на ПП оснастки, ухудшают коэффициент отражения (КО), т.к. они не учитывались в расчёте. Коэффициент передачи (КП) в ответвлённый порт на 1 дБ меньше ожидаемого, что говорит о отклонении расстояния между связанными линиями (25 мкм) от расчётного в большую сторону. Значительное отличие направленности и развязки на центральной частоте от ожидаемого также связано с неточностью выполнения расстояния между линиями НО.

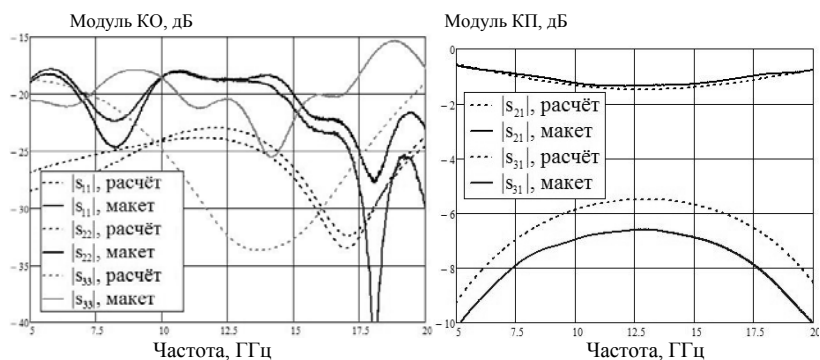


Рис. 2. Электрические характеристики НО

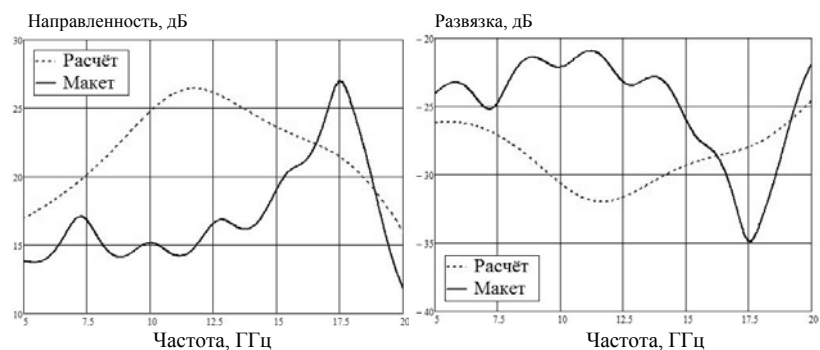


Рис. 3. Развязка и направленность НО

Характеристики макета представлены в таблице.

### Характеристики НО в диапазоне частот 5–20 ГГц

| Наименование характеристики                     | Значение, дБ                                            |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Модуль КО прямой линии ( $ s_{11} ,  s_{22} $ ) | –18                                                     |
| Модуль КО ответвлённой линии ( $ s_{33} $ )     | –15                                                     |
| Ответвление ( $ s_{31} $ )                      | –8                                                      |
| Неравномерность ответвления                     | $\pm 2$                                                 |
| Развязка ( $ s_{32}  -  s_{31} $ )              | –21                                                     |
| Направленность                                  | 14 (в диапазоне 5–19 ГГц)<br>11 (в диапазоне 19–20 ГГц) |

Разработан НО размером  $5 \times 4,5$  мм с хорошими электрическими характеристиками, предназначенный для установки наПП. Направленный ответвитель можно использовать в расширенном частотном диапазоне 2–20 ГГц с ухудшением неравномерности ответвления. Ответвление на минимальной частоте будет равно –17 дБ. При этом будет ухудшен динамический диапазон системы (в диапазоне 2–5 ГГц), в которой использован НО.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Хибель М.* Основы векторного анализа цепей / пер. С.М. Смольский. – М.: Изд. дом МЭИ, 2009. – 500 с
2. *Титов А.А., Ильюшенко В.Н.* Устройство для защиты усилителя мощности от перегрузки. – Патент РФ № 2217861. – Опул. 27.11.2003, бюл. № 33.
3. *Мещанов В.П., Фельдштейн А.Л.* Автоматизированное проектирование направленных ответвителей СВЧ. – М.: Связь, 1980. – 144 с.
4. *Программное обеспечение Milmega RFCalc* [Электронный ресурс]. – URL: [www.milmega.co.uk/downloads/rfcalc70.exe](http://www.milmega.co.uk/downloads/rfcalc70.exe) (дата обращения: 11.01.2017).

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ДЕФЕКТОВ КОАКСИАЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ

*А. Кумбасов, магистрант каф. РЗИ*

*Научный руководитель С.А. Артищев,*

*мл. науч. сотр. СКБ «Смена», к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, kumbasovalmas@mail.ru*

Существуют приборы (рефлектометры), предназначенные для диагностики кабельных линий и обнаружения неоднородностей в них (короткое замыкание, низкоомная утечка, обрывы и т.д.). Однако в явном виде фиксируется расстояние до сосредоточенных неоднородностей. В данной работе рассматривается возможность обнаружения распределенных дефектов, например отклонение диаметров провод-

ников или изолятора от заданного значения на протяженном участке, что приводит к изменению волнового сопротивления.

Цель данной работы – исследовать распределённые неоднородности коаксиальных кабелей и рассмотреть возможность их обнаружения. Для этого нужно разработать математическую модель кабеля, учитывающую малое изменение его волнового сопротивления на протяженном участке.

Модель кабеля должна позволить проанализировать, как изменяется тестовый сигнал, проходя по кабелю и отражаясь от распределенного дефекта. Для этого сначала необходимо получить выражение для коэффициента передачи (S21) кабельной линии:

$$K(f) = 2 \cdot \left( 2 \cosh(\gamma(f)l) + \sinh(\gamma(f)l) \frac{p(f)^2 + Z_0^2}{p(f) \cdot Z_0} \right). \quad (1)$$

Далее, зная частотно-зависимые выражения волнового сопротивления  $\rho(f)$  и постоянной распространения  $\gamma(f)$ , можно определить параметр S21.

$$\gamma(f) = \sqrt{Z(f) \cdot Y(f)} \quad \rho(f) = \sqrt{\frac{Z(f)}{Y(f)}} \quad (2)$$

где  $Z(f) = R(f) + j2\pi fL$  – частотная зависимость погонного комплексного сопротивления;  $R(f) = R(0) + R\sqrt{f/f_0}$  – частотная зависимость погонного комплексного сопротивления;  $Y(f) = G(f) + j2\pi fC$  – частотная зависимость погонной комплексной проводимости.

Используя необходимые выражения, была построена модель для двух линий задержки коаксиального кабеля. В первом варианте составили модель для двух отрезков длиной  $l$  с волновым сопротивлением  $Z$ , а между ними кабель длиной  $m$  имеет отличающееся волновое сопротивление, равное  $Z \pm \Delta Z$ , с нагрузкой  $R$  на конце кабеля (рис. 1).

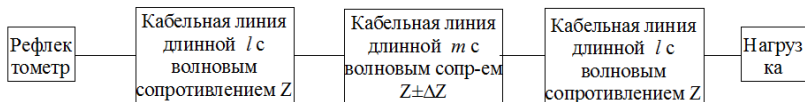


Рис. 1. Структурная схема коаксиального кабеля с дефектом

Во втором варианте – исправный отрезок длиной  $2l + m$  с нагрузкой  $R$  на конце кабеля. При моделировании исправной линии передачи  $\Delta Z = 0$ .

Сравнение зависимостей затухания от частоты для двух вариантов представлено на рис. 2.

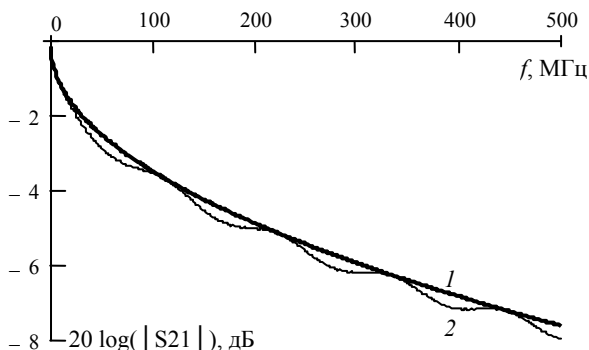


Рис. 2. Зависимости затухания для двух вариантов: 1 – без дефекта; 2 – с дефектом. Параметры кабеля  $R = 0,2 \text{ Ом/м}$ ;  $G = 0,2 \text{ пС/м}$ ;  $L = 240 \text{ нГн/м}$ ;  $C = 84 \text{ пФ/м}$

Зная выражение циклической свертки частотных характеристик кабеля и неоднородности, можно заменить операцию свертки обратным преобразованием Фурье от произведения спектра тестового сигнала  $X_T(f)$ , квадрата частотной характеристики коэффициента передачи кабеля  $K(f)^2$  и частотной зависимости коэффициента отражения сигнала  $\Gamma(f)$  от неоднородности. Получим выражение

$$u_R(t) = F^{-1} \left\{ X_T(f) K(f)^2 \Gamma(f) \right\}. \quad (3)$$

Характеристику коэффициента отражения  $\Gamma(f)$  от неоднородности в общем виде запишем как

$$\Gamma(f) = \frac{R(f)}{R(f) + 2 \cdot p(f)}. \quad (4)$$

Подставив (1) и (4) в (3), получим выражение

$$u_R(t) = F^{-1} \left\{ X_T(f) \frac{4}{\left( 2 \cosh(\gamma(f)l) + \sinh(\gamma(f)l) \frac{p(f)^2 + Z_0^2}{p(f) \cdot Z_0} \right)^2} \cdot \frac{R(f)}{R(f) + 2 \cdot p(f)} \right\}. \quad (5)$$

Используя полученное выражение, можно рассчитать отклики для двух вариантов и построить рефлектограмму.

Таким образом, в данной работе была построена модель линии передачи, позволяющая рассчитывать рефлектограмму для кабеля с заданными параметрами. Кроме того, существует возможность рассчитывать и частотные характеристики кабеля. Были проведены расчеты отрезка кабеля длиной  $2l + m$  и линии из трех отрезков. При этом было выявлено, что наличие участка кабеля некоторой длины, в котором волновое сопротивление отличается, приводит к ухудшению частотных характеристик всей линии в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Методы* определения места повреждения силовых кабельных линий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://pribor-ar.ru/metody\\_opredele-niya\\_mesta\\_povrezhde](http://pribor-ar.ru/metody_opredele-niya_mesta_povrezhde), свободный.
2. *Метод* импульсной рефлектометрии (TDR). Как найти обрыв в кабеле [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ersted.ru/stati/reflektometrija/impulsnaya-reflektometriya>, свободный.
3. *Дефекты* и повреждения кабелей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://chem21.info/info/1915284>, свободный.
4. *Виды* повреждений кабельных линий, краткая характеристика методов их обнаружения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=479529>, свободный.
5. *Тарасов Н.А.* Использование метода импульсной рефлектометрии для определения повреждений кабельных линий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.reis205.narod.ru/metod.htm>, свободный.

#### ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ В ПРОТОКОЛЕ BB84 КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ

**Б.А. Кунанбаев, Д.Б. Дуйсен, магистранты РТФ каф. РЗИ**

*Научный руководитель А.С. Задорин, д.ф.-м.н., проф., зав. каф. РЗИ  
Томск, TUSCUP, beybut11@mail.ru, daul24@mail.ru*

Безусловная защищённость протоколов квантового распределения ключей в открытых каналах гарантируется классическими физическими законами [1–3]. Однако это свойство реализуемо лишь в идеализированных каналах связи. В большинстве случаев решение задачи обеспечения защиты канала от несанкционированного доступа основывается на расширении базовых протоколов дополнительными способами защиты. К таким способам относятся интерференционный контроль состояний кубитов, которыми обмениваются передающая и приёмная стороны системы квантового распределения ключей (СКРК) по квантовому каналу [4].

Целью данного исследования является обсуждение такого рода способов усиления защищённости квантового протокола BB84 на основе системы интерференционного контроля кубитов.

В качестве системной основы рассмотрим принцип временного кодирования в протоколе BB84 [7], в котором последовательность кубитов, представленных одиночными фотонами, приготавливается путём обычного ослабления лазерного излучения на стороне генератора отправителя [1–4]. В этом случае, как и в базовом протоколе BB84, на стороне генератора отправителя генерируется случайная последовательность, которая используется для кодирования последовательности квазиоднофотонных состояний, т.е. формирования последовательности кубитов. В ходе этого процесса на обеих сторонах канала независимо формируются случайные последовательности переключений неортогональных базисов. После завершения формирования этих двух случайных последовательностей происходит их сверка на обеих сторонах. В результате сверки по классическому каналу из двух исходных случайных последовательностей формируются две новые идентичные последовательности, на основе которых генерируется ключевая последовательность [1–3].

В другом же способе последовательность кубитов приготавливается за счёт дополнительных преобразований в интерферометре Маха–Цендера с разбалансированными по времени плечами. В результате этих преобразований кубиты оказываются представленными в виде суперпозиции двух динамических пиков, разделённых интервалом времени, равным величине разбалансировки плеч интерферометра Маха–Цендера [5–7].

Несмотря на подверженность кубитов случайным временным флуктуациям, временной интервал между пиками в каждом из кубитов остаётся неизменным.

Квантовые состояния кубитов ввиду суперпозиции двух пиков существуют лишь до момента измерения этих состояний. В ходе измерений двухпиковые состояния коллапсируют только в одно из двух возможных. Следовательно, результаты измерений значения битрейта квазиоднофотонных состояний на входе и на выходе интерферометра Маха–Цендера всегда будут одинаковыми.

Попытка измерений или подмены любого из квазиоднофотонных состояний квантовых объектов завершится полным разрушением исходного кубита. Это обусловлено взаимной когерентностью состояний объектов. Этот факт фиксируется посредством интерферометрического контроля, инструментальной основой которого может служить интерферометр Маха–Цендера, аналогичный применявшемуся для приготовления кубитов.

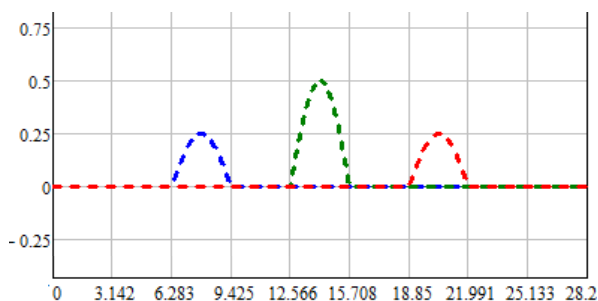


Рис. 1. Интерференционная картина однофотонных посылок

Обнаружение факта вмешательства злоумышленника в рассматриваемую систему КРК основывается на считывании интерференционной картины сигналов после их прохождения через блоки интерферометрического контроля. В обоих интерферометрах установлены фазовращатели, случайным образом принимающие значения и воздействующие на фазы фотонных импульсов. Таким образом, на приёмной стороне существует три варианта детектирования фотона, которые и будут составлять интерференционную картину (рис. 1). Вероятности появления детектируемых фотонов в крайних состояниях на рис. 1 будут оставаться неизменными, так как представляют собой единичные фотоны, проходящие либо по коротким плечам интерферометра Маха–Цендера, либо по длинным. Вероятность же центрального состояния будет представлять собой наложение амплитуд единичных фотонов, проходящих по смешанным путям: короткое плечо первого интерферометра – длинное плечо второго интерферометра или длинное плечо первого интерферометра – короткое плечо второго интерферометра.

Нами разработана программная модель описанной выше системы интерференционного контроля кубитов в СКРК. Проведенные на ее основе расчетные эксперименты показали ее функциональность.

Предложенная выше концепция построения системы интерференционного контроля СКРК позволит повысить защищенность передаваемых по квантовому каналу данных и усилит защищенность протокола BB84.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Имре Ш., Балаж Ф.* Квантовые вычисления и связь. Инженерный подход. – М.: Физматлит, 2008. – 320 с.
2. *Килин С.Я., Хорошко Д.Б., Низовцев А.П.* Квантовая криптография: идеи и практика. – Мн., 2008. – 392 с.



3. Кронберг Д.А., Ожигов Ю.И., Чернявский А.Ю. Квантовая криптография: учеб. пособие. – М.: МАКС-Пресс, 2011. 111 с.

4. Молотков С.Н. О предельных возможностях квантового распределения ключей с контролем статистики неоднотонного источника // Письма в ЖЭТФ. – 2008. – Т. 87, вып. 10. – С. 674–679.

5. Кронберг Д.А., Молотков С.Н. Квантовое распределение ключей в однотонном режиме с неортогональными состояниями внутри базиса // Письма в ЖЭТФ. – 2009. – № 89:7. – С. 432–438.

6. Молотков С.Н. Об интегрировании квантовых систем засекреченной связи (квантовой криптографии) в оптоволоконные телекоммуникационные системы // Письма в ЖЭТФ. – 2004. – Т. 79. – С. 691–704.

7. Молотков С.Н. К вопросу об обосновании квантовой криптографии на временных сдвигах // Письма в ЖЭТФ. – 2004. – Т. 80, вып. 7. – С. 576–582.

## **СПОСОБЫ УСИЛЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ СИСТЕМЫ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ С ВРЕМЕННЫМ КОДИРОВАНИЕМ ПО ПРОТОКОЛУ BB84**

***Б.А. Кунанбаев, Д.Б. Дуйсен, магистранты каф. РЗИ***

*Научный руководитель А.С. Задорин, д.ф.-м.н., зав. каф. РЗИ*

*Томск, ТУСУР, beybut11@mail.ru, daul24@mail.ru*

Разработана и исследована программная модель системы квантового распределения ключей (КРК) на основе протокола BB84 с временным кодированием (ВК). Разработаны и частично реализованы блоки статистического контроля целостности данных, гарантирующие защищенность ключа.

В рассматриваемом варианте в системе КРК, основанной на протоколе BB84-ВК [1], удаленные пользователи, которых принято называть Алисой (передающая часть – А) и Бобом (принимающая часть – Б), соединяются квантовым и классическим каналами связи. По квантовому каналу связи передается последовательность одиночных фотонов (ПОФ), временное положение которых в границах тактового интервала (таймслота) ассоциируется с бинарными символами [2, 3], а по классическому – «обсуждаются» результаты корректного приёма переданных ПОФ. Указанная кодировка осуществляется в пределах фиксированного набора базисов. Соответственно формируются 2 базиса, каждый из которых делится еще на 2 подбазиса. С этой целью таймслот разбивается на ряд временных окон. При формировании ПОФ выбирается одно из окон и записывается «0» или «1» [4]. Для каждого базиса и подбазиса значения окна будут разные.

В приемной и передающей сторонах случайным образом выбирается базис и подбазис для каждого таймслота, с помощью мастер-генератора имитируется генерация одиночного фотона (ОФ); параллельно с этим в каждом подбазисе выбирается также случайно значение бита «0» или «1» с помощью мастер-генератора ПОФ. Каждое выбранное значение будет являться сдвигом относительно синхроимпульса.

Момент генерации ОФ отсчитывается с момента появления синхроимпульса. При определении окна, в которое попал импульс фотона, будет известно, какую информацию он содержит: «0» или «1». В конце каждого тактового интервала по классическому каналу блок А отправляет значения базиса и подбазиса для тайм слота, в котором был замечен импульс фотона. Если базис совпал с подбазисом, то блок А по открытому каналу отправляет сигнал о совпадении значения и соответственно записывает в блокнот, который нес этот импульс фотона. Блок Б совершает аналогичные шаги для регистрации посылки.

Модель системы КРК была разработана в пакете блочного имитационного моделирования – Simulink матричной системы Matlab. Ниже на рис. 1 представлена структурная схема системы.

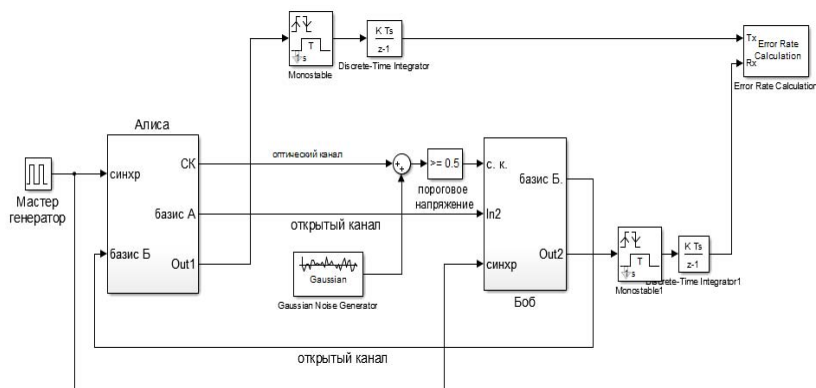


Рис. 1. Структурная схема модели КРК с временным кодированием

Повысить уровень защищенности КРК с протоколом BB84-ВК можно за счет введения блоков контроля статистики КОС или оптических интерферометров. В передающей части в соответствии с описанным алгоритмом имеются следующие блоки: блок формирования ОФ, блок формирования однофотонных состояний, блок записи и сравнения однофотонных состояний. На рис. 2 представлена разработанная схема передающей стороны А.

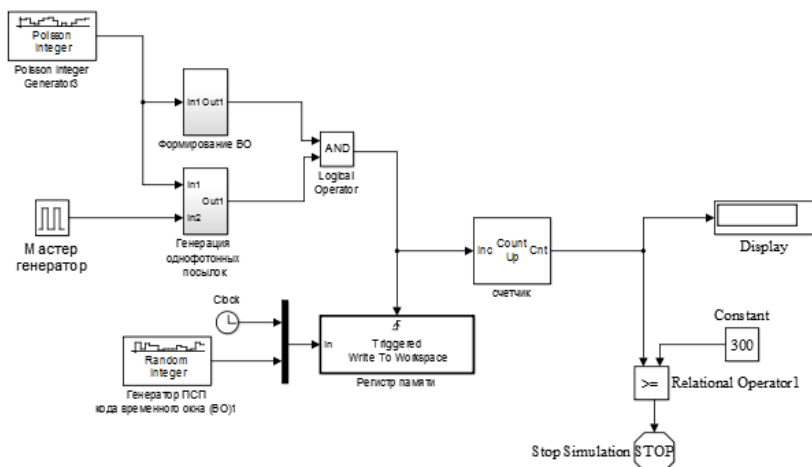


Рис. 2. Структурная схема передающей стороны А

Реализация процедуры статистического контроля ПОФ основана на сравнении фактической статистики ПОФ с распределением Пуассона:

$$p(n, \lambda) = (\lambda^n e^{-\lambda}) / n!, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – среднее число фотонов.

Основным способом защиты квантового канала системы от атак с расщеплением фотонов, как известно, является снижение вероятности появления многофотонных импульсов [2]. Среднее число фотонов  $\lambda = 0,1$ . Большее уменьшение среднего числа фотонов приведет к значительной доле пустых импульсов, что в свою очередь недопустимо уменьшит скорость передачи данных [6].

Наряду с показателем вероятности ошибок  $P_b$ , распределение Пуассона, описываемое формулой (1), является одним из контролируемых параметров. Статистическое распределение Пуассона выполнено в пакете Mathcad.

Из полученных результатов можно заключить, что создание и доработка системы КРК-BB84-BK дают возможность усиления защищенности протокола за счет введения статистического контроля ключевых параметров системы как на передающей, так и на приемной сторонах системы. Одной из текущих задач является доработка блока статистического контроля на принимающей стороне системы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Имре Ш, Балаж Ф.* Квантовые вычисления и связь. Инженерный подход / пер. с англ.; под ред. В.В. Самарцева. – М.: Физматлит, 2008. – 320 с.

2. *Молотков С.Н.* Квантовая криптография и теоремы В.А. Котельникова об одноразовых ключах и об отсчетах // *Успехи физических наук.* – 2006. – Т. 176, вып. 7. – С. 777–788.

3. *Молотков С.Н.* О решении проблемы обеспечения стойкости квантовой криптографии для канала связи со сколь угодно большой длиной // *Письма в ЖЭТФ.* – 2011. – Т. 93, вып. 12. – С. 830–836.

4. *Задорин А.С., Махорин Д.А.* Модель системы квантового распределения ключей по оптическому волокну с временным кодированием // *Доклады ТУСУРа.* – 2011. – №3 (33).

5. *Махорин Д.А.* Возможность реализации линейного режима счета фотонов на лавинном фотодиоде S8664-05K при комнатной температуре / Д.А. Махорин, А.Б. Галиев, А.С. Задорин // *Доклады ТУСУРа.* – 2014. – № 1 (31). – С. 65–68.

6. *Хорошко Д.Б.* Квантовое распределение ключа на временных сдвигах с использованием состояний-ловушек / Д.Б. Хорошко, Д.И. Пустоход, С.Я. Килин // *Оптика и спектроскопия.* – 2010. – Т. 108, вып. 3. – С. 372–379.

## СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАДИЦИОННОГО И МОДИФИЦИРОВАННОГО ДЕЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ УИЛКИНСОНА

***В.В. Левяков, А.Ф. Юнчис, студенты каф. СВЧиКР***

*Научный руководитель А.В. Фатеев, доцент каф. СВЧиКР, к.т.н.  
Томск, ТУСУР, levyakovv@mail.ru*

Делители мощности – наиболее широко используемые устройства в радиокоммуникационных системах. В зависимости от схемы делитель СВЧ обеспечивает равное и неравное деление мощности на два и более каналов. Делители находят широкое применение в разработках фазированных антенных решеток, мощных передатчиков для сложения мощностей генераторов, в усилителях, многоканальных системах и т.д. [1]. В качестве исследуемой модели был выбран однокаскадный резистивный делитель Уилкинсона, так как это простой и экономически выгодный способ получения наилучшей развязки [2]. Общая схема делителя приведена на рис. 1.

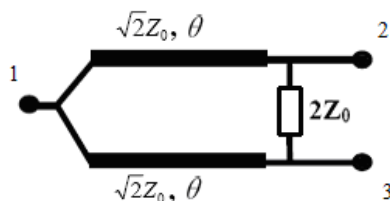


Рис. 1. Общая схема однокаскадного резистивного делителя мощности

Полосковый однокаскадный резистивный делитель мощности состоит из двух четвертьволновых отрезков линии передачи с волновым сопротивлением  $Z_1$ , электрической длиной  $\theta$ , которые с одной стороны соединены между собой параллельно и подключены к входной линии, а с другой – связаны через сопротивление развязки  $R$ , каждый из них подключен к своей подводящей линии [3].

В качестве материала подложки применяется Rogers4350 с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 3,66$  и толщиной  $t = 0,254$  мм. Толщина слоя металлизации  $t_n = 35$  мкм.

По рассчитанным параметрам были построены две модели делителей мощности с резистивными элементами: традиционный и модифицированный (рис. 2).

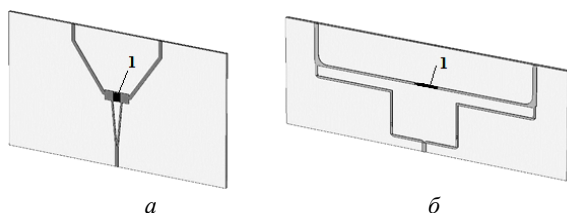


Рис. 2. Делитель мощности с резистивными элементами:  
а – традиционный, б – модифицированный

В качестве резистивного элемента используется бесконечно тонкая резистивная пленка, расположенная в центре платы (1 на рис. 2).

Сравнение полученных характеристик делителей мощности приведено на рис. 3–5.

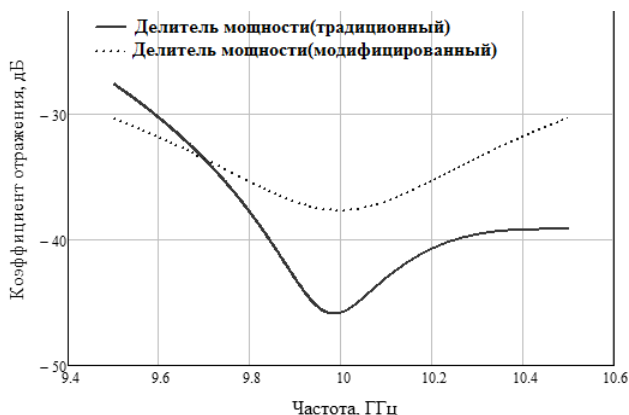


Рис. 3. Частотные зависимости модулей коэффициентов отражения входных плеч

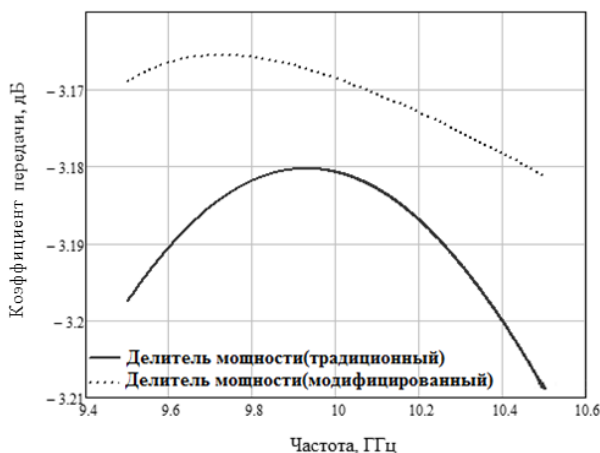


Рис. 4. Частотные зависимости модулей коэффициентов передачи выходных плеч

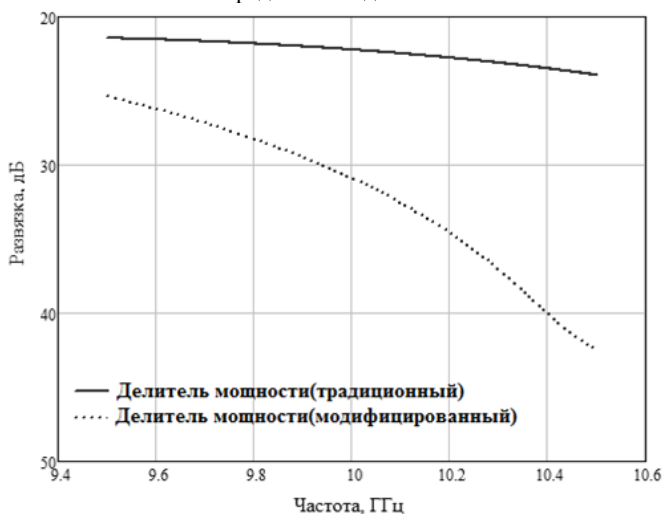


Рис. 5. Частотные зависимости развязок между выходными плечами

Коэффициент стоячей волны (КСВ) в этом случае изменяется в диапазоне значений от 1,061 до 1,066, в отличие от КСВ традиционного делителя, значения которого варьируются в диапазоне от 1,06 до 1,069. Конструкция традиционного делителя Уилкинсона позволяет получить коэффициент передачи в диапазоне значений от минус 3,18 до 3,30 дБ, в отличие от коэффициента передачи модифицированного

делителя, частотная характеристика которого выглядит более идеализированной и составляет от минус 3,155 до 3,185 дБ.

Таким образом, исходя из представленных результатов, можно сделать вывод о том, что путем изменения конфигурации плеч был получен модифицированный делитель мощности, который обладает более широким рабочим диапазоном частот, увеличенной развязкой, улучшенными согласованиями и коэффициентами передачи во всем диапазоне.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов А.М., Давидович Б.М. Сверхширокополосные микроволновые устройства. – М.: Радио и связь, 2001. – С. 550–570.
2. Малориций Л.Г. Микроминиатюризация элементов и устройств СВЧ. – М.: Сов. радио, 1976. – С. 205–218.
3. Ashraf S. Mohra and Majeed A. Alkanhal. Dual Band Wilkinson Power Dividers using T-Sections // Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications. – 2008. – Vol. 7, No. 2. – PP. 83–90.

#### ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАЛОШУМЯЩЕГО УСИЛИТЕЛЯ 96–125 МГц

**А.Е. Ефремова, А.В. Паращинец, студенты;**  
**В.В. Терешков, аспирант каф. РТС; А.А. Залевский, студент**  
*Научный руководитель В.Д. Дмитриев, доцент каф. ТОР, к.т.н.*  
*Томск, ТУСУР, dvd51@mail.ru*

При разработке изделий радиоэлектронной аппаратуры возникает необходимость использования малошумящих усилителей (МШУ), обладающих малым коэффициентом шума и высоким коэффициентом усиления.

В данной работе подробно рассмотрен процесс проектирования МШУ на примере проектирования усилителя PSA4-5043-D+ работающего в диапазоне 96–125 МГц.

Выбор микросхемы осуществлялся по следующим критериям:

- рабочий диапазон 96–125 МГц;
- коэффициент усиления не менее 18 дБ;
- коэффициент отражения менее –20 дБ;
- напряжение питания +5 В.

Для проектирования была выбрана бескорпусная монолитная интегральная схема (МИС) малошумящего усилителя PSA4-5043-D+ от производителя Mini-Circuit [1], выполненная по технологии E-pHEMT (enhancement-mode pseudomorphic high-electron-mobility transistor), которая работает при положительном напряжении на затворе [2].

Характеристики МШУ PSA4-5043-D+ представлены в таблице.

**Характеристики МШУ PSA4-5043-D+**

|                             |                |
|-----------------------------|----------------|
| Диапазон рабочих частот     | 0,5–4 ГГц      |
| Коэффициент шума            | 0,64–1,6 дБ    |
| Коэффициент усиления        | 25,2–7,8 дБ    |
| Рабочий диапазон температур | –40 ... –85 °С |
| Напряжение питания          | От +3 до +5 В  |

Для получения максимальных характеристик необходимо, чтобы МИС была полностью согласована с трактом. При моделировании в прикладном пакете MWO использовались S-параметры МШУ PSA4-5043-D+, представленные производителем [3], а также опытным путем были выбраны оптимальные значения номиналов входных и выходных согласующих цепей. На рис. 1 представлена модель схемы включения усилителя, на рис. 2 – её характеристики.

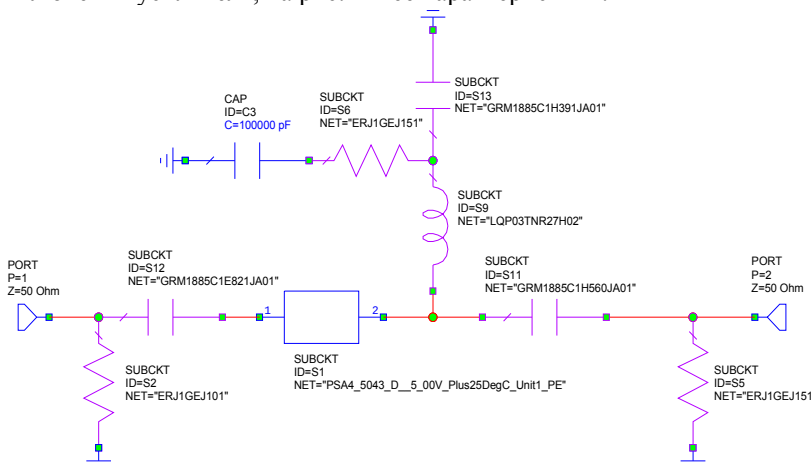


Рис. 1. Модель схемы включения МШУ PSA4-5043-D+

Следующим этапом проектирования является трассировка печатной платы. В качестве диэлектрика выбран материал FR4 толщиной 0,51 мм с шириной линии 0,6 мм. На рис. 3 представлена печатная плата, выполненная в прикладном пакете Altium Designer.

Результаты измерений представлены на рис. 4.

В результате проектирования МШУ PSA4-5043-D+ были решены задачи обеспечения максимальных коэффициентов усиления и отражения, которые имеют следующие значения:

- коэффициент усиления более 20 дБ;
- коэффициент отражения менее –20 дБ.



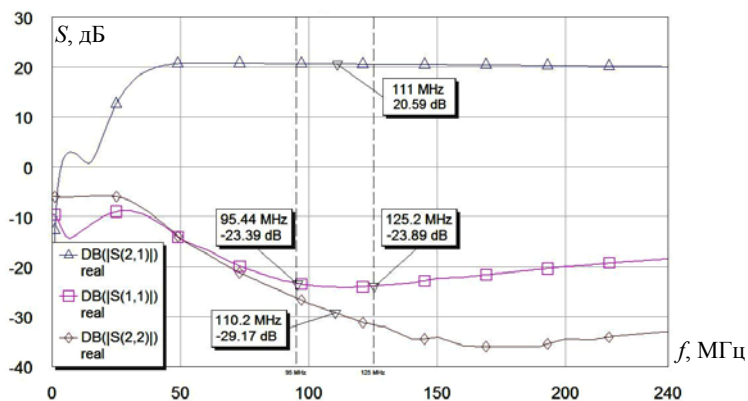


Рис. 2. Характеристики модели схемы включения МШУ PSA4-5043-D+

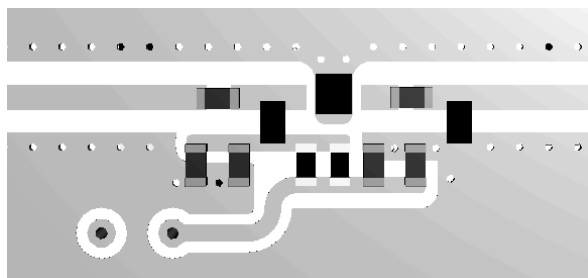


Рис. 3. Модель схемы включения МШУ PSA4-5043-D+

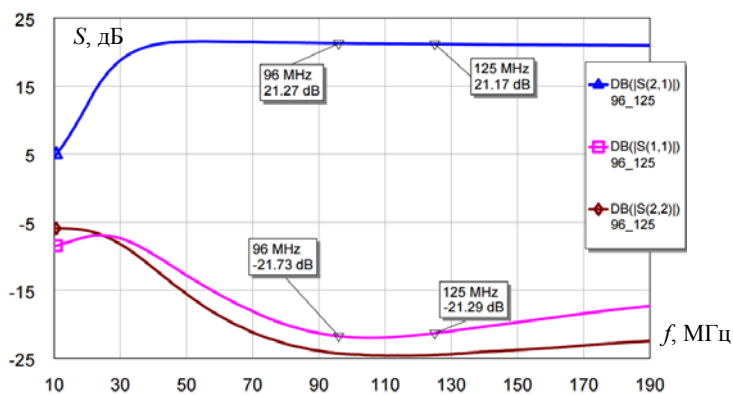


Рис. 4. Результаты измерений МШУ PSA4-5043-D+

Таким образом, разработанный МШУ PSA4-5043-D+ полностью удовлетворяет поставленным требованиям.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Monolithic Amplifier Die PSA4-5043-D+* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.minicircuits.com/pdfs/PSA4-5043-D+.pdf> (дата обращения: 16.11.2016).
2. *Малошумящие GaAs-PHEMT-транзисторы с нулевым смещением на затворе* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://mwelectronics.ru/2015/Papers/O03\\_02\\_KrutovAV\\_GaAs\\_PHEMT.pdf](http://mwelectronics.ru/2015/Papers/O03_02_KrutovAV_GaAs_PHEMT.pdf) (дата обращения: 16.11.2016).
3. *Основы моделирования в Microwave Office 2009* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.eurointech.ru/products/AWR/Dmitriev\\_mwo\\_2009\\_1.pdf](http://www.eurointech.ru/products/AWR/Dmitriev_mwo_2009_1.pdf) (дата обращения: 16.11.2016).

### ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ШУМОВ ОПТОЭЛЕКТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА СВЧ-ДИАПАЗОНА С ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИЕЙ ЗАДЕРЖКИ

*Н.В. Пилин, магистрант каф. РЗИ*

*Научный руководитель А.С. Задорин, проф. каф. РЗИ, д.ф.-м.н.*

*Томск, ТУСУР, nikke\_0013@mail.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]. Установлено, что  $L(f)$  описывается формулой [2]

$$L_{\varphi}(f) = 10 \log \left( \frac{GFkT}{2P} \left( \left( \frac{f_0}{2Q} \right)^2 \frac{f_{\alpha}}{f^3} + \left( \frac{f_0}{2Q} \right)^2 \frac{1}{f^2} + \frac{f_{\alpha}}{f} + 1 \right) \right), \quad (1)$$

где  $L_{\varphi}(f)$  – СПМ фазового шума АГ, нормированная к мощности самого колебания (несущей) и выраженная в децибелах;  $G, F$  – коэффициенты усиления и шума усилительного каскада АГ;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – абсолютная температура;  $P$  – номинальная мощность, подводимая к резонатору;  $Q$  – добротность нагруженного резонатора;  $f_{\alpha}$  – верхняя граничная частота области доминирования фликер-шума в спектральной плотности мощности шумов активного прибора (граничная фликер-частота).

Из (1) следует, что для отстроек  $f$ , превышающих полуширину АЧХ резонатора  $f_0/2Q$ , фазовый шум главным образом определяется номинальной мощностью  $P$  колебаний и тепловым шумом активного прибора. В этой области зависимость шума от отстройки практически

отсутствует. Данная область  $L(f)$  называется «шумовой пьедестал» [2]. Для отстроек, лежащих между  $f_0/2Q$  и  $f_a$ , СПМ фазового шума с уменьшением частоты  $f$  увеличивается со скоростью 20 дБ на декаду. В области, где  $f < f_a$  и преобладает фликер-шум, фазовый шум с уменьшением отстройки увеличивается на 30 дБ за декаду. Таким образом, зависимость СПМ фазового шума от отстройки определяют два важных параметра генератора: полуширина полосы пропускания резонатора  $f_0/2Q$  и граничная фликерная частота  $f_a$ , в то время как общий уровень СПМ определяется множителем  $Gf_kT/2P$  [2].

Ниже представлены результаты моделирования одноконтурного оптоэлектронного генератора (ОЭГ) на основе линии задержки (ЛЗ) различной длины  $L$  [1]. При этом с помощью аппроксимации СПМ шума были определены два важных параметра генератора: фликерная частота  $f_a$  и эквивалентная добротность  $Q$  ЛЗ. Теоретическая оценка для добротности дается формулой [1]:

$$Q = \pi f t. \quad (2)$$

Структурная схема ОЭГ в программно-вычислительной среде Matlab/Simulink представлена на рис. 1.

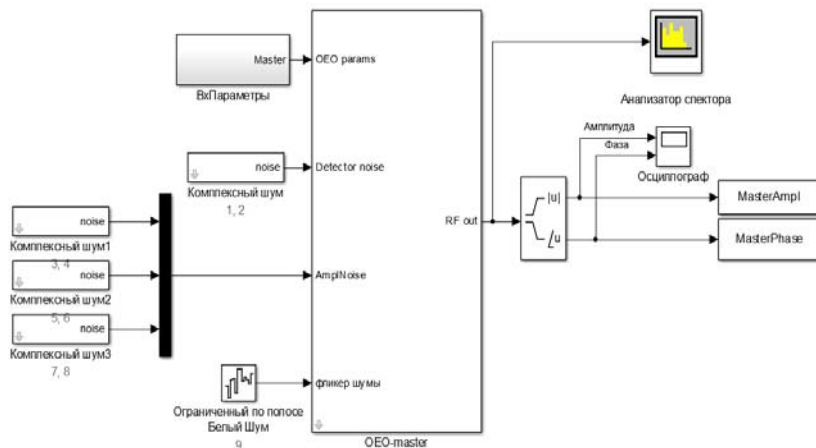


Рис. 1. Структурная схема ОЭГ в программно-вычислительной среде Matlab/Simulink

При этом с увеличением  $l$  увеличивается добротность  $Q$  и снижается уровень фазового шума АГ [2].

В работе были построены и измерены СПМ шума ОЭГ с линиями задержки длиной 50, 75, 100 и 500 м. СПМ шума ОЭГ представлены на рис. 2. Откуда можно определить границу фликер-шумов, которая составила  $f_{a50} = 1,9 \cdot 10^5$ ,  $f_{a75} = 1,7 \cdot 10^5$ ,  $f_{a100} = 1,4 \cdot 10^5$ ,  $f_{a500} = 2,2 \cdot 10^4$  Гц.

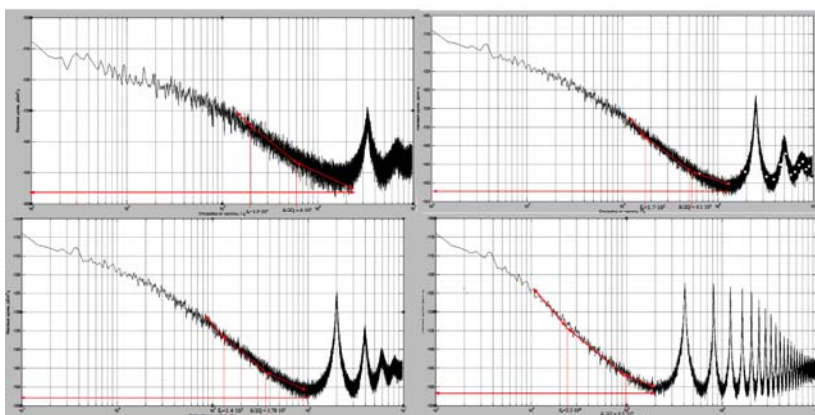


Рис. 2. СПМ шума ОЭГ при различных линиях задержки

Также из рис. 2 были определены области  $f_0/2Q = 6 \cdot 10^5$ ;  $f_0/2Q = 4,1 \cdot 10^5$ ;  $f_0/2Q = 1,78 \cdot 10^5$ ;  $f_0/2Q = 9,8 \cdot 10^4$  Гц, из которых можно выразить добротности контуров, зная, что частота генерации  $f_0 = 10 \cdot 10^9$  Гц. Экспериментальные добротности, полученные с помощью модели в Matlab/Simulink для ЛЗ, составили, где нижний индекс определяет длину ЛЗ:  $Q_{50} = 8,3 \cdot 10^3$ ;  $Q_{75} = 12,1 \cdot 10^3$ ;  $Q_{100} = 17,8 \cdot 10^3$ ;  $Q_{500} = 5,1 \cdot 10^4$ . Теоретические же добротности, используя соотношение (2), составляют:  $Q_{50} = 7,6 \cdot 10^3$ ;  $Q_{75} = 11,3 \cdot 10^3$ ;  $Q_{100} = 15,1 \cdot 10^3$ ;  $Q_{500} = 6,7 \cdot 10^4$ .

Таким образом, сравнивая экспериментальные и расчетные добротности, можно увидеть качественное соответствие теоретических результатов и математической модели ОЭГ, с небольшим отклонением. Кроме этого, в работе представлены результаты измерений СПМ шума ОЭГ. Было показано, что увеличение длины ОВ приводит как к увеличению добротности системы, так и к генерации паразитных частот, попадающих в контур усиления ОЭГ. Для подавления этих мод необходимо усилить частотную селекцию модового спектра  $f_m$  в ППФ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Царанкин Д.П. Методы генерирования СВЧ-колебаний с минимальным уровнем фазовых шумов: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2004. – 410 с.
2. Ченакин А. Фазовые шумы в СВЧ-генераторах. Методы решения проблемы // Электроника: НТБ. – 2011. – №4. – С. 52–61.
3. Белкин М., Лопарев А. Оптоэлектронный генератор – первое практическое устройство СВЧ-оптоэлектроники // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2010. – № 6. – С. 62–70.

# ВОЗБУЖДЕНИЕ ДИСКОВОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СВЧ-РЕЗОНАТОРА БЕГУЩЕЙ ВОЛНОЙ

*А.В. Горевой, А.А. Лукина, аспиранты каф. РЗИ;*

*Н.В. Пилин, Н. Аманбаев, магистранты*

*Научный руководитель А.С. Задорин, проф. каф. РЗИ, д.ф.-м.н.*

*Томск, ТУСУР, каф. РЗИ, nikke\_0013@mail.ru*

Перспективы совершенствования технических характеристик СВЧ-автогенераторов (АГ) связаны с применением в их составе высокодобротных резонаторов, работающих в режиме бегущей волны (РБВ) [1]. Наибольший уровень ненагруженной добротности  $Q_0$  в настоящее время достигается в сапфировых дисковых диэлектрических резонаторах (ДДР), возбуждаемых азимутальными модами «шепчущей галереи» (МШГ) [2]. При этом типичным режимом такого резонатора является режим стоячей волны (РСВ) [2].

В данном сообщении рассматриваются вопросы моделирования системы возбуждения (СВ) такого ДДР, обеспечивающей режим бегущей волны.

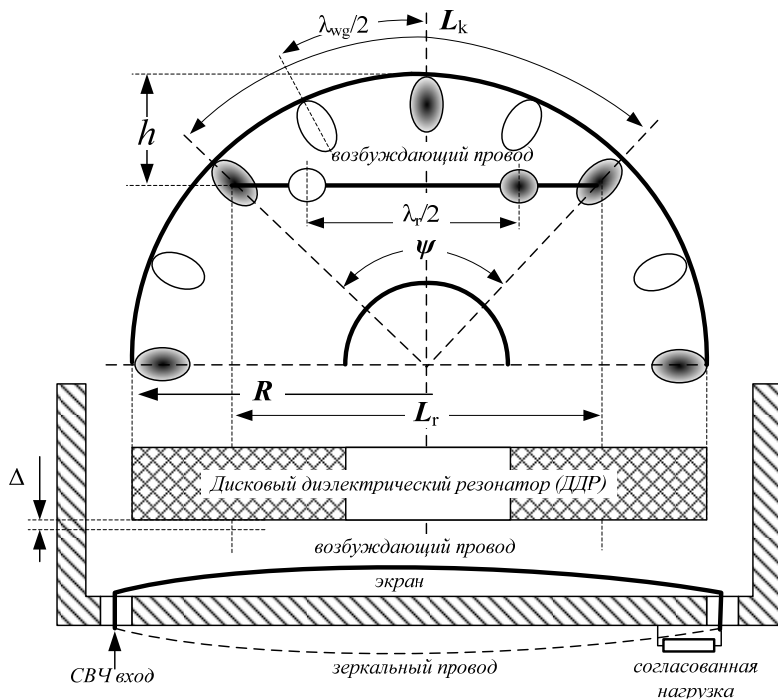


Рис.1. Схема конструкции блока ДДР с устройством ввода

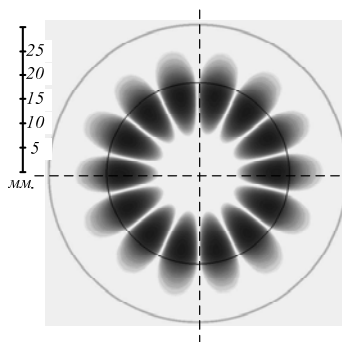


Рис. 2. Структура поля МШГ в ДДР

Рассмотрим СВ ДДР, основанную на использовании в качестве элемента связи излучающей двухпроводной линии. Схема СВ приведена на рис. 1. Здесь показаны размещенный в металлическом экране ДДР, а также расположенный над ним отрезок провода ЭС, отстоящий на расстояние  $h$  от кромки ДДР ниже границы внутренней каустики возбуждаемой МШГ. Провод ЭС имеет диаметр  $d$  и вместе с ДДР удален на расстояние  $D$  от крышки экрана. Как известно, действие экрана на бегущую по проводу указанной ЭС волну эквивалентно динамической совокупности зеркальных зарядов, образующих второй, мнимый (зеркальный) провод системы ЭС. Волновое сопротивление  $Z_{\text{в}}$  такой линии равно [3]

$$Z_{\text{в}} = 138 \cdot \lg \left[ 2D/d + \sqrt{1 + (2D/d)^2} \right]. \quad (1)$$

Для согласования указанной ЭС с внешней цепью и создания в ней режима бегущей волны вход и выход линии снабжены плавными переходами и соединены с согласованной нагрузкой (см. рис. 1).

Концентрация электромагнитного поля в рассматриваемой двухпроводной линии зависит от отношения  $2D/\lambda_0$ . В рассматриваемой конструкции ЭС высота подвеса  $D$  провода выбрана большей, чем длина волны  $\lambda_0$ . В данных условиях линия становится излучающей, следовательно, способной к энергообмену с МШГ. Эффективность такого энергообмена будет определяться интегралами перекрытий амплитуд мод в области взаимодействия, а также скалярным произведением  $(\mathbf{e}_r \cdot \mathbf{e}_{\text{wg}})$  единичных векторов, указывающих направления напряженностей соответствующих электрических полей. Поскольку вектор  $\mathbf{e}_r$  не может иметь составляющих в направлении провода ЭС, то максимум указанной свертки, очевидно, достигается, когда оба вектора  $\mathbf{e}_{\text{wg}}$ ,  $\mathbf{e}_r$  совпадают с осью ДДР.

Рассмотрим далее возможности реализации в возбуждающей системе по рис. 1 условия синхронизма МШГ и моды СВ. С этой целью обозначим через  $L_k$  длину сегмента каустики дискового резонатора с радиусом  $R$ , вдоль которого распространяется возбуждаемая МШГ, а через  $L_r$  – длину хорды, отсекающей указанный сегмент от ДДР, вдоль которого распространяется мода ЭС (см. рис. 1). Распределение поля МШГ в плоскости резонатора по азимутальному углу  $\sim \exp(-im\varphi)$ . Соответствующее азимутальное волновое число  $k_{wg}$  моды можно установить, учитывая, что испытываемый модой на одном обороте вокруг оси резонатора на расстоянии  $R$  фазовый сдвиг составит  $2\pi mR$ . Отсюда следует, что  $2\pi R \cdot k_{wg} = 2\pi m$ , и  $k_{wg} = m/R$ . На этом основании условие фазового синхронизма мод ЭС и МШГ можно записать так [4]:

$$\frac{2\pi\sqrt{\varepsilon_{эф}}}{\lambda_0} = \frac{m}{R}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{эф}$  – эффективная диэлектрическая проницаемость волноводной структуры ЭС,  $\lambda_0$  – длина волны СВЧ-волны в свободном пространстве.

Из последней формулы следует, что радиальное расстояние  $R^*$ , на котором достигается синхронизм рассматриваемых волновых процессов, равно

$$R^* = \frac{\lambda_0 m}{2\pi\sqrt{\varepsilon_{эф}}}. \quad (3)$$

Строгое выполнение условия (2) требуется не всегда. В этом случае в качестве числового критерия приближения к (2) используется относительный фазовый сдвиг  $\psi$  волн, взаимодействующих на длине  $L_r$  ЭС. Выразим длину отрезка  $L_r$  линии связи с резонатором на рис. 1, замыкающего радиальный сектор ДДР с центральным углом  $\varphi$ , как

$$L_r = 2R \cdot \sin(\varphi/2). \quad (4)$$

В результате получим выражение для зависимости фазового сдвига  $\psi(\varphi)$

$$\psi(\varphi) = \frac{4\pi R \sqrt{\varepsilon_{эф}}}{\lambda_0} \cdot \sin(\varphi/2) - m\varphi. \quad (5)$$

Пример подобной зависимости показан на рис. 3. График построен для гибридной моды с азимутальным индексом  $m = 7$  и структурой поля, показанной на рис. 2, возбуждаемой в сапфировом ДДР с радиусом 18,85 мм высотой 7,6 мм и помещенной в экран радиусом  $R = 30$  мм с высотой 23 мм.

Из рис. 3 видно, что в рассматриваемом случае строгое выполнение условия (5) достигается в точках 0 и  $46^\circ$ . Однако с небольшими

отклонениями, в пределах  $\pm 2,5^\circ$  синхронное взаимодействие МШГ и моды ЭС возможно в пределах широкого  $\sim 50^\circ$  сектора углов.

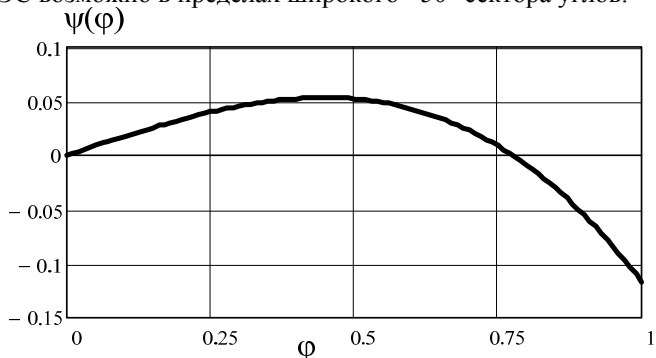


Рис. 3. Зависимость фазовой расстройки  $\psi(\phi)$  для ДДР по данным рис. 2

Приведенные формулы позволяют рассчитывать и оптимизировать электродинамические системы возбуждения ДДР, работающие в режиме бегущей волны.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров В.Н. Микроволновые диэлектрические резонаторы в физических измерениях. – Иркутск, 2013.
2. Царякин Д.П. Методы генерирования СВЧ-колебаний с минимальным уровнем фазовых шумов: дис. ... д.т.н. – М., 2004. – 410 с.
3. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ: учеб. для радиотехнических спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1988. – 432 с.
4. Городецкий М.Л. Оптические микрорезонаторы с гигантской добротностью. – М.: Физматлит, 2011. – 415 с.

#### СИСТЕМА КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ НА ОСНОВЕ ПРОТОКОЛА B92

**Р.В. Серенков, С.И. Разгуляев, А.И. Зайниев,  
М.М. Меликов, студенты каф. РЗИ**

Научный руководитель А.С. Задорин, д.ф.-м.н., зав. каф. РЗИ  
Томск, ТУСУР, Sergeant\_96@mail.ru, king.2020@mail.ru,  
r\_serenkov@mail.ru, makhmudzhon\_96@mail.ru  
Проект ГПО РЗИ-1401 «Квантовая криптография»

Одной из главных проблем создания защищенного канала связи с симметричным шифрованием данных является проблема распределения криптографических ключей [1]. Наиболее совершенными и ус-



тойчивыми к внешним атакам являются системы квантового распределения ключей (СКРК) [2]. В основе данной системы лежит передача по квантовому каналу двумя легитимными удаленными пользователями Алисой и Бобом набора закодированных двухуровневых однофотонных посылок – кубитов  $\{|\psi_j\rangle\}$ . Если данное множество представлено двумя состояниями  $|\psi_{\pm}\rangle$  с соответствующими априорными вероятностями  $\eta_{\pm}$ , то возможно различение неортогональных состояний кубитов с некоторой конечной вероятностью получения третьего, нечеткого результата  $P_2(\text{opt})$ . Указанная стратегия измерений кубитов положена в основу классического протокола B92 [3]. Наиболее простым в реализации оказывается вариант поляризационного кодирования  $|\psi_j\rangle$ . Целью настоящего сообщения является разработка и исследование программной модели СКРК указанного типа.

Разработанная нами программная модель СКРК была реализована с помощью средств ПО Matlab – Simulink по схеме фазового кодирования кубитов по протоколу B-92 [3].

Соответствующие алгоритмические схемы S-программ передающей и принимающей сторон представлены на рис. 1, 2. Здесь показан процесс формирования ключевого кода  $k_i$ , создаваемого на основе псевдослучайной последовательности (ПСП) блока «Random Integer». Биты ПСП в кодирующем устройстве преобразуются в кубиты  $|\psi_{\pm}\rangle$  и в заданной пропорции в квантовом канале смешиваются с тепловыми, гауссовыми шумами. Далее, в соответствии с протокольной процедурой, пользователь Боб по квантовому каналу принимает последовательность  $|\psi_{\pm}\rangle$ . При этом корреляционный приемник (КП), представленный на рис. 2 интегратором, моделирует функцию поляризационного делителя стандартной схемы СКРК-B92 [3]. Управляемые КП базисные сигналы сдвинуты по фазе относительно тактовой последовательности на  $\pi/2$ . Таким образом, измеренный принимающей стороной коэффициент корреляции достигает максимума при разности фаз между принятым и сгенерированным битом в  $45^\circ$ , и минимума – когда разность фаз равна  $90^\circ$ . Случайный характер измеряемого состояния поляризации кубитов на приемной стороне симулируется отдельным элементом ПСП.

Корреляционные максимумы с выхода интегратора проходят через пороговое устройство (рис. 3, Combine circuit) и формируют импульсы, разрешающие запись текущего бита в регистр ключевой последовательности  $k_i$ .

Система записи ключа (см. рис. 2) моделирует переговоры Боба и Алисы по открытому каналу связи. Боб открыто сообщает Алисе о зафиксированном превышении порогового уровня порогового устрой-

ства, указывающего на идентичность значений текущего бита  $k_i$  на обеих сторонах СКРК.

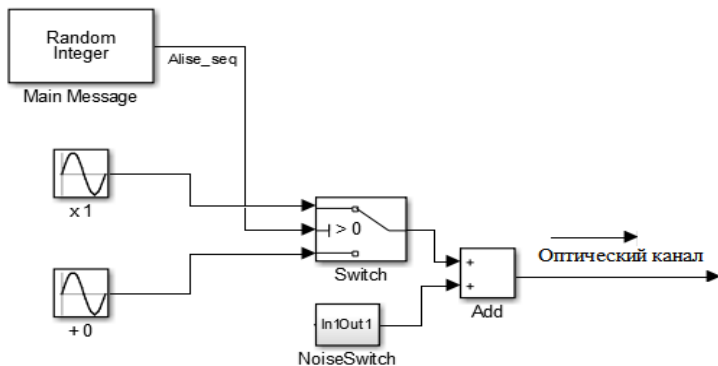


Рис. 1. Структурная схема передающей стороны СКРК

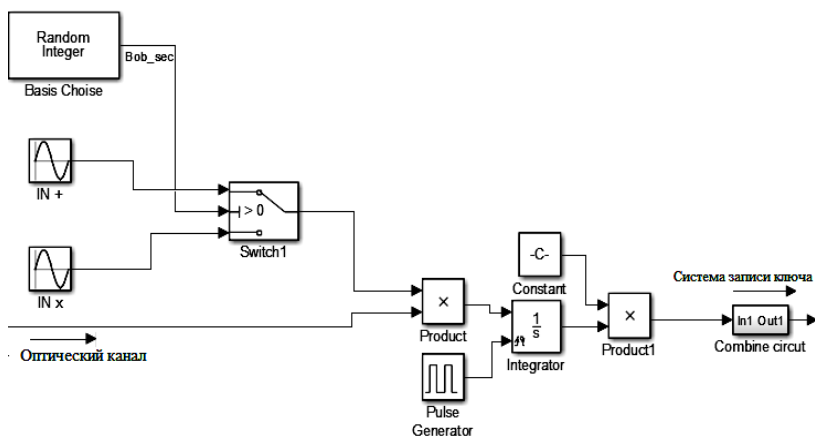


Рис. 2. Структурная схема приемной стороны СКРК

Наличие системных шумов СКРК не только вызывает избыточные ошибки в  $k_i$ , но и позволяет злоумышленнику скрывать свое присутствие.

На рис. 3 представлен полученный с помощью описанной выше программы график зависимости коэффициента ошибок последовательности  $k_i$  от отношения сигнал/шум. Из графика видно, что «врезка» злоумышленника АЕ в квантовый канал СКРК приводит к скачку коэффициента ошибок примерно до уровня 0,4 и резкому снижению системного битрейта.

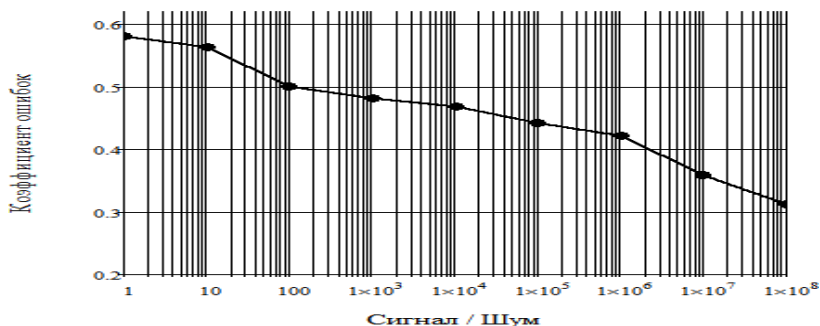


Рис. 3. Зависимость коэффициента ошибок СКРК от отношения сигнал/шум

Таким образом, разработанная нами модель СКРК на основе протокола B92 дает возможность практической реализации надежного контроля за указанными параметрами канала связи и детектировать присутствие в нем нелегитимного субъекта АЕ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кронберг Д.А., Ожигов Ю.И., Чернявский А.Ю. Квантовая криптография: учеб.-метод. пособие. – М.: Макс Пресс, 2011. – 112 с.
2. Имре Ш., Балаж Ф. Квантовые вычисления и связь. Инженерный подход. – М.: Физматлит, 2008. – 320 с.
3. Bennett C.H. Quantum cryptography using any two nonorthogonal states // Phys. Rev. Lett. – 1992. – Vol. 68. – P. 3121.

### ВЛИЯНИЕ ВТОРОЙ И ТРЕТЬЕЙ ГАРМОНИК НА ИНТЕРМОДУЛЯЦИОННЫЕ ИСКАЖЕНИЯ В GAN-ТРАНЗИСТОРАХ

**И.О. Русинов, магистр каф. ТОР**

Научный руководитель В.Д. Дмитриев, доцент каф. ТОР

Томск, TVCVP, rusinov.igor.1993@gmail.com

При проектировании нового усилителя или транзистора один из основных параметров, который должен учитываться, – это интермодуляционные искажения. Интермодуляционные искажения возникают в нелинейном тракте при взаимодействии двух и более сигналов, поданных на вход устройства.

В данной статье будет рассмотрен транзистор фирмы Cree под маркировкой CGHV60075D\_R7. Данный вид транзистора широко применяется в системах связи.

Для работы была выбрана программная среда AWR Design Environment 10. В ней построена схема транзистора с использованием тюнеров, подключенных на вход и выход цепи.

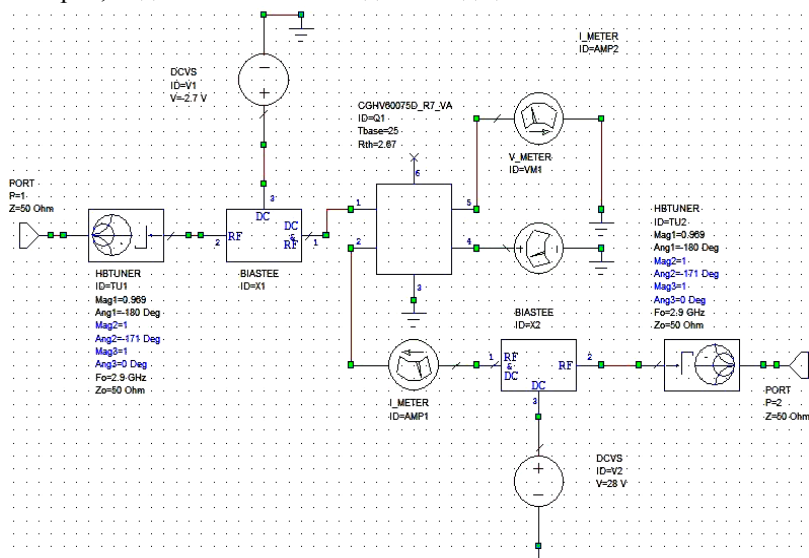


Рис. 1. Общая схема подключения транзистора и тюнеров

Предварительно транзистор настроен на максимум выходной мощности по первой гармонике. При двухчастотном режиме была произведена настройка по второй и третьей гармоникам, позволяющая уменьшить уровень интермодуляционных искажений. На рис. 2 представлены зависимости основной и интермодуляционной составляющих, с влиянием второй и третьей гармоник.

Интермодуляционные искажения 3-го порядка зависят не только от согласования транзистора на основной частоте, но и от импеданса согласующих цепей второй и третьей гармоник на 20 дБ. Основное влияние оказывает вторая гармоника. Влияние третьей незначительно (таблица).

**Значения амплитуды и фазы на тюнерах**

|               | Тюнёр 1(А/Ф) | Тюнёр 2(А/Ф) |
|---------------|--------------|--------------|
| 1-я гармоника | 0,973/177,5° | 0,845/173°   |
| 2-я гармоника | 0,42/-90°    | 0,95/172     |
| 3-я гармоника | 0,5/13°      | 0,5/10°      |

На сегодняшний день ведется работа над следующими транзисторами: HMT\_TQT\_TGF2023\_2\_10, MICRAN\_T900, Nitronex\_NPTB00004,

в различных режимах работы. После проведенных опытов будет выбран наиболее стабильно работающий и показывающий лучшие результаты, который в дальнейшем будет использован для построения схем нового поколения.

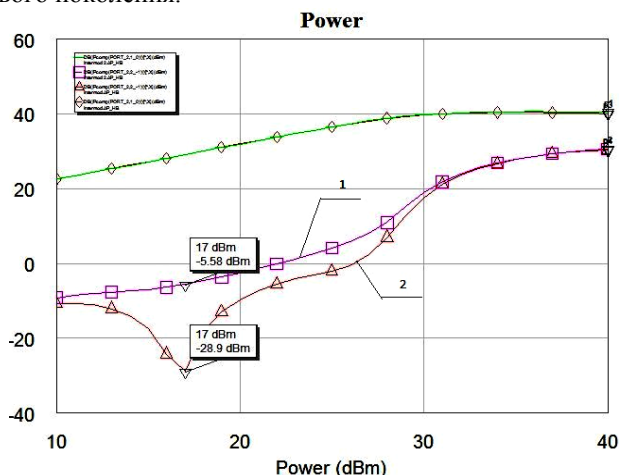


Рис. 2. Интермодуляционные искажения:

1 – без влияния; 2 – с учетом второй и третьей гармоник

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Proc. SPIE 3893. Design, Characterization, and Packaging for MEMS and Microelectronics*, 396 (October 8, 1999).
2. *Lin S., Eron M., Fathy A.E.* Development of ultra wideband, high efficiency, distributed power amplifiers using discrete GaN HEMTs // *IET circuits, devices & systems*. – 2009.
3. *Franco Giannini, Ernesto Limiti.* High Efficiency RF and Microwave Solid State Power Amplifiers Paolo Colantonio. – John Wiley & Sons, Ltd., 2009.

## СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫЙ ВВОД/ВЫВОД СИГНАЛА СВЧ- И КВЧ-МОНОЛИТНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКВОЗНЫХ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ОТВЕРСТИЙ

**В.С. Смирнов, магистрант каф. ФЭ**

*Научный руководитель И.В. Юнусов, аспирант ТУСУРа*

*Томск, ТУСУР, yunusov@micran.ru*

При создании трактов сверхвысокочастотной и крайневысококачественной (СВЧ и КВЧ) аппаратуры с использованием монолитных ин-

тегральных схем (МИС) возникает задача, связанная с обеспечением ввода обрабатываемого высокочастотного сигнала в МИС из тракта (корпуса) и последующего его вывода обратно в тракт (корпус). Решение данной задачи сводится к созданию конструктива ввода/вывода сигнала, который обеспечивает заданный коэффициент отражения в рабочем диапазоне частот, т.е. условие согласования [1].

При частотах сигнала, не превышающих единиц гигагерц, или в узком диапазоне частот задача согласования тракта и бескорпусных МИС решается успешно с использованием стандартных методов электрической коммутации, таких как разварка проволокой или сеткой. Однако существует ряд применений, в которых требуется согласование тракта и МИС в сверхширокой полосе частот с верхней границей рабочего диапазона частот до 50 ГГц и более. В этом случае традиционные методы монтажа и настройки являются трудоемкими и не гарантируют получения хорошего согласования СВЧ-тракта и высокой повторяемости характеристик изделий.

Одним из перспективных решений является вариант, описанный в [2, 3] и заключающийся в том, что сигнал к МИС поступает через сквозное металлизированное отверстие, конструктивно аналогичное заземляющим отверстиям. Данный вариант обладает преимуществами, среди которых минимальные паразитные параметры конструкции и возможность поверхностного монтажа бескорпусной МИС на плате аналогичны низкочастотным элементам.

Целью настоящей работы является исследование СВЧ-характеристик конструкции сверхширокополосного ввода/вывода сигнала МИС с использованием сквозных металлизированных отверстий, а также их сравнение с соответствующими характеристиками конструкции с вводом/выводом сигнала с использованием разварки проволокой.

Для решения поставленной задачи использовалось численное моделирование структур в CST Microwave Studio. В качестве модели МИС использована модель кристалла GaAs, содержащего микрополосковую линию с волновым сопротивлением 50 Ом. На рис. 1 представлена конструкция СВЧ-тракта, в которой ввод/вывод сигнала осуществляется через проволочные выводы. На рис. 2 представлена конструкция СВЧ-тракта, в которой ввод/вывод сигнала осуществляется через сквозные металлизированные отверстия. На рис. 3, 4 представлены результаты расчета S-параметров структур, приведенных на рис. 1 и 2 соответственно.

Приведенные результаты расчета свидетельствуют о том, что конструкция ввода/вывода сигнала МИС с использованием сквозных

металлизированных отверстий демонстрирует значительно меньший коэффициент отражения во всем диапазоне частот по сравнению с конструкцией ввода/вывода через соединения, выполненные разваркой проволоки.

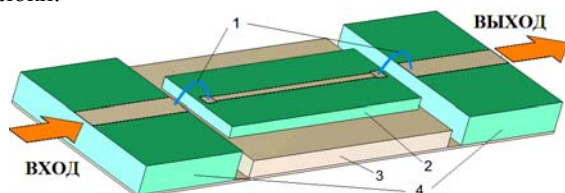


Рис. 1. Конструкция СВЧ-тракта с вводом/выводом сигнала через соединения, выполненные разваркой проволоки: 1 – проволока; 2 – кристалл GaAs; 3 – металлический кристаллодержатель; 4 – микрополосковые линии на керамической подложке

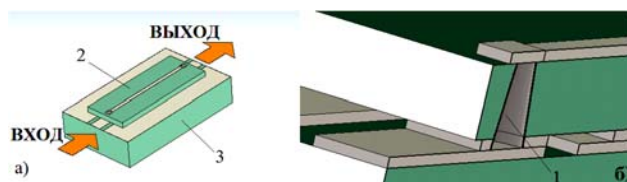


Рис. 2. Конструкция СВЧ-тракта с вводом/выводом сигнала через сквозные металлизированные отверстия – а; фрагмент конструкции в разрезе – б;  
1 – металлизированное отверстие; 2 – кристалл GaAs;  
3 – копланарная линия на керамической подложке

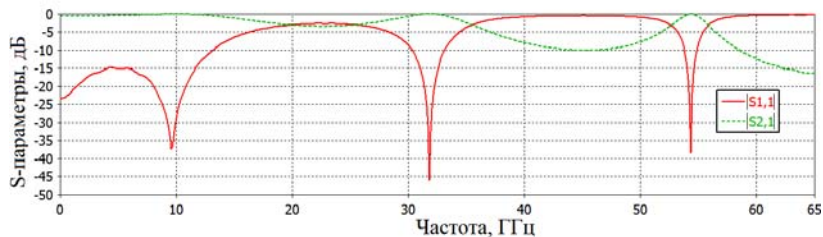


Рис. 3. Расчетные S-параметры конструкции, приведенной на рис. 1

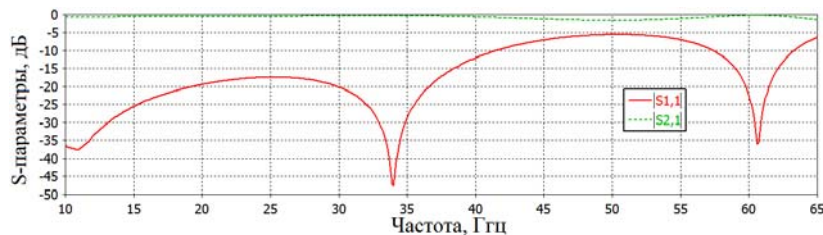


Рис. 4. Расчетные S-параметры конструкции, приведенной на рис. 2

Дальнейшая оптимизация конструкции ввода/вывода, основанная на экспериментальных результатах, направлена на снижение уровня потерь на отражение до  $-20$  дБ в диапазоне частот  $0-60$  ГГц.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Полосковые платы и узлы. Проектирование и изготовление / под ред. Е.П. Котова, В.Д. Каплуна. – М.: Сов. радио, 1999. – 243 с.
2. Алексеев В. Повышение эффективности радиочастотных устройств путем уменьшения паразитной индуктивности и емкости // Беспроводные технологии. – 2011. – Т. 1, №1. – С. 30–34.
3. Викулов И. Корпусирование СВЧ-микросхем на пластине: технология, преимущества, результаты // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2009. – Т. 3. – С. 74–79.

### ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОБЪЕКТА ПО ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ КАРТИНЕ

*А.В. Тучин, А.К. Унит, студенты*

*Научный руководитель А.В. Максимов, ст. преп. каф. РЗИ*

*Томск, ТУСУР, Ty4ka28@gmail.com*

*Проект ГПО РЗИ-1304 «Радиоволновое сканирование»*

В этой статье используется рассмотренный в работе [1] способ восстановления поверхности объекта по его интерференционной картине, полученной в ходе сканирования. Восстановленная поверхность получается по результатам построчного анализа интерференционных полос, полученных при освещении объекта двумя источниками.

При анализе строки интерферограммы определяется фаза, присутствующая в интерференционной картине в неявном виде. На основании фазовой картины восстанавливается разность хода. Используя полученные данные, определяется расстояние от плоскости базы облучающих антенн до точек объекта. В результате вычисляется совокупность расстояний, позволяющая представить вид поверхности объекта.

**Математическое описание восстановления.** Исходными данными для восстановления являются значения интенсивности и расстояние между плоскостью базы и поверхностью обследуемого объекта.

Восстановление изображения происходит путём построчного восстановления контура объекта и объединения этих контуров в одно общее объёмное изображение.

Известно, что результирующее интерференционное изображение от двух источников определяется как



$$E(x, y) = 2E_0 \cos[2\pi \Delta(x, y) / \lambda], \quad (1)$$

где  $E(x, y)$  – массив, содержащий данные о снятой в точке  $(x, y)$  интенсивности;  $E_0$  – освещённость от одного источника;  $\lambda$  – длина волны;  $\Delta(x, y)$  – величина разности хода волн от источников в точке  $(x, y)$ .

Тогда из интерференционной картины, которая представляет собой распределение интенсивностей на поверхности объекта, можно восстановить распределение фаз по формуле (2), что позволит в дальнейшем найти разности хода волн от источников:

$$\varphi_{\text{ц}}(x, y) = \alpha \cos[E(x, y) / 2E_0]. \quad (2)$$

С помощью формулы (3) преобразуем циклическое приращение фазы в полное:

$$\varphi(x, y) = \int_0^x \left| \frac{d}{dx} \varphi_{\text{ц}}(x, y) \right| dx. \quad (3)$$

За один период волна проходит расстояние, равное своей длине  $\lambda$ . Тогда восстановленную разность хода волн можно определить как число периодов волны, умноженное на её длину:

$$\Delta\alpha(x, y) = \int_0^x \left| \frac{\varphi(x, y)}{2\pi} \right| \times \lambda. \quad (4)$$

Восстановление контура объекта выполняется путём определения совокупности параметров  $L$  – расстояний от плоскости точки до плоскости облучающих антенн. После математических преобразований (1)–(4) и выражения из них параметра  $L$

$$L(x, y) = \sqrt{\left( \frac{\Delta\alpha(x, y)}{2} \right)^2 + \left( \frac{d \times x}{\Delta\alpha(x, y)} \right)^2 - \left( \frac{d}{2} \right)^2 - x^2}. \quad (5)$$

Подстановка в формулу (5) восстановленных из интерференционной картины значений разности хода  $\Delta\alpha(x, y)$  позволяет получить восстановленное трёхмерное изображение объекта.

#### **Пример восстановления поверхности согласно выше определенного алгоритма**

Допустим, имеем некоторый объект, представленный в виде полусферы радиуса  $R = 0,4$  м. Форма заданного объекта изображена на рис. 1, а. Также внесём на этот объект неоднородность (рис. 1, б), чтобы проверить возможности алгоритма по определению таких неоднородностей и восстановлению неоднородных поверхностей.

На рис. 2, а и б соответственно изображены снятые с заданных объектов интерферограммы при значении длины волны  $\lambda = 5$  мм (частота  $f = 60$  ГГц).

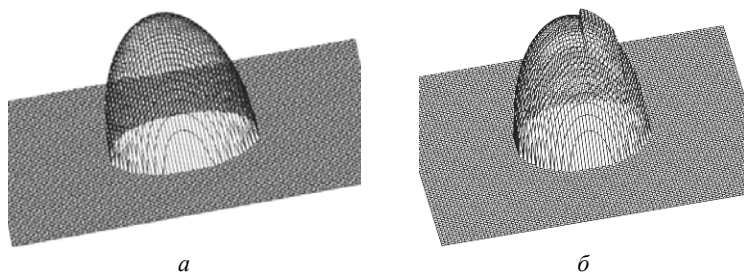


Рис. 1. Исходные объекты

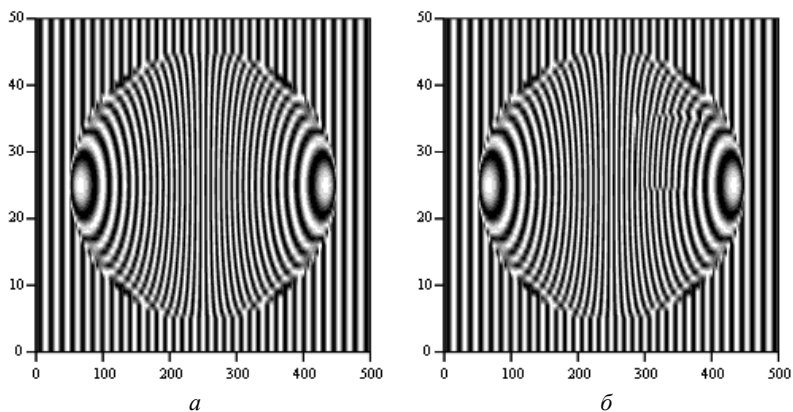


Рис. 2. Интерференционные картины объектов

Применение к этим интерферограммам описанного ранее алгоритма восстановления позволит восстановить объекты, изображённые на рис. 3, *а* и *б*.

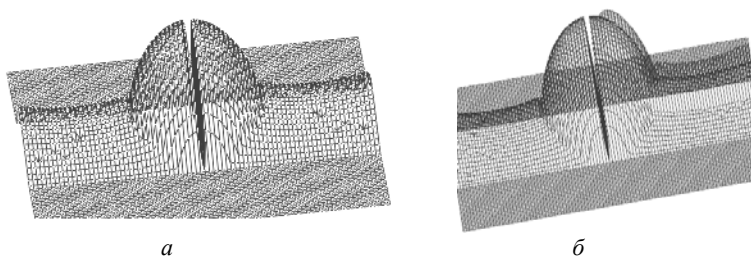


Рис. 3. Восстановленные трёхмерные объекты

Из рис. 3 видно, что представленный метод позволяет по интерференционной картине корректно восстановить объемное изображение объекта и наглядно показать наличие на нём неоднородностей и область их локализации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Заякин М.В., Зинченко М.В., Максимов А.В., Тихонов В.А. Восстановление контура по интерференционной картине // Электронные средства и системы управления: матер. докл. XII Междунар. науч.-практ. конф. (16–18 ноября 2016 г.): в 2 ч. – Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2016. – С. 184–186.

### ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ИЗБЫТОЧНОСТИ СВОЙСТВ МОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПЕРИМЕТРАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

**В.С. Чернышов, магистрант каф. РЗИ**

*Научный руководитель Н.Д. Хатьков, доцент каф. РЗИ, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, vlad170395@gmail.com*

Современные устройства охраны имеют в своем составе датчики с широким набором свойств. Установка комплекса защиты предполагает его разнообразные условия применения, включая различные конфигурации и учет сообразительности злоумышленника по противодействию задаче защиты объекта комплекса. В связи с этим возникает проблема выбора наиболее лучшего технического решения, отвечающего задаче охраны объекта. Решению этой проблемы и посвящена данная работа.

Для решения задачи выбора оптимального технического решения и получения количественных результатов при любых способах процедур оптимизации необходимо провести рейтинговую оценку свойств технических компонентов комплекса. Правильность установления величины рейтинговой оценки может оцениваться методом экспертных оценок [1]. Применительно к мобильному комплексу периметральной защиты [2] необходимое число базовых компонент составляет три экземпляра – интеррогатор, репитер и транспондер. Пример формирования рейтинга для одной топологической [3] конфигурации представлен в табл. 1. Здесь за основу рейтинга взято произведение столбцов, делая таким образом возможность получения сравнительных ценовых характеристик различных топологий.

В качестве независимых факторов в методе экспертных оценок могут быть выбраны различные топологические конфигурации, которые присущи мобильной периметральной системе защиты, представленные на рис. 1.

Таблица 1

**Пример формирования рейтинга для одной конфигурации**

| Компонента                    | Цена, отн. ед. | Число свойств | Количество | Рейтинг |
|-------------------------------|----------------|---------------|------------|---------|
| Конфигурация – индивидуальная |                |               |            |         |
| Интерrogатор                  | 10             | 5             | 1          | 50      |
| Репитер                       | 2              | 1             | 1          | 2       |
| Транспондер                   | 50             | 4             | 4          | 800     |

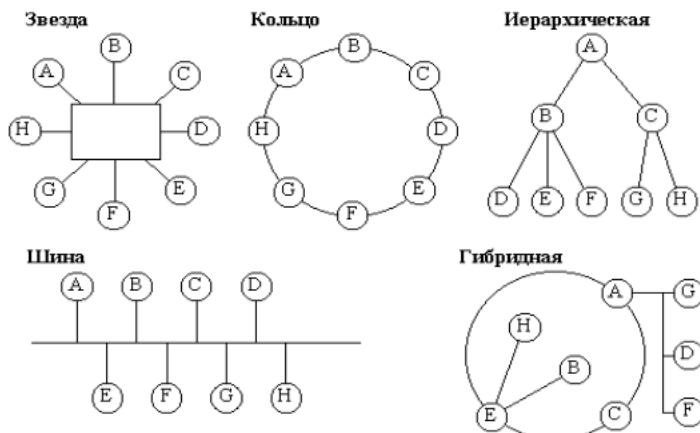


Рис. 1. Топологии мобильной периметральной защиты

Значения рейтингов, подготовленных на основе типовых таблиц для этих факторов, представлены в табл. 2. Насколько построенная гистограмма на рис. 2 достоверна, позволяет проверить рассчитанный коэффициент конкордации  $W = 0,78$ , который является значимым на уровне 0,05.

Таблица 2

**Рейтинги факторов, предоставляющих топологии**

| Топология   | Звезда                                                   | Иерархическая                                           | Кольцо                                                            | Шина                                                                                    | Гибридная                                                                          |
|-------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Рейтинг     | 850                                                      | 1654                                                    | 2450                                                              | 1650                                                                                    | 1650                                                                               |
| Фактор      | x1                                                       | x2                                                      | x3                                                                | x4                                                                                      | x5                                                                                 |
| Особенность | Подключение транспондеров в зоне видимости интерrogатора | Цепочки транспондеров с ретрансляторами к интерrogатору | Последовательность транспондеров вне зоны видимости интерrogатора | Последовательность транспондеров вне зоны видимости интерrogатора на большое расстояние | Набор различных последовательностей транспондеров вне зоны видимости интерrogатора |

С технической точки зрения создания периметрального комплекса важным является минимальный стоимостный показатель, который и заложен в рейтинге. Поэтому в данном случае, предпочтительной конфигурацией является x1 – «Звезда». Следует отметить, что определение самих рейтингов может осуществляться в некоторых пределах, зависящих от конкретных ситуативных требований по установке оборудования на конкретный объект. Здесь сделаны примерные оценки.



Рис. 2. Гистограмма распределения рейтингов факторов для топологий

Таким образом, в работе показана возможность использования метода экспертных оценок на основе формализованных данных для получения рекомендуемой топологии мобильного периметрального комплекса защиты при наличии конкретных технических условий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Метод экспертных оценок* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cito-web.yspu.org/link1/metod/met90/node26.html>
2. *Чернышов В.С.* Структурная схема охраны периметра RFID-метками // Конференция участников ГПО ТУСУР–2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://storage.tusur.ru/files/44763/2016\\_1.pdf](https://storage.tusur.ru/files/44763/2016_1.pdf)
3. *Информационная топология* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [[http://www.fundamentalscience.ru/2011/05/blog-post\\_6313.html](http://www.fundamentalscience.ru/2011/05/blog-post_6313.html)]

## КОМПАКТНАЯ АНТЕННАЯ РЕШЁТКА ДЛЯ ПРИЁМНОГО МОДУЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО РАДАРА

*К.В. Шугурова, И.Р. Шакирзянов, студенты каф. РТС*

*Научный руководитель А.В. Фатеев, доцент каф. СВЧиКР, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, k\_shugurova@bk.ru*

*Проект ГПО СВЧиКР-1506 «Антенно-фидерные устройства»*

Во всем мире широко используются системы и устройства, использующие миллиметровые волны, например системы радиосвязи и радары различного назначения [1].

Автомобильный радар – специальный датчик, принцип работы которого основан на свойстве отражения радиоволн от объектов (другие автомобили, пешеходы, препятствия) для обнаружения их на проезжей части. На основе способности отражения зондирующих сигналов от объектов проводится оценка потенциальной опасности, предупреждение водителя и в экстренном случае автоматическое воздействие на органы управления автомобиля (тормозную систему или рулевое управление).

Радар представляет собой передатчик и приёмник с антенной системой. Антенна приёмного модуля обеспечивает фокусировку сигнала передатчика и приём отраженного сигнала от объекта. При этом в качестве компактных антенн наиболее часто применяются микрополосковые антенные решётки [2].

В рамках проекта ГПО была поставлена задача разработать компактную приёмную антенну для радара в диапазоне частот 23,75–24,25 ГГц. Антенные решётки данного частотного диапазона являются наиболее широко используемыми: позволяют реализовать требуемые параметры системы (угол обзора, разрешение и дальность), несмотря на узкую рабочую полосу.

Для обеспечения заданной полосы было принято решение использовать прямоугольную топологию излучающего элемента, представленную на рис. 1, а. Заданная полоса обеспечивается за счет трансформации входного сопротивления элемента посредством введения щелей в излучающий элемент. Длина и ширина щели подбирались экспериментально с учетом последующего изготовления образца.

Конструкция антенны представляет собой диэлектрическую подложку, на которой расположен излучающий элемент прямоугольной формы. Питание антенны осуществляется с помощью симметрирующего устройства – четвертьволнового трансформатора. Вся конструкция расположена на металлическом основании. Конструкция антенны представлена на рис. 1, б.

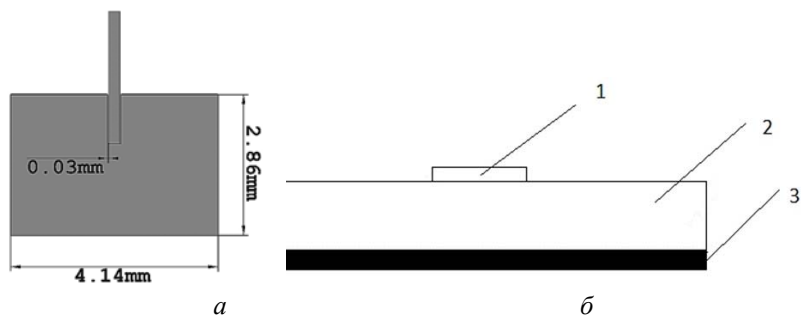


Рис. 1. Топология излучателя – *а*; конструкция антенны – *б*:  
1 – излучатель, 2 – диэлектрическая подложка, 3 – металлизация

В качестве диэлектрика используется FR-4 с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 3,55$  толщиной 500 мкм.

Антенная решётка состоит из 20 элементов, расположенных в два ряда, питание к которым подводится через общий делитель мощности из центра решётки. Питание к антенной решётке подводится снизу через коаксиальный разъём. Модель антенной решётки представлена на рис. 2. На основе аналитического расчёта построена электродинамическая модель антенной решётки в программе CST MWS, а также вычислена частотная зависимость коэффициента стоячей волны (рис. 3).

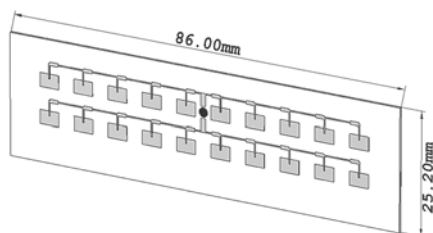


Рис. 2. Модель антенной решётки

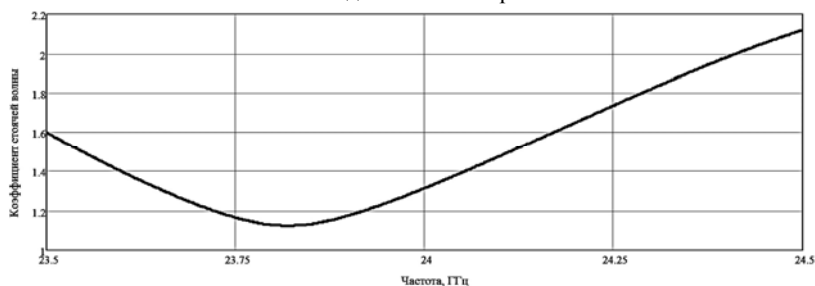


Рис. 3. Частотная зависимость КСВ

Анализ частотной зависимости КСВ показал, что в рабочей полосе частот  $КСВ < 1,8$ , что говорит об обеспечении согласования антенной решётки с питающей линией передачи.

Диаграммы направленности (ДН), соответствующие центральной частоте и граничным частотам диапазона (23,75, 24 и 24,25 ГГц), представлены на рис. 4.

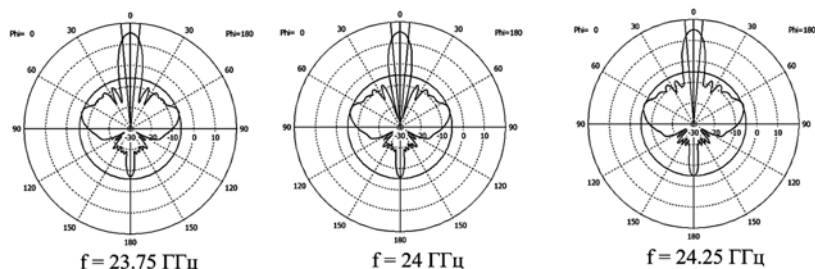


Рис. 4. ДН антенной решётки на частотах 23,75; 24 и 24,25 ГГц

В таблице представлены значения коэффициента усиления (КУ), ширины ДН по уровню  $-3$  дБ, уровня боковых лепестков (УБЛ) и направления максимума ДН.

#### Полученные параметры антенной решётки

| Параметр                    | Частота, ГГц |       |       |
|-----------------------------|--------------|-------|-------|
|                             | 23,75        | 24    | 24,25 |
| КУ, дБ                      | 15,2         | 15,2  | 15,1  |
| Ширина ДН, град             | 10,5         | 10,3  | 10,1  |
| УБЛ, дБ                     | -21,2        | -20,4 | -20,1 |
| Направление максимума, град | 0            | 0     | 0     |

Среднее значение КУ составляет 15 дБ; положение максимума ДН относительно плоскости раскрыва антенной решётки постоянно и составляет  $0^\circ$ ; среднее значение УБЛ – 20 дБ (см. таблицу).

По завершении работы была получена электродинамическая модель микрополосковой антенной решётки, удовлетворяющая заданным требованиям. Полученная модель имеет компактные размеры, низкий УБЛ, а также характеризуется хорошим согласованием с питающей линией 50 Ом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Huang Kao-Cheng. Millimetre Wave Antennas for Gigabit Wireless Communications: A Practical Guide to Design and Analysis in a System Context. – John Wiley & Sons Ltd, 2008. – 271 p.
2. Garg R., Barthia P., Bahl I., Ittipiboon A. Microstrip Antenna Design Handbook // ed. Artech House, 2001. – 685 p.



## **АНТЕННАЯ РЕШЁТКА W-ДИАПАЗОНА ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО РАДАРА**

***К.В. Шугурова, И.Р. Шакирзянов, студенты каф. РТС***

*Научный руководитель А.В. Фатеев, доцент каф. СВЧКР, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, k\_shugurova@bk.ru*

*Проект ГПО СВЧКР-1506 «Антенно-фидерные устройства»*

Применение антенных решёток в задаче разработки радарной техники различного назначения имеет ряд конструктивно-технологических преимуществ по сравнению с другими типами антенн. При этом использование печатной технологии позволяет существенно уменьшить массогабаритные показатели всей системы в целом.

Тактические и технические характеристики устройства (автомобильного радара) практически полностью определяются электрическими характеристиками используемой антенной системы. В настоящее время наиболее популярными являются широкополосные системы, позволяющие получить более точное различение объектов на дороге, что в несколько раз улучшает вероятность корректного выполнения важнейших для безопасности вождения функций. Так, например, для обнаружения пешеходов на проезжей части или автономного торможения необходимо улучшение различения объектов, что будет возможно благодаря повышению разрешающей способности вследствие расширения рабочего диапазона.

В настоящей работе представлена антенная решётка W-диапазона (77–81 ГГц). Выбранный диапазон дает возможность существенно уменьшить размеры решётки, использовать ту же технологию для разработки всех приложений, а также уменьшить риск взаимных помех вследствие более низкой требуемой мощности излучения. Цель работы – представить результаты предварительного моделирования антенной решётки для автомобильного радара.

Антенная решётка разработана на основе следующей конструкции антенного элемента (рис. 1), где излучающим является элемент прямоугольной формы, расчёт размеров которого был проведен согласно методике, представленной в [1]. В качестве диэлектрика использован материал Rogers 5880 LZ с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 2,2$  толщиной 254 мкм. Излучатель антенной решётки имеет следующие геометрические размеры: длина – 1,057 мм, ширина – 1,342 мм.

Антенная решётка состоит из четырёх элементов, которые расположены на расстоянии 3,036 мм друг от друга. Системой питания является делитель мощности. Питание подается через него непосредст-

венно к каждому излучающему элементу по перемычкам. Расчёт размеров плеч делителя проводился согласно методике [2].

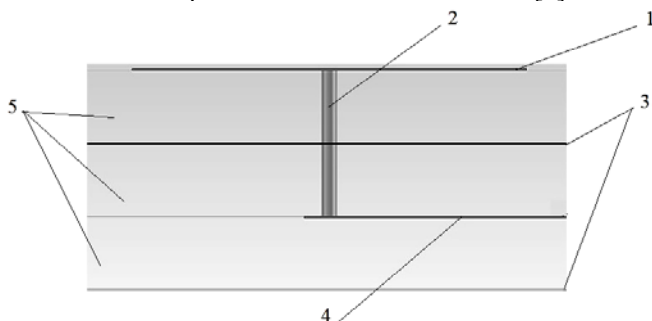


Рис. 1. Конструкция антенного элемента: 1 – излучатель; 2 – перемычка; 3 – металлизация; 4 – питающий фидер; 5 – диэлектрическая подложка (Rogers 5880 LZ)

В программе CST MWS была построена модель антенной решетки, представленная на рис. 2.

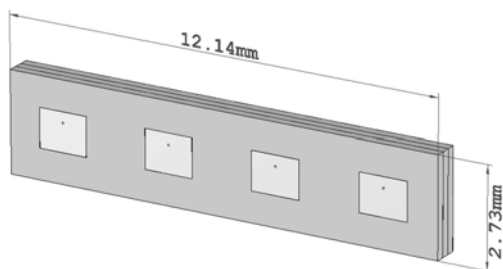


Рис. 2. Модель антенной решетки в CST MWS

Получены основные характеристики модели антенны: частотная зависимость коэффициента стоячей волны, характеризующая согласование антенной решётки с питающей линией передачи (рис. 3) и диаграммы направленности (ДН) в полярной системе координат для плоскости сечения  $\varphi = 0^\circ$  на частотах 77, 79 и 81 ГГц (рис. 4).

Для наглядности полученных результатов в таблице представлены значения коэффициента усиления (КУ), ширины ДН по уровню -3 дБ, уровня боковых лепестков (УБЛ), направление максимума ДН.

Как видно из рис. 4 и значений таблицы, среднее значение КУ составляет 13 дБ; положение максимума ДН относительно плоскости раскрыва антенной решетки постоянно во всем диапазоне частот и составляет  $0^\circ$ ; среднее значение УБЛ -17 дБ. Согласно рис. 3 антенная решётка приемлемо согласована во всем заявленном диапазоне.

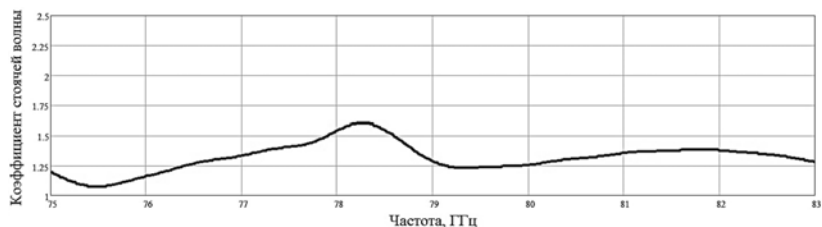


Рис. 3. Частотная зависимость коэффициента стоячей волны

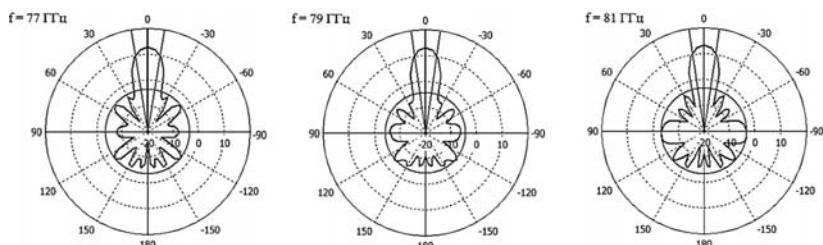


Рис. 4. ДН антенной решетки на частотах 77, 79 и 81 ГГц

#### Полученные параметры антенной решетки

| Параметр                    | Частота, ГГц |       |       |
|-----------------------------|--------------|-------|-------|
|                             | 77           | 79    | 81    |
| КУ, дБ                      | 12,7         | 13    | 13,4  |
| Ширина ДН, град             | 18,5         | 16,6  | 16,9  |
| УБЛ, дБ                     | -16,2        | -17,2 | -16,7 |
| Направление максимума, град | 0            | 0     | 0     |

На основе полученных результатов моделирования можно проводить доработку антенной решетки. Например, увеличение площади раскрыва решётки в два раза приведет к увеличению КУ на 3 дБ, то есть решётка с геометрическими размерами  $24,28 \times 2,73$  мм позволит получить среднее значение КУ 16 дБ. Таким образом, полученные результаты могут быть использованы для дальнейшей разработки и применения по основному назначению – в автомобильном радаре.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Панченко Б.А., Нефёдов Е.И. Микрополосковые антенны. – М.: Радио и связь, 1986. – 73 с.
2. Фельдштейн А.Л. Справочник по элементам полосковой техники. – М.: Связь, 1979. – 170 с.

# **ОЦЕНКА ФРАКТАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ХЕРСТА К АКУСТИЧЕСКИМ ЗАТУХАЮЩИМ СИГНАЛАМ УДАРНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ДЛЯ РАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

***Б.А. Жайлаубай, Б.Р. Юсупова, магистранты каф. РЗИ;***

***Д.Н. Хатьков, вед. инж. СО РАН ИФПМ***

*Научный руководитель Н.Д. Хатьков, доцент каф. РЗИ, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, botagoz.zhusupova@bk.ru*

В акустическом методе свободных колебаний, используемом в дефектоскопии, используется ударное механическое однократное возбуждение объекта, создающее затухающие колебания со сложным спектром. На основе анализа подобных колебаний судят о его целостности. В работе [1] показана сильная зависимость акустических спектров этих сигналов от материала, в котором они создаются, вследствие чувствительности метода. В связи с этим целью данной работы является оценка возможности получения информации о материале, из которого состоит объект. Это будет дополнительный фактор, который позволит улучшить работу диагностического комплекса в режиме работы, когда материал из которого сделан объект, неизвестен.

В качестве критерия, на основе которого можно будет ориентировочно оценить материал объекта, необходимо использовать интегральный однофакторный критерий. Этому требованию может удовлетворять показатель фрактальности Херста [2]. Тогда и сами акустические сигналы должны обладать фрактальными свойствами. Это можно проверить с достаточно высокой степенью достоверности при определении фрактального индекса, если экспериментальные точки достаточно хорошо лежат на линейной зависимости. В результате расчетов по реальным сигналам для разных материалов так и получилось, например типичная зависимость для стеклянной банки и не только (рис. 1). Акустические сигналы для разных материалов создавались с помощью специально разработанного для этого электромагнитного ударника, на основе соленоида. Акустический сигнал снимался в воздушной среде компьютерным микрофоном на звуковую карту, имеющую 16 разрядов. Верхняя частота дискретизации составляла 44,1 КГц. Для построения логарифмического графика использовалось известное [2] сеточное разбиение временной зависимости на участки  $N$  размерностью  $m = 3, 4, \dots, 12$ . Нахождение индекса фрактальности, по которому определялся показатель Херста, осуществлялось на основе аппроксимации линейной моделью с помощью метода наименьших квадратов. Эксперименты показали, что практически для всех зависимостей у разных материалов квадрат коэффициента корреляции  $R^2$  модели с экспериментальными точками не опускался ниже 0,95.

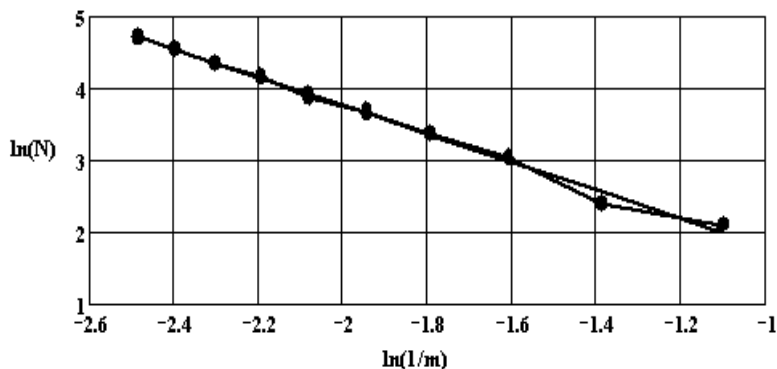


Рис. 1. Аппроксимация значений линейной моделью для акустического сигнала стеклянной банки ( $R^2 = 0,995$ )

Результаты исследований фрактального показателя Херста –  $H$  для разных материалов на основе индекса фрактальности приведены на рис. 2. Перед вычислением показателя  $H$  сигналы нормировались по амплитуде таким образом, чтобы среднее значение их амплитуды было равно 0,5.

Количество отсчетов для всех сигналов было одинаковым и выбиралось из условия полного заполнения временного отрезка передним и задним фронтом сигнала минимальной длительности материала, чтобы исключить влияние скорости распространения звука в разных материалах. Выборка сигнала составляла 4096 отсчетов.

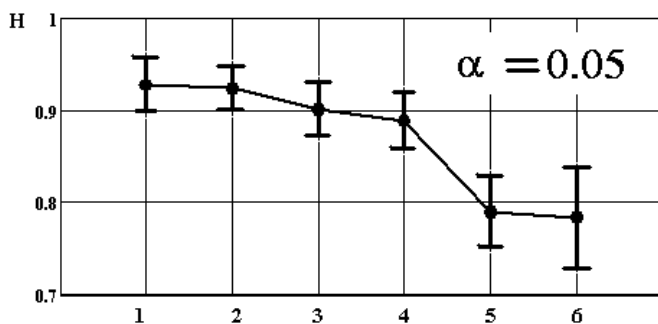


Рис. 2. Зависимость фрактального показателя Херста от номера материала:  
1 – банка; 2 – оконное стекло; 3 – лист железа; 4 – ламинат; 5 – пластик;  
6 – бетонная стена

В результате анализа графика на рис. 2 становится видно, что максимальный коэффициент Херста присутствует у стеклянных пред-

метов – банка, оконное стекло, а минимальное значение – у бетонной стены. Из этого следует, что предметы из стекла обладают наименьшей фрактальностью, что вполне коррелирует с физическим представлением о резонансе – в идеале он содержит единственную частоту, которая самоподобна себе и не имеет других масштабов проявления, а значит, является предфракталом. Банка и оконное стекло – отличные резонаторы, что косвенно и подтверждается высокой величиной  $H$ . Бетон в свою очередь является плохим акустическим резонатором и у него более низкий  $H$ . Это свидетельствует о достоверности приведенных результатов.

Таким образом, в результате проделанной работы была показана возможность получения показателя Херста для затухающих акустических сигналов, использующихся в диагностическом методе свободных колебаний, осуществлена его оценка для различных материалов. Кроме того, выявленная степень фрактальности акустического сигнала, указывает на необходимость учета подобного фактора в диагностическом комплексе свободных колебаний, поскольку она должна уменьшать точность выявления дефекта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Юсупова Б.Р., Жайлаубай А.Б. Спектры акустических сигналов разных материалов и форм, используемых для диагностики дефектов в методе свободных колебаний // Конференция участников ГПО ТУСУР–2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://storage.tusur.ru/files/53587/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D1%8B\\_%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B2.pdf](https://storage.tusur.ru/files/53587/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D1%8B_%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B2.pdf)
2. Mandelbrot, Benoit B., Ness van J.W. Fractional Brownian Motion, Fractional Noises and Application. // Siam Review. – 1968. – Vol. 10. – PP. 422–437.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫМ НЕЛИНЕЙНЫМ СЕНСОРМ

**В.П. Костелецкий, магистрант каф. РЗИ**

*Научный руководитель Э.В. Семенов, проф. каф. РЗИ, д.т.н.*

*Томск, ТУСУР, cyanogendone@gmail.com*

Существует метод, в основе которого лежит применение сверхширокополосных сигналов для исследования нелинейных свойств объектов. Данный метод позволяет исследовать нелинейные свойства устройств в сверхширокополосных системах связи и локации по от-

ношению к сигналам, с которыми такие системы работают [1]. В статье рассматривается сверхширокополосный метод на новых тестовых сигналах.

Данный метод может иметь широкое применение в гражданской отрасли, например: в геологии (некоторые соединения обладают нелинейными свойствами), при диагностике изделий (поиск дефектных полупроводников, диэлектриков, контактов), увеличивая тем самым объем информации при изучении по признаку нелинейности (нелинейность объектов проявляется по-разному при воздействии на них различных сигналов). Милитаризованная отрасль науки и техники также может нуждаться в использовании данного метода, это поможет выполнять специфические задачи, такие как обнаружение БПА противника, поиск закладных устройств, обнаружение замаскированных единиц боевой техники и т.д., что вызывает интерес к нелинейной радиолокации и особенностям ее применения [2].

Целью данной статьи является исследование возможности дистанционного обнаружения нелинейных элементов сверхширокополосным нелинейным сенсором с использованием ступенчатых сигналов в качестве зондирующих, так как в этом случае энергия сигнала сконцентрирована, что дает нам возможность максимально возбудить источник нелинейных искажений с большим шансом на обнаружение.

При изучении возможности обнаружения воздействие на исследуемый объект (диод Шоттки BAT41) импульсными сигналами (рис. 1) реализуется с помощью двух антенн, расположенных параллельно друг другу. В качестве регистрирующего устройства выступает приемник National Instruments PXI-5114, а в качестве генератора тестовых сигналов – Tabor Electronics 5201 (TE 5201).

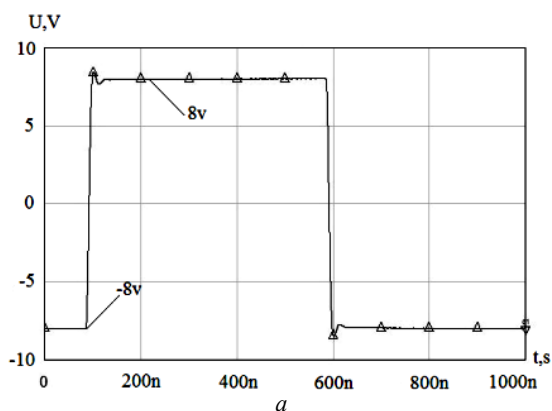


Рис. 1 (начало)

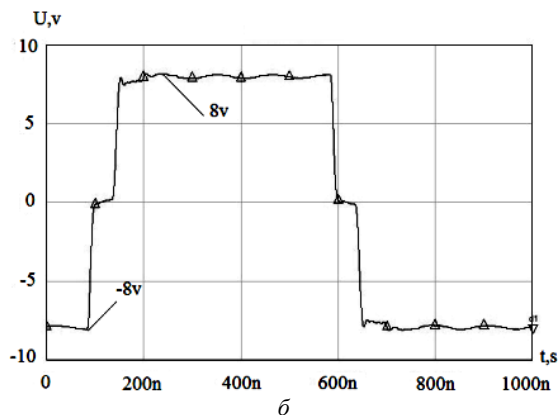


Рис. 1 (окончание). Формы сигналов: тестовый (а);  
отклик на тестовый сигнал (б)

Методика эксперимента состоит из нескольких этапов, в ходе которых для выявления нелинейности, вносимой диодом Шоттки BAT41, используя среду разработки LabVIEW [3], разложили сигнал на составляющие, продифференцировали и провели стробирование. Полученные результаты рассчитаны по формуле (1), которая так же реализована в LabVIEW:

$$F = U_1 - F^{-1} \left[ \frac{F(x_1)}{F(x_2)} \times F(U_2) \right], \quad (1)$$

где  $F$  – прямое преобразование Фурье;  $F^{-1}$  – обратное преобразование Фурье;  $U_1$  – положительная составляющая сигнала и ее отклик;  $U_2$  – отрицательная составляющая сигнала и ее отклик;  $x_1$  – положительная составляющая сигнала без отклика;  $x_2$  – отрицательная составляющая сигнала без отклика.

На рис. 2 ярко выражен нелинейный отклик; для подтверждения того, что наблюдаемый нелинейный отклик является откликом именно от нелинейности, проведено несколько итераций измерений с удалением исследуемого объекта от широкополосного сенсора.

Нелинейный отклик составил 230 мВ на расстоянии 1 см от исследуемого объекта и 120 мВ на расстоянии 3 см с увеличением расстояния до исследуемого объекта, просматривается уменьшение нелинейного отклика. Также на рис. 3 изображен отклик при отсутствии диода.

Наличие небольшого всплеска амплитудой 30 мВ на характеристике нелинейности исследуемого объекта при отсутствии диода может свидетельствовать о собственной нелинейности измерительной



системы, а также нелинейных эффектах, вносимых процессом стробирования.

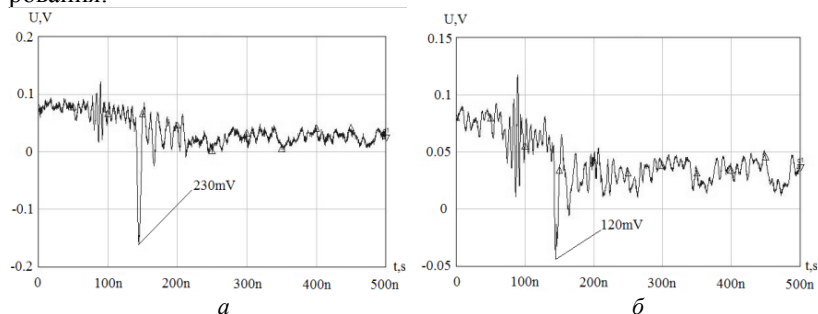


Рис. 2. Нелинейный отклик от исследуемого объекта на расстоянии 1 см – а; 3 см – б

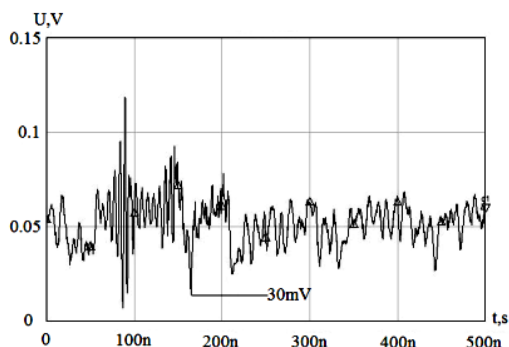


Рис. 3. Характеристика нелинейности при отсутствии диода

С помощью данного эксперимента мы подтвердили возможность использования данного метода для обнаружения дефектов в изделиях и для поиска полупроводниковых приборов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дзень В.В. Исследование сверхширокополосного нелинейного сенсора: вып. кв. работа / ТУСУР. – Томск, 2015. – 42 с.
2. Семенов Э.В. Исследование нелинейности преобразования детерминированных сверхширокополосных сигналов путем линейного комбинирования откликов объекта на линейно зависимые тестовые сигналы / Изв. Том. политехн. ун-та. – 2004. – Т. 307, № 4. – С. 18–21.
3. Labview [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.labview.ru> (дата обращения: 04.06.2016).

## **ПОДСЕКЦИЯ 1.5**

### **АУДИОВИЗУАЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЙ СЕРВИС**

*Председатель секции – Пустынский И.Н., проф. каф. ТУ, д.т.н.;  
зам. председателя – Костевич А.Г., доцент каф. ТУ, к.т.н., с.н.с.*

### **МЕТОДИКА И РЕАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ**

***А.В. Выдрина, студентка каф. ТУ***

*Научный руководитель В.А. Семиглазов, доцент каф. ТУ, к.т.н.  
Томск, ТУСУР, anastasiavydrina@yandex.ru*

На сегодняшний день ни у кого нет сомнений, что судьба предприятия зависит от правильно принятого управленческого решения.

Эффективность работы предприятия в большей степени зависит от продуманных и эффективных управленческих решений, качество которых влияет на дальнейшую судьбу фирмы, её конкурентоспособность на рынке, на её прибыль. Сам процесс принятия управленческого решения состоит из последовательности процедур, приводящих к решению проблемы на предприятии.

Цель представляемой работы заключается в демонстрации практического применения одного из методов принятия управленческих решений для решения конкретной задачи.

В качестве примера была рассмотрена задача нахождения оптимального месторасположения для открытия дополнительных торговых точек предприятия по продаже и доставке питьевой воды в г. Асино Томской области. Предприятие имеет одну точку розничных продаж в г. Асино, одновременно обслуживая клиентов из 16 населённых пунктов Асиновского, Первомайского и Зырянского районов.

Для расширения охвата потенциальной аудитории покупателей планируется открыть 2 дополнительные торговые точки. Данные точки продаж необходимо расположить в близлежащих от г. Асино населённых пунктах, находящихся в наиболее экономически выгодном для предприятия положении.

В качестве дополнительных пунктов размещения складов анализируются следующие населённые пункты: Первомайское, Зырянское, Больше-Дорохово, Ново-Кусково и Ягодное.

Для данного анализа изучены факторы, которые оказывают воздействие на объём спроса потенциальных покупателей и заказчиков.

Для оценки влияния этих факторов был использован метод оценочной шкалы, по которым идеи (анализируемые населённые пункты) оценивают путём взвешивания их основных характеристик. Метод оценочной шкалы предусматривает:

- определение перечня критериев оценки;
- определение веса каждого критерия и присвоение экспертом каждой идее определённого балла из каждого фактора;
- определение общей оценки.

Были сформированы следующие характеристики, по которым оценивался потенциал населённого пункта: численность населения, расстояние от г. Томска, количество хозяйствующих субъектов, среднемесячная заработная плата, качество дорожного покрытия до населённого пункта, качество дорожного покрытия внутри населённого пункта, количество учащихся школ, процент трудоспособного населения, среднее расстояние доставки внутри населённого пункта.

Для сравнения отобранных альтернатив использован количественный метод. Для каждой характеристики задаётся описание – «минимум» или «максимум» как критерий наилучшего значения.

Таким образом, каждая идея оценивается совокупностью безразмерных параметров, имеющих свои весовые коэффициенты. Интегрально каждая идея оценивается суммой произведений безразмерных параметров на соответствующий приоритет, рассчитываемый из весовых коэффициентов.

Ввиду различной размерности каждого критерия отбора простое сравнение не представляется возможным. Поэтому вводится нормировка этих параметров.

Сравниваем анализируемые альтернативы по четырём критериям: математическому ожиданию, отклонению от идеальной идеи, коэффициенту вариации и по предпочтению характеристик и находим интегральную оценку [1].

По результатам работы делаем вывод, что наиболее правильным решением будет открытие склада в с. Первомайское и с. Зырянское.

Таким образом, применение на практике решения данной управленческой задачи позволит максимально эффективно задействовать потенциал развития двух созданных точек розничных продаж за счёт проведённого анализа коммерческой привлекательности населённых пунктов для реализации конкретного товара.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Семиглазов А.М., Семиглазов В.А. Сборник задач по дисциплине «Компьютерное моделирование управленческих решений»: учеб. пособие – Томск: ТУСУР, 2012. – 53 с.

### ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ТРЕВОЖНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

*А.В. Гребенюк, магистрант каф. ТУ*

*Научный руководитель А.Н. Дементьев, доцент каф. ТУ, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, Grebenuk1994@mail.ru*

Проблема обеспечения безопасности всегда являлась очень важной. Статистика показывает, что в последние годы увеличилось количество несанкционированных действий на сотрудников финансовых структур.

В связи с этим стал вопрос о повышении уровня безопасности сотрудников. На данных предприятиях используются комбинированные средства охраны (СО). Эти средства используют два и более различных физических принципа обнаружения для выработки общего сигнала срабатывания. Основное назначение комбинированного СО состоит в снижении вероятности ложных срабатываний (по сравнению с показателями отдельных СО) за счет более полного учета поступающей информации.

Комбинированные СО отличает ряд достоинств: высокая помехоустойчивость алгоритмов, требующих подтверждения срабатывания одного СО информацией от других СО; размещение двух или более датчиков в одном корпусе, благодаря этому стоимость комбинированного СО меньше стоимости отдельных СО, входящих в его состав.

Комбинированные СО не лишены некоторых недостатков: зоны обнаружения нескольких СО не всегда удается удачно совместить; возможны сложности при установке комбинированного СО; зоны обнаружения всех составных частей необходимо согласовать между собой [1]. На рис. 1 представлена структурная схема охранной сигнализации, состоящая из контроллера и периферийных устройств.

Выражение для общей интенсивности отказов  $\lambda_{oc}$  функционального узла приобретает вид

$$\lambda_{oc} = \lambda_c \cdot K_s \cdot K_t = 20,625 \cdot 10^{-5}.$$

Средняя наработка до отказа изделия равна

$$T_0 = 1/\lambda_{oc} = 48484 \text{ ч.}$$

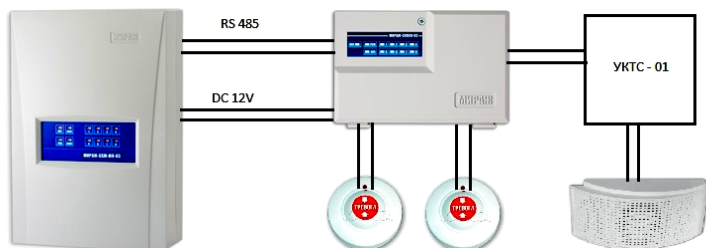


Рис. 1. Структурная схема охранной сигнализации

В таблице приводятся данные интенсивности отказов.

#### Интенсивность отказов проектируемого устройства

| Наименование элемента       | Кол-во элементов | Коэф. надежности | Интенсивность отказов элемента | Интенсивность отказа группы элементов |
|-----------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| Микросхемы                  | 5                | 1                | 0,2                            | 1                                     |
| Резистор                    | 28               | 1                | 0,05                           | 1,4                                   |
| Конденсатор                 | 19               | 1                | 0,1                            | 1,9                                   |
| Диод                        | 5                | 1,5              | 0,1                            | 0,5                                   |
| Резонатор кварцевый         | 2                | 1                | 0,75                           | 1,5                                   |
| Печатная плата              | 1                | 1                | 0,2                            | 0,2                                   |
| Общая интенсивность отказов |                  |                  |                                | 5,5                                   |

Тогда вероятность безотказной работы изделия (системы)  $P_c(t)$  рассчитывают для проектируемого устройства на заданном промежутке времени  $\Delta t$  по формуле  $P_c(t) = \exp(-\lambda_{oc} \cdot t) = \exp\left(-\sum_{i=1}^N \lambda_{i,t}\right) = 0,926$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Груба И.И. Системы охранной сигнализации. Технические средства обнаружения. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2012. – 220 с.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ГАУССОВА ШУМА С УПРАВЛЕНИЕМ ПАРАМЕТРАМИ И СПОСОБАМИ НАЛОЖЕНИЯ НА ИЗОБРАЖЕНИЕ

*М.А. Дроголов, студент*

*Научный руководитель Н.И. Крутовская, аспирантка каф. ТУ  
Томск, ТУСУР, samfider@mail.ru*

В ходе работы были исследованы два способа наложения шума на изображение: аддитивный и мультипликативный. Разработан мо-

дуль обработки изображений. С помощью разработанного модуля, который вставлен в ПО «ДиВиЛаб», осуществлялись исследования обработанных изображений.

Величины, которыми управляли в ходе исследования: средне-квадратическое отклонение (СКО), среднее значения яркости изображения, способы наложения шума (аддитивный и мультипликативный).

Аддитивный метод наложения шума характеризуется суммой полезного сигнала на выходе изображающей системы с некоторым случайным сигналом (шумом) [1]. Модель аддитивного шума, в частности, описывает действие зернистости фотопленки и флуктуационный шум в радиотехнических системах.

Мультипликативный метод наложения шума характеризуется перемножением полезного сигнала на выходе изображающей системы с некоторым случайным сигналом (шумом) [2].

Математически на практике модели гауссова шума [3. С. 355] можно реализовать

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(z-\mu)^2/2\sigma^2},$$

где  $p(z)$  – плотность распределения вероятности;  $z$  – значение яркости;  $\mu$  – среднее значение случайной величины  $z$ ;  $\sigma^2$  – среднеквадратическое отклонение (СКО) [3. С. 268]. Гистограмма представлена на рис. 1.

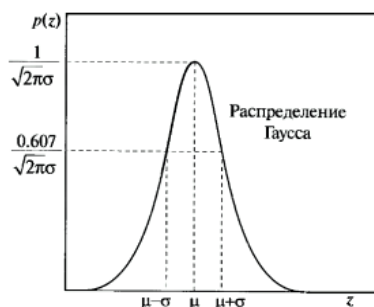


Рис. 1. Гистограмма гауссова шума

Гистограмма является отношением плотности распределения вероятности к частоте. Гистограмма уровня яркости изображения показывает, какое количество раз пиксели той или иной яркости встречаются в изображении.

**Аддитивный способ наложения шума на изображение.** Изображение с аддитивно наложенным шумом представляется некоторой его зернистостью.

Для исследования генерации и наложения гауссова шума выбрано черно-белое изображение (рис. 2).



Рис. 2. Исходное изображение –  $a$ ;  
изображение с аддитивным гауссовым шумом  $СКО = 2 - б$

Гистограмма до и после наложения аддитивного гауссова шума (рис. 3).

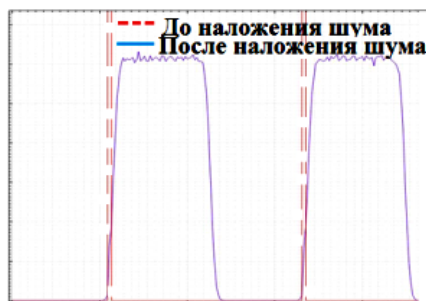


Рис. 3. Гистограмма гауссова шума  $СКО = 2$

Изображения с аддитивным гауссовым шумом приведены на рис. 4.

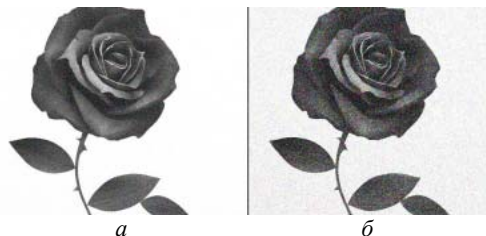


Рис. 4. Изображения с аддитивным гауссовым шумом:  
 $СКО = 10 - а$ ;  $СКО = 50 - б$

Далее приведем гистограммы изображений с вышеприведенными параметрами наложения шума (рис. 5).

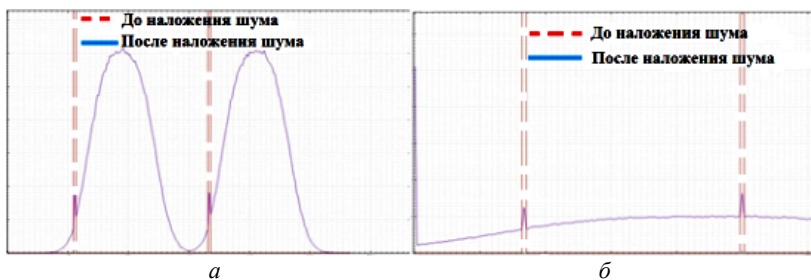


Рис. 5. Гистограммы гауссова шума:  $SKO = 10 - a$ ;  $SKO = 50 - b$

**Мультипликативный способ наложения шума на изображение.** Для наложения шума мультипликативным способом использовалось то же изображение, что и при аддитивном способе (рис. 6). На рис. 7 приведена гистограмма полученного изображения.



Рис. 6. Наложен гауссов шум мультипликативным способом наложения

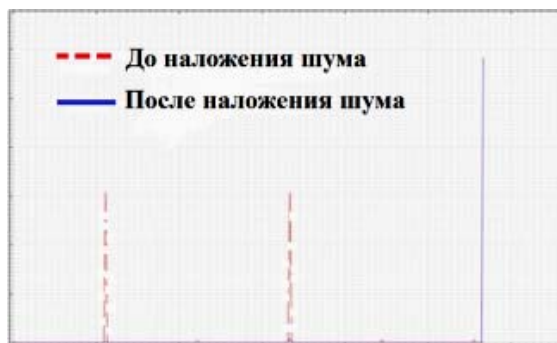


Рис. 7. Гистограмма изображения до и после мультипликативного наложения шума



Можно наблюдать исчезновения большого количества деталей изображения. Происходит это от того, что значения яркости сигнала перемножаются со значением случайной величины (шум), от этого происходит переполнение яркостного значения.

**Выводы.** Замечено, что при СКО в модуле генератора гауссова шума, близком к единице, гистограмма изображения после обработки гауссовым фильтром близка к гистограмме равномерного шума. Также выбор значения СКО влияет на степень искажения результирующего изображения.

Аддитивное наложение шума более приемлемо, так как не теряются детали изображения после фильтрации. Это изображение может использоваться для исследования в применении различных фильтров шумоподавления.

Мультипликативное наложение шума неприемлемо для исследования эффективности фильтрации шума на изображении, так как теряется большое количество деталей изображения и дальнейшее исследование фильтров устранения шумов нерационально.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Лапшенков Е.М.* Незаталонная оценка уровня шума цифрового изображения на основе гармонического анализа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.computeroptics.smr.ru/КО/PDF/КО36-3/18.pdf> (дата обращения: 20.02.2017).
2. *Сергеев В.В.* Фильтрация шумов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.ssau.ru/files/education/metod\\_2.pdf](http://www.ssau.ru/files/education/metod_2.pdf) (дата обращения: 20.02.2017).
3. *Гонсалес Р.С., Вудс Р.Э.* Цифровая обработка изображений: пер. с англ. П.А. Чочиа. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

## СОПОСТАВИТЕЛЬНОЕ РАССМОТРЕНИЕ ДЕЛОВОЙ ИГРЫ И ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ

*К.М. Зверева, студентка каф. ТУ*

*Томск, ТУСУР, [chrismarkus13@gmail.com](mailto:chrismarkus13@gmail.com)*

В данной статье рассмотрены методы обучения, проанализированы их достоинства и недостатки и доказана необходимость внедрения нового метода.

Сегодня социальные условия ввиду постоянного развития технологий увеличивают требования к профессиональным качествам работника, нацеливают на формирование творческой личности с соот-

ветствующим типом мышления, склонностью к самостоятельному поиску оптимального решения. Соответственно это требует модернизации существующих подходов в обучении либо поиска новых.

Активные методы обучения, а именно деловые игры, набирают все большую популярность как методические средства, нацеленные на реализацию такого подхода. В условиях постоянно совершенствующейся образовательной системы студенты должны наращивать компетенции, которые диктует и требует общество, помимо традиционной системы знаний. Актуальность данного исследования заключается в том, что для обладания этими компетенциями необходимо находить новые методы обучения, поскольку традиционные уже не так эффективны. Деловая игра является одним из таких современных методов.

Исследованиями и разработкой теоретических и практических аспектов деловой игры на этапе современного развития методики обучения занимаются В.Ф. Комаров [1], М.Н. Крылова, О.Н. Ворошилова [2], Н.А. Соловьева, Т.А. Макаренко [4] и многие другие.

В исследовании Е.А. Хруцкого [5] озвучивается идея, что деловая игра является средством развития как профессиональных, так и творческих навыков и мышления, в ходе которой обучающиеся прибегают к анализу специфических ситуаций и решению новых для себя задач.

В современной образовательной системе широко распространены три основные формы взаимодействия с учащимися: пассивный, активный и интерактивный методы.

Пассивный метод – своеобразный односторонний метод коммуникации, при которой преподаватель управляет ходом занятия, при этом студенты максимально пассивны.

Активный метод в сравнении с пассивным можно назвать более демократичным, поскольку при этой форме взаимодействия студенты и преподаватель имеют примерно равные права на участие в процессе обучения.

Активный и интерактивный методы обучения в общем схожи, но, несмотря на это они имеют различную специфику, так как последний считается более современной формой первого.

Суть интерактивного метода заключается в ориентации на активное и плодотворное взаимодействие студентов как с преподавателем, так и с другими студентами. Его цель заключается в создании комфортных условий для более продуктивного процесса обучения, что позволит более эффективно усваивать знания, приобретать навыки, формируя базу решения проблем уже после окончания обучения.

На данный момент широко распространены такие интерактивные формы обучения, как дискуссии, круглые столы, метод проектов и кейсов, деловые игры, тренинги.

Американские исследователи Р. Карникау и Ф. Макэлроу в своей работе описали интересную закономерность: человек помнит 10% прочитанного; 20% услышанного; 30% увиденного; 50% – увиденного и услышанного; 80% того, что говорит сам; 90% того, до чего дошел в деятельности.

Целью данного исследования является доказательство рациональности использования интерактивного метода деловых игр в дополнение к традиционным методам в целях повышения эффективности образовательного процесса.

Деловая игра – форма воссоздания предметного и социального содержания профессиональной деятельности, разнообразных условий профессиональной деятельности, характерных для данного вида практики.

Рассмотрим подробнее специфику возможностей деловой игры как интерактивного метода обучения:

1. Приближенность процесса обучения к реальной практической деятельности профессионала, достигаемая с помощью использования реальных моделей социально-экономических отношений в деловой игре.

2. В отличие от традиционных методов обучения, метод деловой игры не направлен на механическое накопление информации, наоборот, на усвоение информации в процессе деятельности, что повышает процент эффективности.

Преимущества метода деловых игр перед традиционными методами следующие:

1. Цели деловой игры связаны с удовлетворением практических потребностей студентов. В деловой игре отсутствует противоречие между теоретическим характером учебного предмета и реальным характером профессиональной деятельности.

2. Более широкий охват проблем и глубина их осмысливания благодаря включению практической деятельности и ее некоторому преобладанию.

3. Игровая форма включает момент социального взаимодействия и готовит к профессиональному общению, происходит процесс формирования установок профессиональной деятельности.

4. Более содержательная рефлексивная связь по сравнению с традиционными методами, предоставление возможности интерпретации и осмысливания полученных результатов.

Деловые игры дают возможность рассмотрения конкретной проблемы в значительно ограниченное время и освоения навыков определения, анализа и поиска решения этой проблемы.

Вполне очевиден вывод о том, что интерактивные методы обучения, в частности деловая игра, являются более эффективным методом проведения занятий.

Метод деловой игры имеет достаточно высокий уровень познавательной эффективности, поскольку в процессе игры происходит знакомство с различными методами исследования определенной проблемы, организацией работы коллектива, функциями будущей профессиональной деятельности на реальном примере.

Воспитательная эффективность проявляется, прежде всего, в сознании принадлежности участников игры к коллективу, делегировании обязанностей в процессе игры, установлении взаимосвязи между участниками при коллективном решении общих задач, в процессе которых обсуждаются вопросы, что формирует критичность, уважение и внимательность к мнению других.

Таким образом, деловые игры строятся на принципах коллективной работы, практической полезности, демократичности, конкурентности, максимальной занятости каждого и неограниченности творческой деятельности в рамках деловой игры. Современное обучение в вузе должно включать в себя все новое и прогрессивное, что появляется в педагогической теории и практике, с целью повышения познавательной активности студентов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Комаров В.Ф.* Управленческие имитационные игры. – Новосибирск: Наука; Сибирское отделение, 1989. – 272 с.
2. *Крылова М.Н., Ворошилова О.Н.* Деловая игра на практических занятиях по правоведению // Политика, государство и право. – 2014. – № 3 [Электронный ресурс]. – URL: <http://politika.snauka.ru/2014/03/1426>.
3. *Пассов Е.И., Кузовлев В.П., Коростелев В.С.* Цель обучения иностранному языку на современном этапе развития общества. Общая методика обучения иностранным языкам: хрестоматия / ред. А.А. Леонтьева. – М., 1991.
4. *Соловьева Н.А., Макаренко Т.А.* Применение деловых игр со студентами педагогических специальностей // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2015. – Т. 19. – С. 191–195. – URL: <http://e-koncept.ru/2015/95211.htm>
5. *Хруцкий Е.А.* Организация проведения деловых игр: учеб.-метод. пособие для сред. спец. учеб. заведений. – М., 1991.

## **ПРОЕКТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ФОРУМА «ЧИСТЫЙ БАЙКАЛ»**

***В.Ю. Зенкова, В.В. Максимова, студентки каф. ТУ***  
*Научный руководитель А.Э. Лебедева, ст. преп. каф. ТУ*  
*Томск, ТУСУР, zenkov.valentin@yandex.ru*  
*Проект ГПО ТУ-1404 «Проект экологического форума*  
*«Чистый Байкал»*

Одной из причин опустошения изумительной природы озера Байкал является человеческий фактор, а именно небрежное отношение к окружающей среде. Проблема загрязнения озера и натолкнула на создание проекта экологического форума «Чистый Байкал». Целью проекта является очищение берегов и близлежащих вод озера силами современной молодежи – студентами вузов г. Томска. Форум подразумевает под собой не только миссию по очистке Байкала, но и организацию оздоровительного, сплачивающего и, что самое главное, полезного отдыха для студентов.

На сегодняшний день проблема загрязнения вод Байкала стоит очень остро. Это происходит по причине того, что это озеро – единственный оставшийся источник чистой пресной воды. Оно самое старое и самое глубокое озеро в мире. Люди не осознают причиняемый ими вред будущему, когда засоряют воду и оставляют отходы по берегам Байкала. В наших силах исправить то, что десятилетиями разрушалось руками людей.

Для того чтобы стало возможным осуществить проект, необходимо воспользоваться материальной помощью сторонних организаций, а именно:

1. Связь с администрацией г. Томска.
2. Налаживание отношений с администрацией Иркутской области.
3. Спонсорская помощь от торговых организаций, занимающихся продажей канцелярской продукции.
4. Частные предприниматели городов Томска и Иркутска.
5. Участие в конкурсах на получение гранта для реализации экологического проекта:
  - а) фонд Евразия;
  - б) благотворительные организации государственного и международного уровней;
  - в) альянс «Экодела», Российский совет фонда «ГЛОБАЛ ГРИНГРАНТС» и Межрегиональный общественный экологический фонд «ИСАР-Сибирь».
6. Участие в конкурсах на получение гранта в поддержку малого и среднего бизнеса:
  - а) государственный грант на развитие малого бизнеса;

- b) союзы предпринимателей;
- c) гранты от фонда «Сколково»;
- d) гранты для молодых стартаперов от социальной сети «ВКонтакте».

В рамках PR-кампании нашего проекта был разработан слоган, который наиболее емко может описать направленность экологического форума: «Спасем Байкал – спасем планету!».

Привлечение студентов было решено осуществить через следующие каналы:

1. Социальные сети.
2. Раздача печатных листовок и распространение афиш возле учебных корпусов и общежитий.
3. Танцевальный «флеш-моб».
4. Видеоролик, который будет транслироваться по телевидению университетов.

Для того чтобы иметь наглядные данные для реализации проекта была составлена финансовая смета, она включила в себя 5 главных статей расходов, а именно:

1. Расходы на проведение PR-кампании (0,5%).
2. Расходы на оплату проезда до места проведения форума и обратно в Томск (38,7%).
3. Расходы на 10- дневное проживание участников на базе отдыха (58,7%).
4. Расходы на покупку канцелярских товаров (1,5%).
5. Расходы на инвентарь для уборки территории (0,6%).

Человеческие ресурсы форума «Чистый Байкал» подразумевают под собой группы организаторов и кураторов выезда, начальника смены и участников форума.

Каждая из групп будет отбираться по собственным критериям. После отбора команда организаторов и кураторов будет посещать информационные собрания, где начальником смены будут оговорены все аспекты поездки: начиная с проезда и проживания, заканчивая организацией уборки озера и развлекательными мероприятиями.

Организационная команда будет состоять из главного руководителя и 6 кураторов.

Отбор участников будет проходить через онлайн-заявки, оставленные в группе форума, и последующее собеседование с организационной группой.

Квота на участников с каждого университета (ТГУ, ТПУ, ТГПУ, ТУСУР, ТГАСУ, СибГМУ) составляет 12 человек.

Всем потенциальным участникам будет предложено пройти небольшое профессиональное тестирование в виде анкеты.

После заполнения анкеты все претенденты будут приглашены на собеседование, результатом которого станет решение о принятии участника на экологический форум «Чистый Байкал».

Проект форума «Чистый Байкал» направлен на улучшение экологически важного наследия нашей страны, он поможет не только очистить берега озера Байкал, но и напомнить людям о том, что необходимо беречь природу. Понимать, что такие богатства не могут оставаться в хорошем состоянии и приносить пользу, если не прикладывать силы для их поддержания.

Также форум внесет позитивный социальный вклад в формирование личности молодого населения страны. Покажет и расскажет, как надо относиться друг к другу и окружающей среде, как стоит отдыхать и занимать свое свободное время с пользой не только для себя.

При поддержке администраций городов Томска и Иркутска, а также спонсорской помощи удастся воплотить проект в жизнь и увидеть его пользу уже на практике.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Энциклопедия для детей.* – Т. 19: Экология / гл. ред. В.А. Володин. – М.: Аванта+, 2001. – 448 с.
2. *Вокруг света:* Ежемесячный научно-популярный журнал. – 2002. – № 6 (2741), июнь. – С. 13–24.
3. *Нуреев Р.М.* Курс микроэкономики: учеб. для вузов. – 2-е изд., изм. – М.: НОРМА, 2005. – 575 с.
4. *Олейник А.Н.* Институциональная экономика: учеб. пособие. – М.: ИНФРА, 2005. – 230 с.

#### **ИНФОРМАЦИОННЫЙ СЕРВИС – ПРОФЕССИЯ БУДУЩЕГО**

***В.Ю. Зенкова, В.В. Максимова, студентки каф. ТУ***

*Научный руководитель А.Э. Лебедева, ст. преп. каф. ТУ*

*Томск, ТУСУР, zenkov.valentin@yandex.ru*

*Проект ГПО ТУ-1404 «Информационный сервис – профессия будущего»*

Направление «Информационный сервис» в ТУСУРе относительно новое и судить о его эффективности довольно трудно. Но в связи с проблемой набора студентов в 2016 г. возникла необходимость разобраться и найти какие-то конкретные решения этой проблемы.

Поэтому целью работы является создание мероприятий для привлечения большего количества абитуриентов в ТУСУР на направление «Информационный сервис».

Для достижения поставленной цели были обозначены следующие задачи:

1. Поиск путей организации агитационной акции.
2. Поиск новой информации, способной внести свежие идеи в преподавание в вузе.

3. Разработка полезной программы для участников агитационной акции.

4. Связи с общественностью, нацеленные на поддержание акции.

Чтобы разобраться в данной проблеме, был проведен опрос среди первокурсников, четверокурсников и выпускников прошлого года специальности «Сервис». Большая часть опрошенных не понимает, какой профессии учит данная специальность и как она поможет в построении будущей карьеры, поэтому стоит внести в учебный план предметы, которые будут направлены именно на специализацию студентов. Также многие выпускники предлагают ввести больше практической части и моделирования реальных ситуаций, которые пригодятся в работе, освоении компьютерных программ, которые используются на многих предприятиях.

Выявив и обозначив проблему неполноценности учебного плана по специальности «информационный сервис», встала задача поиска путей ее решения. Для этого было решено провести сравнение учебных планов ТУСУРа специальности «сервис» профиля «Информационный сервис» и Академии труда и социальных отношений (АТСО), расположенной в г. Москве. Произведя анализ, было предложено добавление в учебный план дисциплин, присутствующих в АТСО и являющихся практически важными для специальности «сервис»: риторика, системный анализ в сервисе, материаловедение, электронные системы безопасности личности и имущества, физика, компьютерные сети и системы, основы телевидения, цифровая и аналоговая обработка сигналов, организация коммерческой деятельности в сфере сервиса, управление качеством в сервисе, интернет-технологии, управление социальным развитием организации, управление рисками в сервисной деятельности, основы логистики, документальное обеспечение управленческой деятельности организации.

Чтобы разобраться во всех интересующих вопросах, было проведено интервью с ответственным секретарем приемной комиссии ТУСУРа Л.А. Семкиной. В ходе него была выявлена самая главная проблема – отсутствие бюджетных мест. Очень плачевно, что на данную специальность теперь поступают лишь абитуриенты с низким проходным баллом, которые уже рассчитывают только на платные направления. Также выяснилось, что даже не всем сотрудникам приемной комиссии понятна формулировка специальности «сервис», что уж говорить об абитуриентах и их родителях. В ТУСУРе в последнее



время проходит множество мероприятий с агитационной направленностью, но специальность «сервис» зачастую обходят стороной, делая упор только на технические специальности. Хотя если бы агитационный упор делался и на специальность «сервис», это бы дало свои результаты даже без наличия бюджетных мест. Взять хотя бы пример с экономического факультета, направления которого пользуются большой популярностью, даже учитывая, что все направления платные.

Учитывая все вышеуказанное, для привлечения абитуриентов была разработана интеллектуальная проектная игра «Кто здесь главный?». В ее основу была положена идея – в игровой форме дать возможность школьникам попробовать себя в роли разных ячеек в схеме управления.

Игра включает в себя пять этапов:

1. Мини-игра «Почувствуй разницу».
2. Командная работа.
3. Презентация своих проектов.
4. Подведение итогов, награждение победителей.
5. Просмотр видеоролика «Сервис – профессия будущего».

Данное мероприятие будет проводиться в 53 школах г. Томска, рассчитано оно на учеников 11-х классов.

Для проведения игры необходимы канцелярские принадлежности, а именно: маркеры, ручки, ватманы, бумага, а также для награждения победителей канцелярские принадлежности с логотипом «ТУСУР», отсюда возникает необходимость найти спонсоров, которые также могут предоставить организаторам призы для победителей.

Данное мероприятие позволит рассказать потенциальным студентам, что такая профессия, как «сервис», очень многогранна, поэтому специалисты такой области будут пользоваться широким спросом у работодателя, а также позволит создавать и реализовывать свои собственные проекты и идеи.

По окончании всего мероприятия проводится награждение и всеобщему вниманию предоставляется ролик «Сервис – профессия будущего», в котором представлены все направления обучения данной специальности и который был также разработан и снят в рамках данного проекта.

В ходе проектного исследования были осуществлены поставленные задачи. Путем сравнения специальности «сервис» в вузах ТУСУРа (г. Томск) и АТСО (г. Москва), а также с помощью опросов действующих и бывших студентов были сделаны выводы и представлены рекомендации по изменениям в учебном плане специальности для более продуктивного и интересного изучения направления подготовки.

Для привлечения большего потока студентов были предложены следующие мероприятия:

1. Проведение игры «Кто здесь главный?» среди школьников г. Томска.
2. Внесение отдельной единицей направления подготовки «сервис» в уже существующие агитационные мероприятия ТУСУРа.
3. Добавление расширенной информации в буклеты приемной комиссии о данной специальности.
4. Прокрутка созданного в ходе проекта видеоролика на ТВ ТУСУРа.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Томский* государственный университет систем управления и радиоэлектроники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://old.tusur.ru/ru/> (дата обращения: 10.02.2017).
2. *Академия* труда и социальных отношений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.atiso.ru/index.php?lang=ru> (дата обращения: 10.02.2017).
3. *Профориентация* Грэйс школьников и взрослых России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://proforientation.ru/professii-podrobnee.html> (дата обращения: 10.02.2017).
4. *Девяткина Г.В.* Проектирование учебно-технологических игр // Школьные технологии. – Новосибирск. – 1998. – №4. – С. 121–126.
5. *Бухтиярова И.Н.* Метод проектов и индивидуальные программы в продуктивном обучении // Школьные технологии. – Новосибирск. – 2001. – №2. – С. 108–115.

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОБЛЕМ И ПЕРСПЕКТИВ УТИЛИЗАЦИИ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В Г. ТОМСКЕ

***В.В. Зиберт, студент каф. ТУ***

*Научный руководитель А.Э. Лебедева, ст. преп. каф. ТУ  
Томск, ТУСУР, asetiy@gmail.com*

В настоящее время каждый житель нашей планеты производит в среднем около 350 кг мусора в год. Главными причинами увеличения количества мусора являются рост производства товаров массового потребления одноразового использования, увеличение количества упаковки, повышение уровня жизни, позволяющее пригодные к использованию вещи заменить новыми. Большая часть бытового мусора не разлагается в естественных условиях и имеет длительный срок разложения. Доля такого мусора увеличивается с каждым годом. Поэтому проблема утилизации бытовых отходов в больших городах становится все более актуальной. Утилизация и переработка бытовых отхо-

дов в современном мире ставит ряд задач, основными из которых являются процесс их уничтожения и использования, а также минимизация загрязнения окружающей среды при их уничтожении или захоронении. Отсутствие мусоросортировочных и мусороперерабатывающих заводов на территории городов значительно усложняет решение проблем в этой области.

Целью данной работы является оценка необходимости строительства мусороперерабатывающего завода в г. Томске. На сегодняшний день в Томске работают более 20 организаций, занимающихся сбором, утилизацией и переработкой вторичных ресурсов с получением готовой продукции и вторичного сырья. Полигон, на который вывозится мусор, – это Томский полигон твердых бытовых отходов, который располагается в 25 км от города, в с. Сурово-Сухоречье. Открыли его не так давно – в 2010 г. Полигон представляет собой своего рода «город» – со сложной инфраструктурой, улицами и полями пресованного мусора. Эти поля называются «картами», на томском полигоне их три. Одна из них на данный момент «закрыта», т.е. уже заполнена. Вторая карта находится в рабочем состоянии, третья готовится к открытию. Расположение карт прописано в проекте согласно существующим нормам (ГОСТам и СанПиНам). На полигоне также ведется сортировка отходов. На временно закрытые для мусоровозов участки выходят три бригады сортировщиков, в каждую входят около 50 человек. Работники собирают на свалке так называемые полезные фракции: пластиковые бутылки, картон, плёнку, пластмассовые ящики, металлы – всего девять видов. Отсортированный мусор продается или сдается на переработку, куда – решает руководство бригад.

Согласно новому законодательству с 1 января 2017 г. (ФЗ № 89) на полигонах будет запрещено захоронение отходов, которые могут подвергаться переработке. А в целом мусор, в том объеме, который принимает томский полигон, должен проходить через сортировочный завод. По проекту срок службы томского полигона составляет 50 лет. В дальнейшем, когда изменения в законе вступят в силу и на томский полигон будут принимать лишь органику, срок его службы увеличится.

В связи с этим уже давно назрела необходимость строительства мусороперерабатывающего завода. В Томске он должен быть построен в течение трех лет (после вступления закона в силу). Основными задачами завода должны стать сортировка и переработка мусора.

При строительстве таких объектов всегда возникает вопрос о финансировании. Создание заводов является очень затратным мероприятием. Оценка того, можно ли профинансировать его только за счет местного бюджета, чаще всего отрицательна. Поэтому необходимо привлечь частных инвесторов.

Еще одной проблемой является реализация отсортированных и переработанных отходов. Вторичное сырье не конкурентоспособно на рынке. Небольшие предприятия, занимающиеся реализацией такой продукции, не имеют большой прибыли, так как она имеет низкую стоимость. Существует вероятность того, что когда будет построен и начнет работу мусороперерабатывающий завод, издержки будут достаточно высоки, что обозначит увеличение стоимости конечной продукции или же возрастание стоимости услуги по вывозу и переработке мусора для населения и организаций. Если сегодня вывоз на полигон стоит 133 руб. за кубометр, то с учетом сортировки цена вырастет минимум в два раза.

Предпринимателям невыгодно самим поддерживать такое строительство, именно поэтому оно должно проходить при поддержке местных властей. От них требуется выделение подходящей земли для строительства, помощь в финансировании из местного бюджета, разработка и утверждение нормативных актов, регулирующих правовые отношения, тарифы на вывоз и переработку бытовых отходов.

Создание и обслуживание полигонов обходится намного дешевле. Стоимость земли за пределами городской агломерации значительно ниже стоимости на территории города и, конечно, ниже, чем финансирование нового завода.

С экологической точки зрения мусороперерабатывающие заводы не наносят такой вред окружающей среде, как захороненные отходы. Мусор разлагается сотни лет, и земля в этих местах не пригодна для проживания и создания хозяйственной деятельности. Если размещение отходов происходит вблизи водоемов, то есть вероятность их отравления, а это может привести к экологической катастрофе.

Заводы по переработке мусора позволяют сберечь природные и финансовые ресурсы. Продукция, сделанная из вторичного сырья, значительно дешевле продукции из новых ресурсов, в стоимость которых входит добыча, доставка и обработка. Поэтому использовать заводы по переработке вторичного сырья экономически эффективней, а также этот метод наносит наименьший вред экологии.

В данной работе были рассмотрены проблемы утилизации бытовых отходов в г. Томске. Мусорные свалки наносят огромный вред окружающей среде. Выход из сложившейся ситуации – это создание многофункционального мусороперерабатывающего завода, который будет утилизировать мусор на исходное сырье для производства полезной продукции. Строительство и организация работы такого предприятия связаны с определенными трудностями, в частности, требуются большие финансовые вложения, но в перспективе такой завод

принесет много пользы и может окупиться за достаточно короткий срок. По оценкам специалистов, рентабельность хорошо организованного бизнеса по переработке отходов может составлять до 80%. Кроме того, создаются новые рабочие места и происходит экономия невозобновляемых ресурсов нашей планеты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Черп О.М., Виниченко В.Н. Проблема твердых отходов: комплексный подход. – М., 1997. – 41 с.
2. Об отходах производства и потребления: Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ (в ред. Федеральных законов от 01.01.2017).

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ОПЕРАТОРОВ УЛУЧШЕНИЯ ЧЕТКОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУМЕРНЫХ ЛАПЛАСИАНОВ

*А.В. Каменский, аспирант каф. ТУ*

*Научный руководитель М.И. Курячий, доцент, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, РТФ, andru170@mail.ru*

Воздействие масок малого размера не изотропное, так как расстояние между центральным элементом маски и вертикальными / горизонтальными элементами условно равно 1, а между центральным элементом маски и диагональными элементами – 1,41. Очевидным решением становится увеличение размера маски для обеспечения изотропности. Когда обработка изображений на компьютерах только осваивалась, и время, затраченное на обработку, было критично, увеличение размера маски вело к увеличению объема вычислений, поэтому часть обрабатываемых элементов было принято заполнять нулями [1].

Разреженные маски используются для уменьшения количества вычислительных операций в фильтре. Размеры маски должны быть, по крайней мере, в два раза больше размера выделяемого малоразмерного объекта. Однако эффект размытия в разы сильнее, поскольку в формировании центрального пикселя нового изображения участвуют более далекие «соседи» [2].

Дискретный оператор Лапласа часто используется в обработке изображений, например в задаче выделения границ или в приложениях оценки движения. Дискретный лапласиан определяется как сумма вторых производных и вычисляется как сумма перепадов на «соседях» центрального пикселя.

Для анализа в работе используется маска лапласиана размером  $3 \times 3$  элемента и разреженную маска лапласиана  $7 \times 7$  элементов (рис. 1).



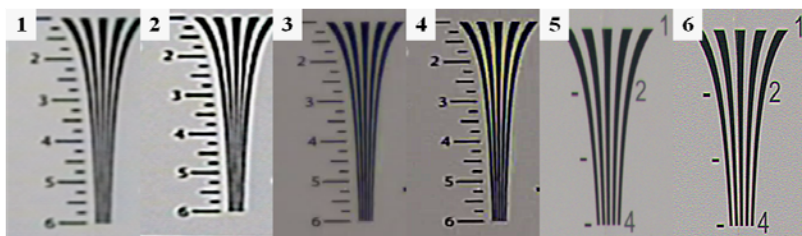


Рис. 2. Камера Day Night Digital Color Camera: 1 – исходное изображение; 2 – изображение после фильтрации. Камера EVIDENCE Apix-Bullet: 3 – исходное изображение; 4 – изображение после фильтрации. Камера Canon SX50HS: 5 – исходное изображение; 6 – изображение после фильтрации

Анализируя результаты ранее написанных работ по данной тематике, при данных типах изображения были получены следующие коэффициенты: изображение 1 –  $A = 3$ ; изображение 2 –  $A = 4$ ; изображение 3 –  $A = 1$ .

По результатам проделанной работы можно сделать следующие выводы.

1. Для изображения, снятого на камеру Day Night Digital Color Camera, можно сказать, что использование разреженной маски требует использования больших коэффициентов для получения качественного изображения и не дает сильного преимущества в качестве фильтрации изображения.

2. Для камер EVIDENCE Apix-Bullet / M2 Lite LED 3312 и Canon SX50HS коэффициенты фильтрации получили приблизительно одинаковыми. Для первой камеры они составили  $A = 4$ , для второй – в диапазоне от  $A = 1$ –2. Вследствие этого можно сказать, что чем выше разрешение исходного изображения тем меньше ставится разница между коэффициентами, используемыми для фильтрации.

3. Основываясь на том факте, что разреженные маски требуют больше вычислительной мощности относительно обычных, то их использование не столь целесообразно, если только не стоит каких-то специфических задач, для которых их применение будет оправдано.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Обработка изображений разреженными масками* [Электронный ресурс]. – URL: <https://habrahabr.ru/post/172231/> (дата обращения: 27.02.2017).
2. *Конюхов А.Л., Костевич А.Г.* Двумерная апертурная коррекция в разреженных масках для повышения качества изображения // Научная сессия ТУСУР–2013: матер. Всерос. техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 14–16 мая 2013 г.: в 5 ч. – Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2013. – С. 119–122.

3. Каменский А.В. Методы повышения четкости телевизионных изображений линейными алгоритмами // Матер. XI Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления». – Томск: В-Спектр, 2015. – Ч. 2. – С. 302–305.

## **ВЫБОР КАНАЛА ПРОДВИЖЕНИЯ ТОВАРА НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЯ СЕРВИСА**

*П.С. Карпова, студентка каф. ТУ*

*Научный руководитель В.А. Семиглазов, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, karpova.ps@mail.ru*

Эффективность рекламы напрямую зависит от ее носителя. Сравнительная эффективность различных СМИ является важным фактором для принятия решения при выделении финансирования на маркетинговые мероприятия. Каждый рекламный носитель имеет свой уникальный набор характеристик, подходящий для рекламы того или иного вида товара или услуги.

Канал доставки информации до потребителя определяет ее характеристики, ведь содержание самой рекламы также зависит от ее носителя. Например, реклама на телевидении и радио не позволяет донести до потребителя большой объем информации о товаре или услуги в отличие от рекламы в прессе или Интернете.

Также стоит учитывать различное воздействие акустической и графической информации на человека. Акустическую информацию нельзя охватить разом, и она доходит до слушателя последовательно, поэтому часто на слух человек запоминает информацию хуже, чем визуально. Поэтому такой носитель, как радио, дает меньшие возможности для изложения информации, так как потребитель не запомнит список товаров или их характеристик, как и контактный номер или адрес. Печатная и наружная реклама хорошо подходит для продвижения товара, который необходимо визуально продемонстрировать потребителю.

Реклама на телевидении отличается от других каналов представления информации тем, что воздействует на потребителя как акустически, так и визуально. Такой способ рекламы хорошо подходит для товаров или услуг, которые необходимо продемонстрировать в движении. Однако телевидение, как и радио, в силу своих характеристик может восприниматься только последовательно, и потребитель не сможет вернуться к заинтересовавшей его информации.

Реклама в Интернете обладает всеми свойствами различной рекламы в СМИ. Такая реклама способна оказать сильное воздействие на потребителя за счет того, что может представить товар или услугу в



выгодном виде (как печатная реклама), рассказать о нем, показать в динамике (как телевидение), предоставить дополнительную информацию. И потребитель всегда может обратиться к уже просмотренной ранее информации.

Для рекламы важную роль играет ее место размещения. Если это реклама в прессе, то наиболее читаемые места – развороты, центральные страницы и обложка. Для наружной рекламы – наиболее посещаемые точки города, однако следует обращать внимание на то, не расположены ли рядом другие рекламные щиты, дабы избежать «рекламного шума». Реклама в Интернете наиболее заметна в верхней части страницы, когда ее не нужно прокручивать.

Исходя из этого, следует сделать вывод, что каждый рекламный носитель имеет свои особенности, которые необходимо учитывать при выборе канала продвижения товара.

Для примера рассмотрен выбор канала продвижения услуг фитнес-клуба *N*. Для этого составлена таблица.

**Сравнение основных параметров СММ**

| Рекламные носители / Параметры   | ТВ          | Радио   | Интернет    | SMS/e-mail   | Пресса  | Наружная     | Промоакции | Листовки    |
|----------------------------------|-------------|---------|-------------|--------------|---------|--------------|------------|-------------|
| Потенциальная аудитория          | Большая     | Средняя | Средняя     | Средняя      | Средняя | Большая      | Большая    | Низкая      |
| Процент эффективной аудитории    | Низк./сред. | Низкий  | Низк./сред. | Высокий      | Средний | Средний      | Высокий    | Низкий      |
| «Рекламный шум»                  | Высокий     | Высокий | Средний     | Средний      | Низкий  | Сред./высок. | Низкий     | Средний     |
| Стоимость                        | Высокая     | Низкая  | Низк./сред. | Низкая       | Средняя | Средняя      | Высокая    | Средняя     |
| Возможность получить доп. инф-ю  | Нет         | Нет     | Есть        | Нет          | Есть    | Нет          | Есть       | Есть        |
| Звуковая форма передачи инф-ции  | Есть        | Есть    | Есть        | Нет          | Нет     | Нет          | Есть       | Нет         |
| Графическая форма передачи инф-и | Есть        | Нет     | Есть        | Есть/Нет     | Есть    | Есть         | Есть       | Есть        |
| Запоминаемость рекламы           | Средняя     | Низкая  | Средняя     | Сред./высок. | Средняя | Средняя      | Высокая    | Низк./сред. |
| Оперативность внесения изменений | Низкая      | Средняя | Высокая     | Высокая      | Низкая  | Низкая       | Низкая     | Низкая      |
| Доступность контактных данных    | Средняя     | Низкая  | Высокая     | Высокая      | Высокая | Высокая      | Высокая    | Высокая     |

Чем больше потенциальных потребителей, тем больше охват, что необходимо для рекламы фитнес-клуба. Однако большой охват не означает высокую эффективность рекламы. Например, в рекламе по

телевидению, наружной рекламе и промоакциях потенциальная аудитория большая, но процент эффективной аудитории высокий только у промоакций. Низкий процент эффективной аудитории рекламы по телевидению и радио обусловлен высоким уровнем «рекламного шума», таким образом, потребитель не может сконцентрировать внимание на рекламе конкретного товара. По статистике, 80% телезрителей переключают канал, когда начинается рекламный блок.

По этой причине следует обратить внимание на каналы продвижения с низким и средним уровнем «рекламного шума», это пресса, промоакции, реклама в Интернете, рассылки SMS и e-mail-сообщений. Процент эффективной аудитории выше, так как внимание потребителя не рассеивается.

Важным параметром является возможность потребителя узнать дополнительную информацию о предоставляемых фитнес-клубом услугах. Такая возможность имеется при рекламе в Интернете, прессе и раздаче листовок. Очевидно, что среди этих рекламных носителей наибольший объем информации может быть доступен потребителю только в Интернете.

Запоминаемость рекламы высокая при проведении промо-акций, а низкая – при рекламе по радио и раздаче листовок. Для рекламы услуг фитнес-клуба это важный параметр, однако, обратить внимание стоит и на каналы продвижения со средним уровнем запоминаемости, и сконцентрироваться на периодичности размещения рекламы и ее вариативности.

Исходя из данных таблицы, можно сделать вывод о том, что наиболее оптимальным каналом продвижения является реклама в Интернете. Однако наиболее эффективной она станет в случае ее использования с другими видами рекламы. Для фитнес-клуба рекомендуется ежегодное проведение промо-акций в виде мастер-классов от тренеров фитнес-клуба летом (например, на Дне молодежи), использование наружной рекламы или рекламы в прессе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Назайкин А.Н. Как оценить эффективность рекламы. – М.: Солон-Пресс, 2014. – 304 с.

2. Дымина М.Н. Потребительская лояльность. Механизмы повторной покупки. – М.: Вершина, 2007. – 200 с.

## ОЦЕНКА РЫНОЧНОЙ ДОЛИ НА ПРИМЕРЕ ФИТНЕС-ПРОЕКТА

*П.С. Карпова, Н.А. Козлова, Е.Е. Кузьминова, студентки каф. ТУ*

*Научный руководитель В.А. Семиглазов, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, nellya.kozlova@mail.ru*

*Проект ГПО ТУ-1301 «Компьютерное моделирование бизнес-процессов»*

Одним из решающих факторов повышения конкурентоспособности предприятия является увеличение доли рынка сбыта продукции. Рыночная доля – это отношение объема продаж определенного товара данной организации к суммарному объему продаж данного товара, осуществленному всеми организациями, действующими на данном рынке.

Для нахождения рыночной доли фитнес-проекта «Трансформация» оздоровительного центра «Нежность» были рассчитаны инновационный, рыночный и коммерческий потенциалы для него и его основных конкурентов.

Через интернет-сервис «Google Формы» были созданы и проведены опросы среди 40 участников фитнес-проектов исследуемых фитнес-центров. В первом опросе респонденты должны были определить по шкале от 1 до 5 значимость основных характеристик фитнес-центра, а во втором опросе – составляющих фитнес-проекта. Сумма баллов каждой отдельной характеристики – вес, а отношение веса каждой отдельной характеристики к их сумме – приоритет.

Далее были проведены опросы по каждому фитнес-клубу и их фитнес-проекту в отдельности. Опросы были разосланы участникам четырех фитнес-проектов, которые могли бы оценить предоставленные им услуги. По итогам опросов были найдены средние оценки характеристик клубов и проектов и пронормированы.

Инновационный потенциал был рассчитан по формуле (1):

$$M_j = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times \mu_i \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $n$  – количество сравниваемых параметров;  $j = 1$ ,  $i$  – количество конкурирующих изделий;  $\alpha_i$  – приоритет;  $\mu_i$  – нормированное значение.

Результаты сведены в табл. 1, где  $A$  – ОЦ «Нежность» и представленный им проект «Трансформация»,  $B$  – «Атмосфера» с их проектом «Сделай тело с Атмосферой»,  $C$  – «Виктория» и фитнес-проект «Новая Я» и  $D$  – «Kenguru» с проектом «Pro Food & Fit».

Далее были оценены рыночные характеристики каждого фитнес-центра, экспертным путем введены индивидуальные относительные

приоритеты для рыночных коэффициентов и их нормированные значения (табл. 2).

Таблица 1

**Характеристики конкурирующих проектов**

| Наименование параметра        | $\mu_i$ |        |        |        | Вес | $\alpha_i$ |
|-------------------------------|---------|--------|--------|--------|-----|------------|
|                               | Вар. A  | Вар. B | Вар. C | Вар. D |     | Приоритет  |
| Состояние оборудования        | 0,96    | 0,94   | 1      | 0,97   | 194 | 0,069      |
| Интерьер залов и клиент. зоны | 0,99    | 0,97   | 1      | 0,99   | 167 | 0,059      |
| Работа персонала              | 0,88    | 1      | 1      | 0,94   | 186 | 0,066      |
| Санитария                     | 0,89    | 0,99   | 1      | 0,92   | 188 | 0,067      |
| Обратная связь                | 0,89    | 1      | 0,99   | 0,97   | 152 | 0,054      |
| Тренировки                    | 0,99    | 0,99   | 1      | 1      | 195 | 0,069      |
| Комплексы дом. тренировок     |         |        | 1      |        | 144 | 0,051      |
| Аквааэробика                  |         |        | 1      |        | 110 | 0,039      |
| Массаж                        | 1       |        |        |        | 142 | 0,050      |
| SPA-процедуры                 | 0,88    |        | 1      |        | 114 | 0,040      |
| Биоимпеданс                   | 1       |        | 1      |        | 167 | 0,059      |
| Тренинги по прав. питанию     | 0,99    | 1      |        | 0,98   | 178 | 0,063      |
| Встречи с психологом          | 0,85    | 1      |        |        | 135 | 0,048      |
| Мастер-класс по стилю         | 0,91    |        | 1      |        | 104 | 0,037      |
| Фотосессии до/после           | 1       | 1      | 0,99   | 0,94   | 140 | 0,050      |
| Индивид. план питания         |         |        | 0,99   | 1      | 185 | 0,066      |
| Призы и подарки               | 0,98    | 0,99   | 1      |        | 139 | 0,049      |
| Инновационный потенциал       | 0,8     | 0,64   | 0,83   | 0,59   |     |            |

Таблица 2

**Рыночные параметры конкурирующих фитнес-проектов**

| Параметр             | $\eta_i$ |        |        |        | $\xi_i$   |
|----------------------|----------|--------|--------|--------|-----------|
|                      | Вар. A   | Вар. B | Вар. C | Вар. D | Приоритет |
| Имидж фирмы          | 0,5      | 0,5    | 0,5    | 1      | 0,07      |
| Затраты на рекламу   | 1        | 0,87   | 0,9    | 0,9    | 0,19      |
| Каналы сбыта         | 1        | 1      | 1      | 0,5    | 0,16      |
| Ассортимент          | 0,667    | 1      | 0,8    | 0,8    | 0,14      |
| Жизненный цикл       | 0,75     | 1      | 0,9    | 1      | 0,09      |
| Конкуренция          | 0,75     | 0,75   | 0,8    | 1      | 0,09      |
| Маркетинговый коэф-т | 0,44     | 1      | 0,7    | 0,7    | 0,09      |
| Торговая политика    | 1        | 0,8    | 1      | 1      | 0,16      |
| Рыночный потенциал   | 0,87     | 0,88   | 0,88   | 0,88   |           |

Рыночный потенциал был рассчитан по формуле

$$П_{pj} = \sum_{j=1}^n \eta_{ij} \times \xi_{ij}, \quad (2)$$

где  $\xi_i$  – индивидуальные относительные приоритеты,  $\eta_i$  – нормированные значения рыночных параметров.

Используя полученные значения инновационного и рыночного потенциалов, были рассчитаны коммерческий потенциал и рыночная доля по формулам:

$$K_{\eta_j} = M_j \times \Pi_{p_j}, \quad (3)$$

$$R_j = K_{\eta_j} / \sum_{j=1}^l K_{\eta_j}. \quad (4)$$

Т а б л и ц а 3

**Показатели фитнес-проектов**

| Показатели             | Вар. <i>A</i> | Вар. <i>B</i> | Вар. <i>C</i> | Вар. <i>D</i> |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Коммерческий потенциал | 0,657         | 0,575         | 0,714         | 0,509         |
| Рыночная доля          | 0,268         | 0,234         | 0,291         | 0,207         |

Таким образом, рыночная доля фитнес-проекта «Трансформация» составляет 26,8%. Главным конкурентом является проект «Новая Я» от «Виктории», рыночная доля которой 29,1%. Для выработки рекомендаций по повышению рыночной доли необходим сравнительный анализ составляющих фитнес-проекта и основных характеристик фитнес-центра (табл. 3).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Карпова П.С., Козлова Н.А., Кузьмина Е.Е. Отчет по дисциплине ГПО, Проект: ТУ-1301 «Компьютерное моделирование бизнес-процессов», тема: «Комплекс управленческих решений по устойчивому функционированию и развитию предприятия. Анализ конкурентоспособности ОЦ «Нежность» и разработка рекомендаций с целью увеличения его рыночной доли». – Томск: ТУСУР, 2016. – 33 с.

2. Семиглазов В.А. Инновационный менеджмент: учеб.-метод. пособие по практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: ЦПП ТУСУРа, 2014. – 39 с.

#### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА ПАРАЛЛАКСА

**М.Г. Киндяшов, студент**

*Научный руководитель М.Ю. Катаев, проф.*

*Томск, ТУСУР, kindyashov@yandex.ru*

В различных практических приложениях необходимо наблюдать и изучать изображения, которые являются лишь проекциями реаль-

ных трехмерных объектов на плоскость изображения. Иногда очень важно иметь не плоское изображение реального мира, а некоторое его квазитрехмерное представление.

В работе предлагается использовать для целей отображения объемности изображения эффект параллакса. Параллакс – это видимое изменение относительных положений предметов вследствие перемещения глаза наблюдателя [1]. Достаточно давно существует технология разделения изображения на правое и левое для обоих глаз. При этом левый глаз видит изображение, смещенное вправо, а правый – смещенное влево (рис. 1, *а*). В прошлом и нашем веках широко используется технология создания иллюзии трехмерного изображения на базе этого разделения. В современных технологиях барьер, разделяющий изображения, состоит из мельчайших полос, закрывающих то или иное изображение для левого или правого глаза (рис. 1, *б*).

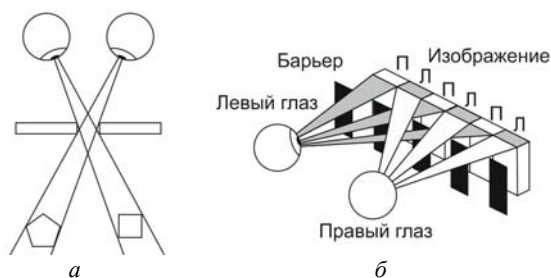


Рис. 1. Принцип работы параллакса – *а* и трехмерного экрана на основе этого эффекта – *б*

Есть множество разновидностей и сфер применения этой иллюзии. Их используют в создании переливающихся картинок, изменяющихся при изменении угла обзора и для изготовления экранов телевизоров и телефонов. Они разделяют изображения на два и более только при изменении одного угла. В этой работе используется разделение изображения на мониторе не только по горизонтали, но и по вертикали. Это позволяет рассмотреть объект с разных точек и при этом даже видеть его в движении. На данный момент разработан рабочий прототип, работающий по тем же принципам, как и на рис. 2, *а*. Есть картонная пластина с отверстиями таким образом, что с одной точки зрения возможно увидеть только один пиксель монитора. Наблюдатель, смотря на всю пластину, видит какое-то количество подсвеченных определенными пикселями отверстий, которые складываются в одну картинку. При этом сами точки малы и изображение воспринимается лучше при отдалении от монитора.

Существует возможность улучшить прототип путем использования множества линз. На рис. 2, б явно можно увидеть, что наблюдатель видит пиксели увеличенными до размеров линзы. Сами линзы возможно создавать из прозрачного пластика, их коэффициент преломления подходит для таких задач.

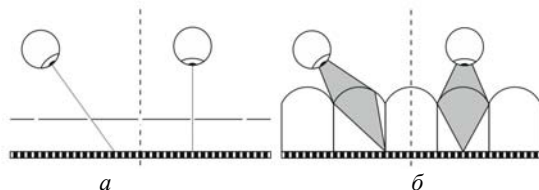


Рис. 2. Принцип работы голографического экрана

Для использования такой аппаратной реализации требуется соответствующее программное обеспечение. На данный момент для прототипа визуализирован ряд изображений. Эти изображения создавались в двух программах. Первая визуализировала трехмерный объект из 2304 точек, создавая соответственное количество изображений. Вторая программа составляла коллаж из полученных изображений. В настоящее время прототип программно-программного комплекса может отображать голографическое изображение размером 64 на 36 пикселей. Этот показатель не является конечным, его можно увеличитькратно, применяя общедоступные аппаратные технологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Советская энциклопедия*. – М., 1989. – Вып. 33. – 592 с.

#### ОТБОР СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ РАБОТЫ НА ПРЕДПРИЯТИИ ООО «СМК ЛАУКАР»

*Ю.В. Киселева, студентка каф. ТУ*

*Научный руководитель В.А. Семиглазов, доцент каф. ТУ, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, missis.julia0077@yandex.ru*

Инновационный менеджмент – это процесс управления инновациями для удовлетворения перспективных потребностей рынка, охватывающий проектную, технологическую, материальную, организационную и кадровую подготовку производства, внедрение нововведений, анализ полученных результатов и внесение корректив в эти виды деятельности. Выход России на международный рынок сопровождается усилением конкуренции, вследствие значение инновационного менеджмента многократно возрастает.

Одной из главных задач инновационного менеджмента является выработка стратегии инноваций, отбор лучшей из них. В данной работе объектом внедрения инновации будет служить строительное предприятие ООО «СМК Лаукар».

В условиях рыночной конкуренции актуальность отбора персонала стала одним из главнейших факторов, т.к. каждый специалист по-разному компетентен в определенной работе. Притом изначально правильный отбор персонала гарантирует эффективность и качество работы. Сегодня малые предприятия предпринимают серьезные усилия по отбору персонала, адаптации, повышению квалификации и его практической подготовке к принятию большей ответственности.

Для сравнения и отбора специалистов был использован количественный метод сравнения. Каждый специалист оценивается по степени удовлетворенности определенным параметрам, предъявляемым к ним. Все параметры оцениваются количественно. Так как размерность каждого параметра – характеристики различные, а значит, их сравнение невозможно, то вводится нормировка этих параметров. Затем каждому параметру присваивается весовой коэффициент. Таким образом, каждый специалист оценивается совокупностью безразмерных параметров, имеющих свои весовые коэффициенты.

Для того чтобы выбрать наиболее перспективных специалистов для определенной работы, необходимо сравнить их по различным требованиям, предъявляемым к ним. Например, квалификация, опыт работы, коммуникабельность, знание и исполнение техники.

Пусть происходит сравнение среди пяти специалистов по 5 параметрам (таблица).

**Параметры сравнения специалистов**

| Набор параметров                         | Специалист А | Специалист В   | Специалист С | Специалист D | Специалист E | Вес | Приоритет |
|------------------------------------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|-----|-----------|
| Квалификация                             | 5<br>(1,00)  | 3<br>(0,6)     | 2<br>(0,4)   | 3<br>(0,6)   | 4<br>(0,8)   | 10  | 0,24      |
| Опыт работы                              | 3<br>(0,6)   | 4<br>(0,8)     | 3<br>(0,6)   | 4<br>(0,8)   | 5<br>(1,00)  | 10  | 0,24      |
| Коммуникабельность                       | 4<br>(1,00)  | 3<br>(0,75)    | 2<br>(0,5)   | 2<br>(0,5)   | 3<br>(0,75)  | 6   | 0,16      |
| Знание и исполнение техники безопасности | 80%<br>(0,8) | 100%<br>(1,00) | 60%<br>(0,6) | 80%<br>(0,8) | 60%<br>(0,6) | 7   | 0,17      |
| Ответственность                          | 3<br>(0,75)  | 3<br>(0,75)    | 4<br>(1,00)  | 2<br>(0,5)   | 4<br>(1,00)  | 8   | 0,19      |



В седьмой колонке проставлены весовые значения ( $\beta_i$ ) характеристик в диапазоне от 1 до 10. Эти значения были определены экспертным путем.

В последней колонке таблицы проставлены значения приоритетов характеристик, которые рассчитываются по формуле

$$\alpha_i = \beta_i / \sum_1^5 \beta_i, \quad (1)$$

при этом  $\sum \alpha_i = 1,0$ .

Решение:

Необходимо просчитать интегральный показатель профессиональной пригодности специалиста по всем параметрам по формуле:

$$\sum \mu \alpha_i \times \alpha_i. \quad (2)$$

$$\mu_A = 1 \times 0,24 + 0,6 \times 0,24 + 1 \times 0,16 + 0,8 \times 0,17 + 0,75 \times 0,19 = 0,8225.$$

$$\mu_B = 0,6 \times 0,24 + 0,8 \times 0,24 + 0,75 \times 0,16 + 1 \times 0,17 + 0,75 \times 0,19 = 0,7685.$$

$$\mu_C = 0,4 \times 0,24 + 0,6 \times 0,24 + 0,5 \times 0,16 + 0,6 \times 0,17 + 1 \times 0,19 = 0,612.$$

$$\mu_D = 0,6 \times 0,24 + 0,8 \times 0,24 + 0,5 \times 0,16 + 0,8 \times 0,17 + 0,5 \times 0,19 = 0,647.$$

$$\mu_E = 0,8 \times 0,24 + 1 \times 0,24 + 0,75 \times 0,16 + 0,6 \times 0,17 + 1 \times 0,19 = 0,76.$$

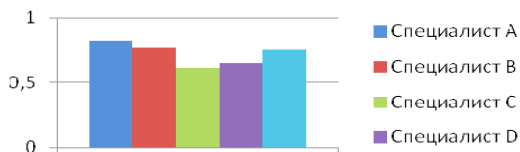


Рис. 1. Диаграмма относительного превосходства

На рис. 1 представлена диаграмма относительного превосходства специалиста *A* для работы по пяти сравниваемым параметрам.

Проведя анализ, можно сделать вывод, что лидером является специалист *A*, т.к.  $\mu = 0,8225$  наибольшее среди сравниваемых, а это означает, что он подходит для работы.

В результате работы была произведена помощь отделу кадров с целью выбора специалиста для работы на предприятии с учетом всех параметров. Выбранный специалист сможет сделать работу качественно, что важно для строительного предприятия, поможет обеспечить стабильную выручку на протяжении работы, повысить узнаваемость компании и обеспечить развитие фирмы в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Семглазов В.А. Инновационный менеджмент: учеб.-метод. пособие по практ. занятиям и самост. работе. – Томск: ЦПП ТУСУРа, 2014. – 39 с.
2. Абрамешин А.Е., Воронина Т.П., Молчанова О.П., Тихонова Е.А., Шленов Ю.В. Инновационный менеджмент: учебник для вузов. – М.: Вита-Пресс, 2001. – 272 с.

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЮЩИХ КАМЕР

*Д. Кисметулы, Е.Н. Теплов, магистранты каф. ТУ*

*Научный руководитель В.А. Шалимов, проф. каф. ТУ*

*Томск, ТУСУР, РТФ dman.07@mail.ru*

К современным телевизионным устройствам отображения информации постоянно повышаются требования по разрешающей способности, минимизации геометрических искажений, повышению контрастной чувствительности и расширению спектральных характеристик.

Современные телевизионные передающие камеры в качестве фотоприемника используют матрицы ПЗС, т.е. в них отсутствуют фокусирующие отклоняющие системы, создающие наибольшие геометрические искажения. В итоге основной удельный вес геометрических искажений определяется качеством объективов, характеристики которых как правило, отсутствуют в паспортных данных на изделия.

В телевидении традиционно количественная оценка геометрических искажений определяется с помощью коэффициента нелинейности

$$K_H = [(H_{\max} - H_{\min}) / H_{\text{ср}}] \cdot 100\%,$$

где  $H_{\max}$  – максимальная величина элемента тестового изображения на экране,  $H_{\min}$  – минимальная величина элемента тестового изображения,  $H_{\text{ср}}$  – средняя величина элемента тестового изображения [1]. Если  $H_{\max}$  равняется  $H_{\min}$  и равняется  $H_{\text{ср}}$ , то коэффициент геометрических искажений равен нулю. Для оценки величины коэффициента геометрических искажений используется структурная схема, приведенная на рис. 1.

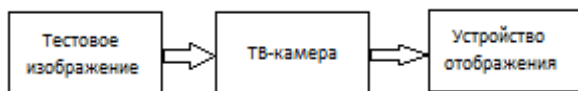


Рис. 1. Структурная схема устройства для измерения геометрических искажений

Количественная оценка может быть получена с помощью измерения протяженности фрагментов изображений, допустим, в миллиметрах. Это удобно только для больших фрагментов, потому что на малых фрагментах изображений погрешность оценки коэффициента искажений будет велика.

Современные телевизионные камеры работают в стандартах высокой четкости (HD) и даже 4K, что позволяет использовать свойства высокой разрешающей способности мониторов для повышения точ-

ности оценки коэффициента геометрических искажений, используя структурную схему, разработанную на основе [2], приведенную на рис. 2.



Рис. 2. Структурная схема устройства для оценки коэффициента геометрических искажений с повышенной точностью.

Генератор тестовых изображений – *а*; автоматическое устройство для формирования величины коэффициента геометрических искажений – *б*

Пример фрагментов изображений с увеличением разрешения приведен на рис. 3.

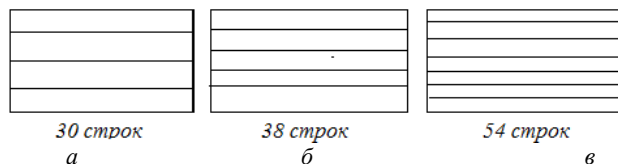


Рис. 3. Фрагменты изображений с 20 элементами (10 черных и 10 белых) при разрешении *а* – 800×600; *б* – 1366×768; *в* – 1920×1080 пикселей

С помощью персонального компьютера и мультимедийных программ [3] можно сформировать на экране монитора высокого разрешения тестовые изображения любых размеров форм и структур. Эти изображения будут выступать в качестве источника излучения для исследуемых телевизионных камер.

Выходной сигнал телевизионной камеры анализируется на персональном компьютере с помощью специальной программы и выводится на экран контрольного монитора высокого разрешения в количественном цифровом виде или в виде контрольного изображения. Количественная форма представления указывает на величину коэффициента геометрических искажений на выбранных участках формируемого изображения, что позволяет нам иметь в результате автоматизированную систему оценки коэффициентов геометрических ис-

кажений без проведения измерительных операций на экране контрольного монитора с повышенной точностью.

В итоге с помощью предложенной структуры и программного продукта получаем количественную оценку величины геометрических искажений с повышенной точностью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Кривошеев М.И.* Основы телевизионных измерений. – М.: Радио и связь, 1989. – 608 с.
2. *Патент 2427098* Рос. Федерация: МПК Н 04 N 7/00 (2011.01) / Ройтман М.С., Шалимов В.А.; № 2009149133/09; заявл. 28.12.09; опубл. 20.08.11, бюл. № 23.
3. *Альберт Д.И., Альберт Е.Э.* Macromedia Flash Professional 8. Справочник дизайнера. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 544 с.

#### CRM-СИСТЕМЫ: КРИТЕРИИ ВЫБОРА

*Н.А. Козлова, студентка каф. ТУ*

*Научный руководитель В.А. Семиглазов, к.т.н.  
Томск, ТУСУР, nellya.kozlova@mail.ru*

Сегодня основным условием успешности бизнеса является клиентоориентированный подход. Клиентоориентированность предполагает, что просто продать товар или услугу недостаточно – необходимо учитывать предпочтения, возможности клиента, а также формировать и поддерживать с ним взаимоотношения.

Появление CRM – это реакция бизнеса на усложняющиеся запросы клиентов. CRM-система (Customer Relationship Management или Управление отношениями с клиентами) – это прикладное программное обеспечение для организаций, предназначенное для автоматизации стратегий взаимодействия с клиентами, в частности, для повышения уровня продаж, улучшения обслуживания клиентов путем сохранения информации о клиентах и истории взаимоотношений с ними [1].

На сегодняшний день у 43% российских компаний нет единого реестра клиентов, 32% ведут учет клиентов в финансовой системе, 15% используют стандартные офисные приложения и 10% используют CRM-системы [2]. Следовательно, у большинства компаний нет структурированной клиентской базы, истории отношений с клиентом, не происходит полного обмена информацией между сотрудниками, нет механизма прогнозирования продаж и других преимуществ, которые обеспечивают использование CRM-систем.

Когда компания приходит к решению начать использование CRM, она может пойти тремя путями.

Во-первых, использование CRM общего назначения. Этот вариант подходит компаниям, чьи бизнес-процессы не имеют каких-либо особенностей, и необходима только автоматизация. Такие системы, как правило, недорогие или вовсе бесплатные.

Во-вторых, внедрение CRM, которая специализируется на конкретной отрасли. В данном случае бизнес-процессы подстраиваются под особенности CRM-системы и действуют в рамках её функциональности. Стоимость подобных систем невысокая и может варьироваться.

В-третьих, разработка собственной системы. Этот подход подойдет тем компаниям, которые имеют сложную бизнес-логику процессов, которые не укладываются в обычные CRM. Разработка будет стоить дороже, чем внедрение готовой, поэтому компания должна определиться с приоритетами [3].

Сейчас российский рынок CRM-систем предлагает большое количество проектов, поэтому каждая компания может подобрать оптимальный вариант для своей деятельности. Для сравнения и выбора CRM можно выделить несколько основных критериев:

1. Удобство интерфейса. От простоты и понятности интерфейса зависит срок обучения персонала, количество ошибок, совершаемых во время её использования, а также время, затраченное на её внедрение.

2. Функциональность интерфейса. Система должна включать бизнес-функционал, необходимый конкретному предприятию: взаимодействие с клиентом, отслеживание оплат, работа с заказами, оформление сделок и т.д.

3. Отчетность. При использовании CRM появляется возможность визуализировать текущие бизнес-процессы – отслеживать воронку продаж, статистику работников, клиентов и др. Исходя из этого, система должна уметь составлять различные отчеты.

4. Интеграция с другими системами. Для эффективной работы необходима интеграция данных с другими системами (сайт, 1С, e-mail рассылка, телефония и др.), также должна быть возможность экспорта данных. Отдельным преимуществом является облачное решение и наличие приложения для работы в системе с телефона.

5. Тарифная сетка. При выборе CRM необходимо учитывать основные возможности системы, применяемые для конкретного предприятия, минимальный задействованный объем данных, а также денежные ресурсы, которые организация может потратить на приобретение CRM-системы одновременно или в определенный период времени (месяц, квартал, год).

За последние годы информационные технологии в России стали важной частью бизнеса. Компании, использующие конкурентоориен-

тированный подход вместе со средствами автоматизации бизнес-процессов, становятся успешными и конкурентоспособными.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Черкашин П.А. Готовы ли Вы к войне за клиента? Стратегия управления взаимоотношениями с клиентами (CRM). – М.: Интуит, 2010. – 381 с.
2. Алехно В.В. Тенденции развития концепции системы управления взаимоотношений с клиентами (CRM-системы) в России // Nauka-rastudent.ru. – 2016. – № 04 (028) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://nauka-rastudent.ru/28/3356/> (дата обращения: 11.02.2017).
3. Раянов Р. Как создать собственную CRM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://web-automation.ru/book/how-create-crm/> (дата обращения: 15.02.2017).

### АНАЛИЗ ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ СФЕРЫ ИНФОРМАЦИОННОГО СЕРВИСА

*Е.Е. Кузьмина, студентка каф. ТУ*

*Научный руководитель В.А. Семиглазов, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, [vadim.tusur@mail.ru](mailto:vadim.tusur@mail.ru)*

Финансовая устойчивость предприятия обусловлена как состоянием и стабильностью экономической среды, в которой оно функционирует, так и результатом его деятельности, способностью быстро и эффективно реагировать на изменения внешних и внутренних факторов.

Начальным условием обеспечения финансовой устойчивости предприятия является достаточность объема продаж. Если выручка от реализации продукции или услуг не позволяет покрыть затраты и обеспечить получение нормальной для функционирования прибыли, то финансовое состояние организации нельзя признать устойчивым.

В данной работе был произведен анализ финансовой устойчивости предприятия на примере ОАО «ТНТ-Телесеть».

Для анализа финансовой устойчивости традиционно применяется целый ряд коэффициентов. Они в определенной степени показывают уровень финансовой устойчивости. Их расчет производится по показателям планового или фактического баланса активов и пассивов. Уровень коэффициентов может служить отправной точкой для оценки финансовой устойчивости.

Показатели финансовой устойчивости характеризуют состояние и структуру активов, уровень привлечения заемного капитала и способности организации обслуживать этот долг. Для анализа финансовой устойчивости предприятия ОАО «ТНТ-Телесеть» было взято 5 основных коэффициентов:

1. Коэффициент автономии:

$$K_A = CK/A,$$

где CK – собственный капитал, A – активы предприятия.

Данный коэффициент показывает, какая часть активов предприятия была сформирована за счет собственного капитала, и характеризует независимость предприятия от заемных средств. Нормативным общепринятым значением показателя считается значение коэффициента автономии  $\geq 0,5$ .

2. Коэффициент соотношения собственного капитала и заемного капитала:

$$K_{CK/ZK} = CK/ZK,$$

где ZK – заемный капитал.

Этот коэффициент дает наиболее общую оценку финансовой устойчивости. Показывает, сколько единиц собственных средств приходится на каждую единицу заемных средств. Уменьшение показателя свидетельствует об усилении зависимости предприятия от внешних инвесторов и кредиторов. Рекомендуемое значение коэффициента  $\geq 1$ .

3. Коэффициент устойчивого финансирования:

$$K_{y\Phi} = (CK + ДО)/A,$$

где ДО – долгосрочные обязательства предприятия.

Этот коэффициент дает наиболее общую оценку финансовой устойчивости. Показывает, сколько единиц собственных средств приходится на каждую единицу заемных средств. Изменение значения показателя анализируют в динамике. Уменьшение показателя свидетельствует об усилении зависимости предприятия от внешних инвесторов и кредиторов. Рекомендуемое значение коэффициента  $\geq 1$ . Если данное значение ниже, это сигнализирует о том, что финансовая устойчивость предприятия вызывает сомнение.

4. Коэффициент маневренности собственного капитала:

$$K_M = (CK - BOA)/A,$$

где BOA – внеоборотные активы предприятия.

Данный коэффициент показывает, какая часть собственного оборотного капитала находится в обороте. Коэффициент маневренности должен быть достаточно высоким, чтобы обеспечить гибкость в использовании собственных средств.

5. Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами:

$$K_{ococ} = (CK - BOA)/OA,$$

где OA – оборотные активы предприятия.

Коэффициент показывает достаточность у предприятия собственных средств, необходимых для финансирования текущей деятель-

ности, т.е. какая часть оборотных активов сформирована за счет собственного капитала. Нормальное значение показателя должно составлять  $\geq 0,1$ .

Анализ коэффициентов финансовой устойчивости предприятия ОАО «ТНТ-Телесеть» представлен в таблице.

#### **Сравнительный анализ коэффициентов финансовой устойчивости**

| Коэффициенты | На конец 2012 г. | На конец 2013 г. | На конец 2014 г. | Рекомендуемое значение |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------------|
| $K_A$        | 0,7              | 0,7              | 0,7              | $\geq 0,5$             |
| $K_{СК/ЗК}$  | 3,5              | 3,4              | 4,2              | $\geq 1$               |
| $K_{УФ}$     | 0,7              | 0,7              | 0,7              | –                      |
| $K_M$        | 0,5              | 0,5              | 0,7              | $\geq 0,5$             |
| $K_{КОСОС}$  | 0,6              | 0,5              | 0,7              | $\geq 1$               |

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что коэффициенты либо превышают свои нормальные рекомендуемые значения, либо остаются неизменными в течение всего исследуемого периода. Это свидетельствует о хорошем финансовом положении предприятия.

Данные, полученные после расчета коэффициентов финансовой устойчивости, свидетельствуют о том, что привлечение дополнительных заемных средств было бы нецелесообразным решением для данного предприятия. Общество свободно и правильно использует собственные средства в текущей деятельности, что положительно сказывается на росте собственного капитала.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Донцова Л.В., Никифорова Н.А. Анализ финансовой отчетности: учеб. пособие. – М.: Дело и сервис, 2004. – 336 с.
2. Савицкая Г.В. Экономический анализ: учеб. – 11-е изд., испр. и доп. – М.: Новое знание, 2005. – 651 с.
3. Анализ финансового состояния предприятия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://afdanalyse.ru/publ/finansovyj\\_analiz/fin\\_koefitcianti/absolutnye\\_pokazateli\\_finansovoj\\_ustojchivosti/3-1-0-94](http://afdanalyse.ru/publ/finansovyj_analiz/fin_koefitcianti/absolutnye_pokazateli_finansovoj_ustojchivosti/3-1-0-94)
4. Анализ финансового состояния предприятия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://afdanalyse.ru/publ/finansovyj\\_analiz/fin\\_koefitcianti/analiz\\_finansovoj\\_ustojchivosti/3-1-0-22#kmsos](http://afdanalyse.ru/publ/finansovyj_analiz/fin_koefitcianti/analiz_finansovoj_ustojchivosti/3-1-0-22#kmsos)



## МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

*С.К. Мозгунова, студентка каф. ТУ*

*Научный руководитель В.А. Семиглазов, доцент каф. ТУ, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, mozgunovasoft@gmail.com*

Решения, связанные с управлением запасами и цепями поставок, имеют большое значение для любого предприятия, поскольку могут влиять на эффективность деятельности и повышение конкурентоспособности предприятий. В частности за счет снижения издержек, связанных с поставкой товаров на предприятие, такие издержки называются логистическими.

Логистические затраты можно снизить за счет устранения непроизводительных операций, например: в области грузопереработки; оптимальной дислокации складских объектов; устранения видов деятельности и посредников, которые не добавляют ценности для потребителей и других участников цепей поставок; использования рычага консолидации больших объемов закупок для минимизации транспортных затрат; оптимизации использования транспортных средств по грузоместимости и пробегу для минимизации затрат на доставку и других решений [1].

На доходы от продаж логистика может влиять за счет минимизации случаев дефицита товаров; доведения информации о запасах и времени, в течение которого потребители могут получить продукт, в масштабах всего бизнеса; минимизации циклов выполнения заказа, а также за счет разработки стратегии обслуживания потребителей, в которой значительная роль отводится логистике.

Инвестиционные показатели в отношении хранящихся запасов могут быть улучшены за счет сокращения общего времени выполнения заказов во всей системе, повышения точности прогнозов, устранения случаев устаревания и избыточности запасов, повышения надежности цепей поставок [2].

Задача управления запасами на предприятии заключается в оптимизации срока поставок некоторых комплектующих, необходимых для реализации какого-либо проекта.

Для решения данной задачи используется циклическая система повторного заказа. Основная циклическая модель повторного заказа предназначена для принятия решений по следующим двум вопросам:

1. Каковы границы фиксированного интервала, в котором следует осуществлять подачу заказа?
2. Какое количество продукции необходимо заказывать?

Интервалы между циклами заказа отдельной продукции сильно разнятся, что ведет к увеличению издержек. Это отнимает большое

количество времени у сотрудников отдела снабжения. Так как интервалы между циклами для разных позиций чаще всего достаточно велики, необходимо разделить позиции комплектующих на несколько подгрупп, группировку необходимо производить по интервалам между циклами, с целью оптимизации срока и объема поставок. Далее расчеты проводим в MS Excel с помощью такого инструмента, как «Поиск решения». «Поиск решения» – это поиск оптимального значения в ячейке путем изменений в ячейках, используемых при вычислении значения в этой ячейке.

Для расчета нам необходимо задать целевую функцию, ограничения и изменяемые значения. Ограничениями будут являться вместимость склада минус минимальный остаток по каждой позиции. Изменяемыми значениями являются размеры заказов [3].

После проведения оптимизации суммарное количество издержек может немного как увеличиться, так и уменьшиться. Но даже несмотря на увеличение издержек, мы видим, что данная модель позволяет автоматизировать работу в отделе снабжения и может сократить количество сотрудников в данном отделе до одного человека, что приведет к уменьшению издержек в оплате труда. Таким образом, применение данной модели значительно экономит ресурсы предприятия и автоматизирует работу. Далее принятие решения за руководителем, стоит ли вводить данную модель управления запасами.

Данный метод был применен на АО «ТЭТЗ» при оптимизации срока поставок для 17 комплектующих с целью реализации нового проекта. С помощью основной модели управления запасами был рассчитан интервал для каждой позиции, а затем сгруппирован на три подгруппы по интервалам между циклами. Далее была проведена оптимизация методом циклической системы повторного заказа. В данном случае суммарные издержки были увеличены, но применение данной модели позволило сократить количество сотрудников для данного проекта и автоматизировать работу. Соответственно ресурсы предприятия были сэкономлены.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лукинский В.С. Логистика и управление цепями поставок: учебник и практикум для академического бакалавриата. – Сер.: Бакалавр. Академический курс / В.С. Лукинский, В.В. Лукинский, Н.Г. Плетнева. – М.: Изд-во Юрайт, 2016. – 359 с.
2. Просветов Г.И. Математические методы в логистике: задачи и решения: учеб.-практ. пособие. – 3-е изд., доп. – М.: Альфа-Пресс, 2014. – 304 с.
3. Семиглазов А.М., Семиглазов В.А. Сборник задач по дисциплине «Компьютерное моделирование управленческих решений»: учеб. пособие. – Томск: ТУСУР, 2012. – 53 с.

## **ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ ДЛЯ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА СЕТИ VSAT ЦИФРОВЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАТЧИКОВ**

***А.В. Нестеров, магистрант каф. ТУ***

*Томск, ТУСУР, [joker12717@gmail.ru](mailto:joker12717@gmail.ru)*

Мониторинг цифровых телевизионных передатчиков является неотъемлемой частью работы оператора областного радиотелевизионного центра. Если учесть количество передатчиков в Томской области и их удаленность, то необходима сеть, и она не может быть проводной. Мониторинг сети передатчиков обеспечивает мгновенную осведомленность оператора об авариях и своевременную возможность устранения поломок. Разработчики цифровых передатчиков главным параметром определили выходную мощность. В случае любого критического отклонения от нормы одного из параметров этого ведет к неминуемому отключению усилителей передатчика и потере выходной мощности. Главный параметр должен держать на контроле оператор областного центра.

Человек не робот, следить за сотнями параметров разных устройств и оценить, не выходят ли эти значения за допустимые границы, не сможет. Если учесть количество передатчиков, распределенных по всей области, то контролировать все населенные пункты невозможно. Для оперативного контроля и сбора данных понадобится мощный сервер, но организация его займет много времени и средств. Осуществление контроля цифровых передатчиков осуществляется по основному параметру, приведенному ранее, и по дополнительным, выявляющим косвенные поломки, которые могут предупредить о возможных неисправностях.

VSAT – технология построения сетей спутниковой связи. Сеть VSAT имеет топологию «звезда» с центральной станцией, которая располагается в крупном городе и высокоскоростными каналами связи соединяется с глобальными сетями – Интернет и телефонной сетью общего пользования. На центральной станции устанавливаются антенна большого размера (обычно от 4,5 до 9 м), мощный передатчик (до 400 Вт) и интеллектуальная система управления сетью. Благодаря этому на периферии сети можно использовать абонентские станции с малыми антеннами (от 1,2 м), пример антенны показан на рис. 1, слабыми передатчиками (от 1,0 Вт), пример конвертора показан на рис. 2, и относительно простыми абонентскими терминалами. Аббревиатура «VSAT» означает именно абонентскую станцию, с антенной малого размера (VerySmallApertureTerminal). Со стороны клиентского обору-

дования абонентский терминал имеет интерфейс компьютерной локальной сети Ethernet, через который передаются данные по интернет-протоколу – IP. Это самые распространенные в мире интерфейс и протокол, приспособленные для передачи любого вида трафика: данных, звука, видео.



Рис. 1. Антенна



Рис. 2. Конвертор

Для организации сети цифровых телевизионных передатчиков и их параметров, фирма TRIADA-TV предоставила сервер на основе Zabbix. Универсальный сервер мониторинга, предназначенный для оперативного сбора информации с блоков системы дистанционного контроля (СДК). Данные блоки установлены в каждом населенном пункте и собирают показания со всех устройств передатчика в общий трап и хранят эти данные до запроса оператора. Срок сбора данных можно настроить по желанию оператора и вместимости трафика спутниковой сети.

Комплекс Zabbix состоит из сервера мониторинга, который выполняет периодическое получение данных, обработку, анализ и запуск скриншотов оповещения, базы данных (MySQL, PostgreSQL, SQLite или Oracle), веб-интерфейса на PHP, агента, который запускается на отслеживаемых объектах и предоставляет данные серверу. Агент опционален, мониторинг можно производить не только с помощью него, но и по SNMP (версий 1, 2, 3), запуском внешних скриптов, выдающих данные, и несколькими видами predetermined встроенных проверок, таких как ping, запрос по http, ssh, ftp, и другим протоколам, а также замер времени ответа этих сервисов.

Разработанный программный продукт, устраняет недостаток предложенным решением по мониторингу сети цифровых передатчиков, работа на операционной системе Linux (Ubuntu 13.1), полностью перешёл на операционную систему Windows. Программный продукт устанавливается на рабочий персональный компьютер оператора, не требуя отдельного сервера. Приобрел более удобный и понятный ин-

терфейс. Присутствует возможность смены звукового сигнала для оповещения об авариях оператора. В перспективе появилась возможность формирования графиков мощностей, температуры и КСВ. Так же, как и аналоге, ведется журнал изменений и отклонений от нормы.

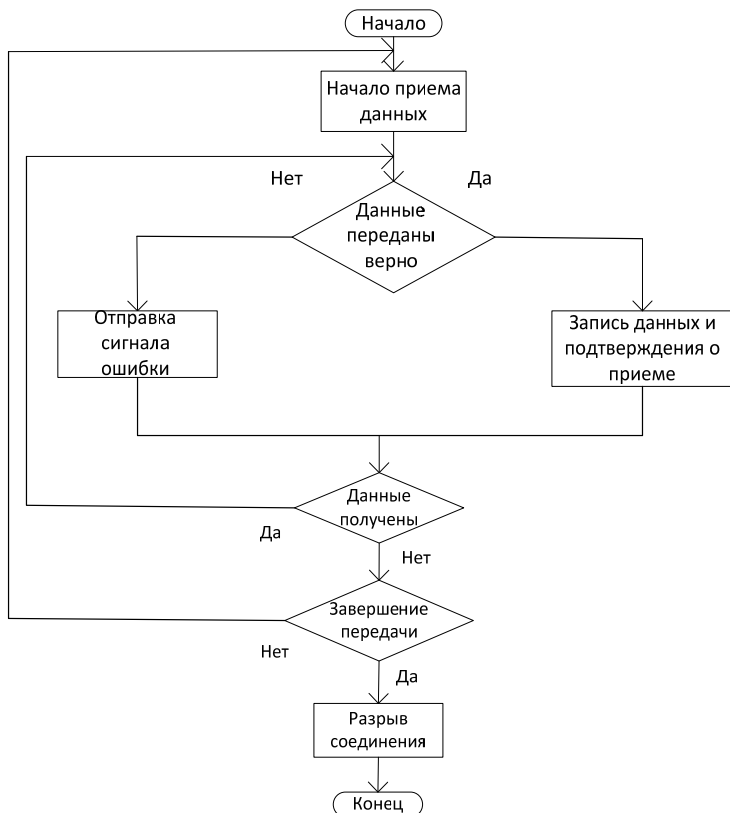


Рис. 3. Блок-схема программного продукта

В результате оптимизации функций программного продукта заметно снижается потребление трафика VSAT спутниковой сети. В официальном аналоге при использовании всех населенных пунктов поглощался весь трафик, и открытие Web-интерфейса блоков СДК было практически невозможно. Упрощенная блок-схема программного продукта приведена на рис. 3. Интерфейс программного продукта контроля сети VSAT станций цифровых телевизионных передатчиков представлен на рис. 4.

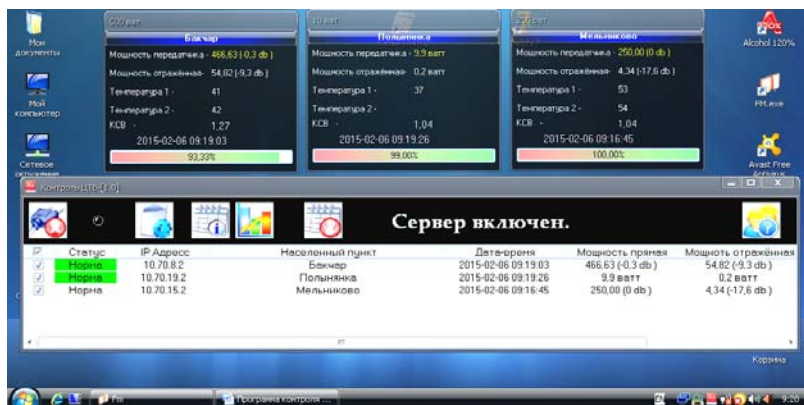


Рис. 4. Интерфейс программного продукта

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Обращение SNMP и сервера Zabbix* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.zabbix.com/documentation/2.0/ru/manual/config/items/itemtypes/snmptrap> (дата обращения: 10.06.2015).

2. *Обзор zabbix* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.zabbix.com/documentation/1.8/ru/manual/about/overview\\_of\\_zabbix](https://www.zabbix.com/documentation/1.8/ru/manual/about/overview_of_zabbix) (дата обращения: 10.06.2015).

3. *Спутниковая связь VSAT* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://vsatinfo.ru/index.php?option=com\\_sobi2&catid=39](http://vsatinfo.ru/index.php?option=com_sobi2&catid=39) (дата обращения: 10.06.2015).

## ПРОРАБОТКА СИСТЕМЫ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОДВИЖЕНИЯ ПРОДУКТОВ НА РЫНКИ РАЗНОГО УРОВНЯ. ОПТИМАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ПРОДВИЖЕНИЯ ТОВАРА В РАМКАХ КОНКРЕТНОЙ СИСТЕМЫ

**К.И. Никитина, Р.А. Петрушин, студенты каф. ТУ**  
**Научный руководитель А.Э. Лебедева, ст. преп. каф. ТУ**  
**Томск, ТУСУР, ksyshshshka@gmail.com**  
*Проект ГПО ТУ-1401 «Инновационные методы организации сервисной деятельности»*

В последние два десятилетия можно наблюдать резкий скачок в области малого и среднего бизнеса. Череду организаций сменяет одна другую, и лишь немногие из них действительно вырастают во что-то большее. Так в чем секрет успеха компании? Как выбрать правильную

траекторию развития и использовать конкретные инструменты продвижения по назначению?

В данном исследовании были разработаны схема, показывающая систему рынка и движения товара в ней, а также широко и узконаправленные инструменты, которые способны выполнять поддерживающую и функцию некоего «акселератора». Цель данной системы – не создать новые пути или решения по развитию торговли, а именно создать понимание этих процессов и визуализировать эту сторону рыночной деятельности. Благодаря пониманию и реальному представлению этих процессов, поиск путей решения проблем и развития упрощается.

Цель работы – структурировать и систематизировать информацию об инструментах продвижения и их использовании, а также наглядно показать, на примере схемы, как каждый из них воздействует на движение товара в системе разных уровней рынка.

Исследование построено по принципу «куда-что-как-кому». Для достижения поставленной цели необходимо ответить на эти вопросы и соответственно выполнить следующие задачи:

- 1) проанализировать то «пространство», в котором может оказаться продукт, его уровни и особенности;
- 2) выяснить, как и кому этот продукт стоит продвигать;
- 3) выявить основные характеристики товара, который способен пройти через все уровни разработанной системы;
- 4) подробно рассмотреть инструменты, с помощью которых этот товар может «передвигаться» по разработанной схеме.

Первым делом было изучено и разобрано понятие рынка. Проведено четкое разделение понятий «внутренний рынок» и «внешний рынок». Также введено понятие «работающий товар», отражающее в себе все черты и характеристики, необходимые товару для успешного продвижения по вышеперечисленным рынкам. Далеко не каждый продукт, появляющейся на рынке, подходит под критерии которые задают экономика и сами рынки в частности.

На основе изученных данных была разработана система уровней рынка, отражающая отношение организации с рынком и его уровнями. Благодаря этой системе можно увидеть и оценить продвижение того или иного товара на рынке, определить его сильные и слабые стороны, целевую аудиторию и т.д.

Система делит рынок на уровни различного масштаба, что позволяет актуально и объективно оценивать положение организации в рамках того или иного уровня. Также подобная сегментация дает возможность отследить, какие виды продвижения товара лучше работают в конкретном регионе или области.

В работе уделено много времени и объема на исследование инструментов продвижения товара. Их можно поделить на две большие группы:

- 1) инструменты, способствующие движению товара внутри уровня предложенной системы;
- 2) инструменты, способствующие движению товара на следующий уровень предложенной системы.

Первая группа инструментов продвижения нацелена на распространение товара внутри кого-либо рынка, будь то город, область или даже государство. Но они не дают товару возможность расширить свой диапазон продаж. К таким инструментам относятся реклама и все виды прямого маркетинга.

Вторая группа инструментов продвижения нацелена именно на расширение территории продаж, переход к более крупному рынку. К таким инструментам можно отнести участие в конкурсах и выставках товаров, B2B- и B2C-встречи, работа с ВЭД и еще ряд других.

Разработав и визуализировав схему движения товара по разным уровням рынков, удалось выполнить ряд задач. Были проанализированы основные уровни рынка и определены их особенности, после чего была сформирована и подробно описана схема, отражающая основные процессы внутри данной маркетинговой модели. Также были определены основные характеристики товара, который способен успешно пройти по всем уровням данной системы. Согласно схеме были подробно разобраны инструменты, с помощью которых можно регулировать положение товара в системе, т.е. поддерживать его положение внутри уровня либо этот уровень повышать.

Данное исследование является основой для продолжения и достижения следующей цели: создание универсальной информационной модели данной системы на базе платформы UML, тем самым создав гибкий, расширяемый, а главное удобный в использовании конечный продукт.

Продукт будет включать в себя информационную модель; приложенную документацию.

Получившуюся модель можно будет использовать не просто как пособие с общими сведениями, а настраивать конкретно под каждую организацию, внося её показатели и статистику. Таким образом, мы получим актуальную, соответствующую действительности модель положения компании на рынке в одной программе вместо большого количества бумаг или файлов.

Благодаря этому появляется возможность аналитической обработки данных о потенциале и текущем положении продукта на рынке,



что позволит в конкретный промежуток времени анализировать маркетинговые процессы продвижения продукта организацией. А главное – все это визуализировано и схематично.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Библиофонд*. Электронная библиотека студента [Электронный ресурс]. – URL: <http://bibliofond.ru/>
2. *Плотницкий М.И., Лобкович Э.И., Муталимов М.Г.* Курс экономической теории: учеб. – 2003.
3. *Томская* торгово-промышленная палата [Электронный ресурс]. – URL: <http://tomsktpp.ru/>
4. *Федеральная служба государственной статистики по Томской области* [Электронный ресурс]. – URL: <http://tmsk.gks.ru/>

#### ТЕХНОЛОГИЯ НЛП В «ИНФОРМАЦИОННОМ СЕРВИСЕ»

*К.С. Полунина, студентка каф. ТУ*

*Научный руководитель А.Э. Лебедева, ст. преп.*

*Томск, ТУСУР, 43ket@mail.ru, lae@tu.tusur.ru*

*Проект ТУ-1401 «Создание сайта услуг»*

Каждый день, совершая покупки или продажи, происходит оказание услуг потребителю. На сегодняшний день примерно 80 процентов российской экономики вращается вокруг сервиса [1]. Информационный сервис – это направление подготовки, которое позволит грамотно действовать в рыночных условиях и получать максимальную выгоду при развитии собственного бизнеса, а также для привлечения грамотных сотрудников в любую развивающуюся компанию.

Специалисту в области сервиса, чтобы лучше понимать человека, выступающего в роли клиента, нужно не только обладать знаниями общей психологии, но и уметь применять психологические принципы обслуживания клиентов на практике. Также необходимо уделять внимание изучению отдельной личности клиента и персонала различных предприятий, на взаимодействие людей в процессе обслуживания и отношение между членами – сотрудниками трудового коллектива любых предприятий [1].

В учебном процессе отдельная роль отведена психологии, однако в большинстве случаев курс носит лишь ознакомительный характер, что снижает компетентностную эффективность специалиста. Вместе с тем знание таких направлений, как нейролингвистическое программирование, психодиагностика, социальная психология, бихевиористика и т.д., может помочь в самореализации выпускников как профессионалов.

В рамках данной статьи мы рассмотрим нейролингвистическое программирование как важное направление подготовки для выпускников специальности «информационный сервис».

Нейролингвистическое программирование (НЛП) – управление людьми или техники манипулирования, которые применяются для изменения отношений и убеждения людей, взглядов на различные события с целью изменения привычных реакций поведения человека. Данная психология – совокупность шаблонов, моделей, технологий, навыков, которые помогают человеку эффективно думать, действовать, достигать определенных целей. Практически все техники НЛП направлены на улучшение процессов коммуникативного взаимодействия (способ выявления и сотворения стратегии успешности). Метод применяется в абсолютно разных областях, начиная от психотерапии и заканчивая торговлей [2]. НЛП необходимо применять с другими знаниями изучаемых (практикующих) направлений. Важно помнить, что НЛП является необходимым инструментом для достижения цели. Данный метод не ограничивает клиента, он помогает разобраться в том, чего он хочет, и найти альтернативный вариант развития событий, иными словами, выбор клиенту предоставляется всегда.

НЛП необходимо изучать студентам специальности «сервис», потому что основная деятельность выпускников вращается в сфере предоставления и оказания услуг. НЛП поможет быстро наладить отношения с заказчиком, выполнить услуги так, чтобы благодарный клиент привел с собой в следующий раз не одного, а нескольких других клиентов. Данный метод поможет изучить различные поведенческие реакции клиентов и получать от этого не только выгоду, но и, возможно, изменить его жизнь к лучшему. Так как основная деятельность выпускников направлена на прямое взаимодействие с потребителем, то НЛП здесь находит центральное место потому, что его основа – личный контакт, глубокое проникновение не только в сознание, но и в окружающий мир человека.

Нейролингвистическое программирование для специалистов – выпускников или студентов специальности «информационный сервис» – это ключ к успеху, потому что именно оно укажет, как настроить клиентов на хорошие отношения и длительные взаимодействия. Также НЛП поможет понимать не только потребности клиентов, но и запомнить необходимые жесты, реплики в различных ситуациях, модели поведения клиентов и продавцов каких-либо товаров, услуг. Мир меняется с огромной скоростью, каждый день рождаются новые способы влияния на человека. Грамотный специалист данной специальности должен быть в курсе развивающихся и популярных техник

убеждения и управления людьми. НЛП поможет добиться успеха в продажах, наработать большую и постоянно развивающуюся клиентскую базу, быть тонким психологом, умеющим быстро реагировать в любой ситуации и составлять психологический портрет человека, а также проводить экспресс-диагностики, подбирать к клиенту индивидуальный подход, быть для него не только наставником, но и другом [3].

НЛП приносит пользу только на практике, предоставляя различные варианты (модели) поведения. Все эти методы применять непросто. Для их правильного применения необходимо углубленно изучать не одну методику и направление воздействия на человека. На рынке услуг большей популярностью будет пользоваться тот, кто знает психологию покупателей и сможет проявлять гибкость в поведении. Поэтому данный метод необходимо изучать не только студентам, обучающимся по специальности «информационный сервис», но и людям, которые обучаются на таких направлениях, как «управление персоналом», «управление проектами», «инновационный менеджмент».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тошбоев Б.Б., Янгибоев Б.Ф. Роль и значение консалтинга в экономике // Молодой ученый. – 2016. – №11. – С. 1024–1027.
2. Психология, этика и эстетика сервиса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://abc.vvsu.ru/books/servis\\_dejatelnost/page0006.asp](http://abc.vvsu.ru/books/servis_dejatelnost/page0006.asp) (дата обращения: 24.02.17).
3. НЛП в продажах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://psymod.ru/psikhologiya-obshcheniya/nlp/375-nlp-v-prodazhah-primeru.html> (дата обращения: 24.02.17).

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕРХСКОРОСТНОЙ ВИДЕОКАМЕРЫ «ВИДЕОСПРИНТ»

*Н.Я. Бикбердина, Е.О. Прокопенко, С.В. Колчин, студенты*

*Научный руководитель П.Ю. Гуляев, проф. каф. ФОТД, д.т.н.*

*Ханты-Мансийск, ЮГУ, [m\\_boronenko@ugrasu.ru](mailto:m_boronenko@ugrasu.ru)*

В последнее время для многих отраслей науки и техники, имеющих отношение к получению и обработке информации, в значительной степени актуальным является использование систем, информация в которых представлена в виде изображений. Часть задач, стоящих перед исследователями, – регистрацию и визуализацию быстротекающих процессов, позволяет решать скоростная видеосъемка [1].

Скоростная видеосъемка берет свое начало от скоростной киносъемки и специализируется в областях, которые можно условно разбить на три группы:

- съемка с частотой до 500 кадров/с (исследования объектов животного мира, большинство машин и механизмов, баллистические исследования);
- съемка с частотой до 40000 кадров/с (физика, химия горения и взрыва, космическая и авиационная техника, бионика и т.д.);
- съемка с частотой до нескольких миллионов кадров с секунду (исследования излучения лазеров, быстрого горения и взрыва, диагностики плазмы и пр.).

### **Приборы и техника эксперимента**

Камера скоростной съемки «ВидеоСпринт» для регистрации быстропротекающих процессов с частотой от 500 до 50000 кадров/с приведена на рис. 1.

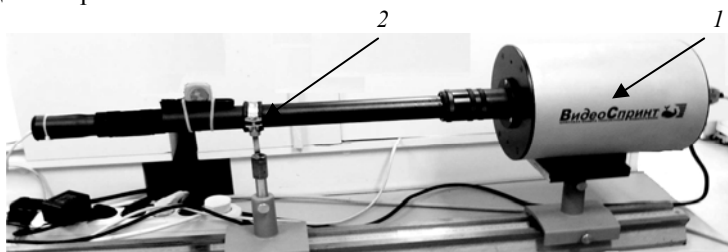


Рис. 1. Экспериментальный стенд: 1 – камера «ВидеоСпринт»; 2 – светонепроницаемая труба, внутри которой помещён АЛ307

Для изучения фотометрических характеристик видеокамеры использовался светодиод АЛ307. Измерения отклика системы объективов – ПЗС проводились при постоянном световом потоке. Съёмка видеофрагментов велась из программы WinVsFastShell, предоставленной разработчиками. Полученные видеоданные сохранялись в avi-контейнере и представляли собой последовательность несжатых BMP-кадров. Обработка полученных avi файлов осуществлялась в программе ImageJ, позволяющей проводить обработку непосредственно видеофайлов avi, без выделения единичных кадров. По рис. 2 можно проследить зависимость яркости изображения при одинаковых временах накопления для разных периодов, последовательность этих же кадров, где изображение заменено его яркостной картиной в градациях серого.

Экспериментально получена зависимость отношения усреднённого серого внутри выделения к величине темнового сигнала от времени накопления (мкс) для разной частоты съёмки высокоскоростной видеокамеры «ВидеоСпринт» с наносекундным затвором (рис. 3). При работе в режиме накопления заряда [2, 3] падение напряжения на ячейке КМОП характеризует общую поглощенную энергию.

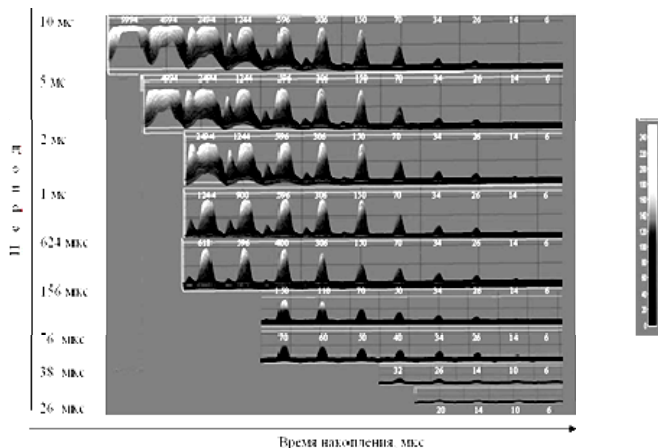


Рис. 2. Яркость изображения при одинаковых временах накопления для разных периодов в 3D

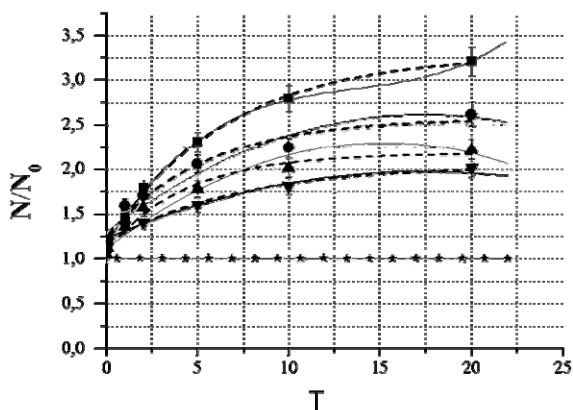


Рис. 3. Зависимость отношения усреднённого серого внутри выделения к величине темнового сигнала от времени накопления (мкс) для разной частоты кадров

Выяснение причин нелинейности свет-сигнальной характеристики требует дополнительных исследований.

### Выводы

1. Экспериментально получена логарифмическая зависимость чувствительности видеокамеры.
2. Зависимость яркости полученного изображения от периода для разных экспозиций носит линейный характер.

3. Несмотря на логарифмическую чувствительность видеокамеры, фототок зависит только от времени накопления, что говорит о возможности использования видеокамеры в качестве измерительного прибора при проведении физических экспериментов.

4. Возможно применение видеокамеры для определения распределения температуры и других количественных характеристик в быстропротекающих процессах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Бороненко М.П., Гуляев П.Ю.* Телевизионная измерительная система наносекундного разрешения // Доклады ТУСУРа. – 2014. – № 1 (31).

2. *Йесперс П.* Полупроводниковые формирователи сигналов изображения / П. Йесперс, Ф. Ван де Виле, М. Уайт. – М.: Мир, 1979.

3. *Гарколь Д.А. и др.* Новая методика высокоскоростной яркостной пирометрии для исследования процессов СВС // Образование. – 1994. – Т. 3. – С. 4.

#### АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ БУЛЬБАРНОЙ КОНЬЮНКТИВЫ

**Б.Ц. Дамдинжапова, А.Р. Романова, А.А. Сашина, А.Р. Софронова,  
А.В. Филатов, магистранты каф. ТУ**

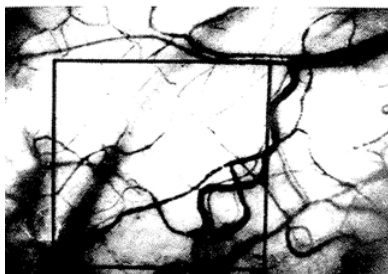
*Научный руководитель А.Н. Дементьев, доцент каф. ТУ  
Томск, ТУСУР, sof.aisena@mail.ru*

Для выявления болезней и сведений в медицине широко используются изображения как источник информации при неинвазивных методах определения болезней.

Изучение микроциркуляции (МЦ) является одной из важнейших проблем в современной теоретической и клинической медицине. Именно на микроциркулярном уровне осуществляются жизненно необходимые фундаментальные процессы. Глаз занимает особое место в клинических исследованиях микроциркуляции. Это обусловлено тем, что наружная оболочка глазного яблока – бульбарная конъюнктив (БК) и внутренняя его оболочка – сетчатка относятся к структурам организма, в которых возможно непосредственное наблюдение и фотографирование микрососудов. Конъюнктиву глазного яблока рассматривают как наилучший объект для биомикроскопического изучения микроциркуляции.

Пример модели участка изображения БК приведен на рис. 1. Изображение БК состоит из отрезков прямых линий и дуг различной ширины и ориентации (сосудистая сеть), соединяющихся между собой, образуя связную контурную область. Контрастность линий зависит от толщины сосудов.

Рис. 1. Определение количества функционирующих капилляров на единицу площади поверхности конъюнктивы (выделен 1 кв. мм). Биомикротофо, увеличено в 12 раз



Линии могут быть неравномерными по ширине (расширяться или сужаться) в результате неравномерности калибра сосудов и прерывистого кровотока. Из-за кривизны глазного яблока и неравномерности освещения при получении изображения БК на изображении присутствует неравномерная фоновая составляющая.

Алгоритм обработки включает в себя следующие этапы:

1. *Скелетизация*. В начальном полутоновом изображении БК подавляются неравномерная фоновая составляющая и детали. В итоге получится полутоновое изображение с выделенной сосудистой сетью.

2. *Сегментация изображения*. Данная процедура разбивает изображение на два класса: сосудистая сеть и фон. Систематизация элементов изображения производится по яркости по глобальному порогу. Результат сегментации: полутоновое изображение преобразуется в бинарное.

3. *Подавление шумов*. После проведения сегментации на изображении кроме сосудистой сети присутствуют шумы в виде точек, пятен, тонких (1–2 элемента) штрихов. Эти шумы устраняются на данном этапе, причём в ходе обработки не изменяются параметры сосудов.

4. *Формирование пространства признаков*. В результате формирования пространства признаков образуются массивы текущих ширины, направления для каждого сосуда, определяется количество сосудов, их длина и общая площадь на изображении. Бинарное изображение для визуального контроля разбивается на составляющие сосудистой сети, которые при выводе на экран отмечаются разными цветами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бунин А.Я., Кацнельсон Л.А., Яковлев А.А. Микроциркуляция глаза. – М.: Медицина, 1984. – 176 с.
2. Тепляков А.Т. Микроциркуляция при патологии малого круга. – Томск: Изд-во ТГУ, 1988. – 206 с.

## ИНВЕРСНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

*К.А. Рылов, студент; А.Н. Утемисов, магистрант каф. ТУ*

*Научный руководитель А.С. Рудникович, ст. преп. каф. ТУ*

*Томск, ТУСУР, nice\_twice@inbox.ru*

В настоящее время техника добилась высоких результатов фиксации видеofотоданных на мобильных устройствах. Качество этих данных достаточно хорошее для применения их в качестве улик и доказательств совершения преступлений и правонарушений. Для достоверного определения и регистрации факта преступления заранее нужно избавляться от помех и уметь их исправлять. Одной из самых распространённых помех является «смаз» изображения. Смаз обусловлен подвижностью объектов относительно записывающего устройства и наоборот, записывающего устройства относительно регистрируемого объекта. Смазанные изображения – один из самых неприятных дефектов в фотографии наравне с расфокусированными изображениями. Смаз необходимо корректно удалять для определения необходимых деталей, например фиксации автомобильного номера или распознавания лица человека, а также это необходимо для коррекции изображения в целом [1].

Коррекции смаза и расфокусировки можно добиться с помощью использования фильтров. В данной работе используется инверсный фильтр в частотной области. Процедура фильтрации в частотной области показана на рис. 1 и состоит из следующих этапов [2. С 244–246]:

- 1) исходное изображение  $f(x, y)$  умножается на  $(-1)^{x+y}$ ;
- 2) вычисляется прямое дискретное преобразование Фурье (ДПФ)  $F(u, v)$  изображения, полученного после этапа 1;
- 3) функция  $F(u, v)$  умножается на функцию фильтра  $H(u, v)$ ;
- 4) вычисляется обратное дискретное преобразование Фурье (ДПФ) произведения  $F(u, v)H(u, v)$ ;
- 5) выделяется вещественная часть обратного ДПФ;
- 6) вещественная часть обратного ДПФ умножается на  $(-1)^{x+y}$ ;
- 7) вывод улучшенного изображения  $g(x, y)$ .

Непосредственно передаточная функция фильтра  $H(u, v)$  будет играть роль коррекции смазов, в данном случае это будет передаточная функция инверсного фильтра [2. С. 388–390].

Инверсная фильтрация предполагает получение оценки  $\hat{F}(u, v)$  фурье-преобразования исходного изображения делением фурье-преобразования искаженного изображения на частотное представление искажающей функции:



$$\hat{F}(u,v) = \frac{G(u,v)}{H(u,v)},$$

где  $G(u, v)$  – фурье-образ искаженного изображения,  $\hat{F}(u,v)$  – фурье-образ;  $H(u, v)$  – фурье-образ искажающей функции.

Так как  $G(u, v) = H(u, v) F(u, v) + N(u, v)$ , то получим

$$\hat{F}(u,v) = F(u,v) + \frac{N(u,v)}{H(u,v)},$$

где  $N(u, v)$  – фурье-преобразование случайной величины.

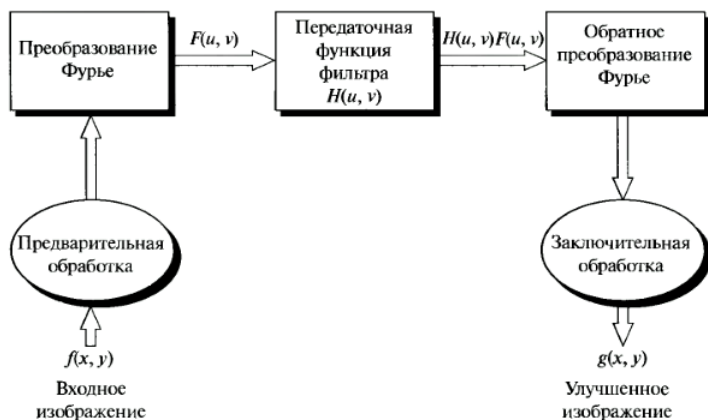


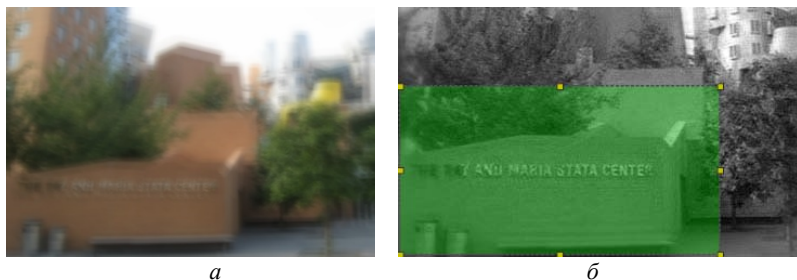
Рис. 1. Схема обработки изображения в частотной области

Из последнего выражения видно, что даже зная искажающую функцию, невозможно точно восстановить неискаженное изображение.

Реализация этого фильтра не считается сложной, но данный фильтр реализован лишь в малой части программных продуктов. Результаты работы одного из таких программных продуктов под названием SmartDeblur [3] показаны на рис. 2 и 3 соответственно.

На рис. 2, *а* отчетливо видна работа фильтра, когда на исходном изображении отчетливо виден «смаз» который не дает прочесть текст на стене. На исправленном изображении (рис. 2, *б*) можно различить символы, которые складываются в слова «AND MARIA STATA CENTER».

Ещё один пример работы программы, который представляет собой исправление расфокусированного изображения, представлен на рис. 3. На рисунке представлены реальная расфокусированная фотография, сделанная на смартфон Samsung Galaxy A7 (рис. 3, *а*), и изображение, обработанное программой SmartDeblur (рис. 3, *б*).



а  
б  
Рис. 2. Искаженное изображение – а;  
обработанное ПО SmartDeblur изображение – б



а  
б  
Рис. 3. Исходное изображение – а;  
обработанное ПО SmartDeblur изображение – б

В широко известных программах по обработке изображений функция восстановления работает не совершенно, а функционал фильтра раскрыт не в полном размере. В результате обработки изображения через программу, рассмотренную выше можно заметить помехи, в виде звона на более ярких участках изображения. Этого можно было бы избежать, используя частотный инверсный фильтр, который бы восстанавливал изображения более чётче. В дальнейшем предполагается создать инверсный фильтр для ПО «EKKIZ-V» [4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Blind Deconvolution* – автоматическое восстановление смазанных изображений. Новостной портал IT-специалистов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/175717/> // (дата обращения: 23.02.2017).
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений / пер. с англ. под ред. П.А Чочиа. – М.: Техносфера. – 2005. – 1070 с
3. Официальный сайт программного обеспечения SmartDeblur [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://smartdeblur.net/> (дата обращения: 24.02.2017).

4. *Официальный сайт НПП ДиВиЛайн. Программный продукт «ESKIZ-V» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://diviline.ru/products/eskiz\\_v](http://diviline.ru/products/eskiz_v) (дата обращения: 26.02.07).*

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАСФОКУСИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ ИНВЕРСНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ**

*Д.А. Салыкова, А.К. Мовчан, магистранты каф. ТОР  
Научный руководитель В.В. Капустин, аспирант каф. ТУ  
Томск, ТУСУР, [dana.salykova@mail.ru](mailto:dana.salykova@mail.ru)*

Восстановление расфокусированных и смазанных изображений является одной из наиболее значимых проблем в задачах обработки изображений. В данной работе речь пойдет о восстановлении расфокусированных изображений. На сегодняшний день существует огромное множество методов, позволяющих улучшить качество изображения.

Причиной низкого качества (размытости) изображений могут быть различные факторы. Это может быть перемещение камеры в процессе захвата изображений, большое время экспозиции, расфокусировка, атмосферная турбулентность и т.д.

Целью данной работы является восстановление расфокусированного изображения при помощи инверсной фильтрации с минимизацией ошибок преобразования.

Одним из методов восстановления смазанных изображений является сглаживающая фильтрация методом наименьших квадратов или регуляризации по Тихонову. Методы восстановления расфокусированного изображения с использованием фильтра Винера и регуляризации по Тихонову являются линейными [1].

Нелинейным методом восстановления смазанного изображения является метод Люси–Ричардсона. Отличительной особенностью этого метода, помимо нелинейности, является использование итерационных процедур, что может улучшить качество восстановления изображения. В методе Люси–Ричардсона не используется преобразование Фурье – всё делается в пространственной области, что уменьшает вычислительную громоздкость алгоритма восстановления [2]. Суть метода слепой деконволюции заключается в попытке решить численным путем только одно уравнение из исходной системы [3].

Любое искаженное изображение содержит информацию об оригинале. Так как информация по каждому пикселю вне зависимости от вида искажения: расфокусировки или же смаза – не теряется полно-

стью, а лишь изменяется по определенным законам, используя различные методы обработки и восстановления изображений, можно найти исходные данные или же значения, приближенные к ним. Для того чтобы найти оригинальную информацию, следует сделать обратную свертку, т.е. деконволюцию. Для осуществления деконволюции целесообразно использовать один из основных методов – фильтр Винера. Фильтр Винера представляет изображение и шум как случайные процессы и находит такую оценку для искаженного изображения, чтобы среднеквадратическое отклонение этих величин было минимальным [4].

Проведен эксперимент, в ходе которого получены расфокусированные изображения объекта (вывеска на здании спортивного комплекса ТУСУРа) для последующей обработки. Изображения получены с помощью цифровой зеркальной камеры Nikon D5100. Снимки представлены в двух форматах: JPEG (8 бит) и TIFF (16 бит).

Восстановление изображения осуществлялось в среде разработки MATLAB.

В пакете Image Processing Toolbox системы MATLAB существует несколько функций обработки размытых изображений:

- 1) `deconvwnr` – выполняет восстановление размытых изображений с использованием винеровской фильтрации;
- 2) `deconvreg` – выполняет восстановление размытых изображений с использованием регуляризационных фильтров;
- 3) `deconvlucy` – выполняет восстановление размытых изображений с использованием алгоритма Люси–Ричардсона (Lucy–Richardson);
- 4) `deconvblind` – выполняет восстановление размытых изображений с использованием алгоритма слепой деконволюции.

Для достижения цели – эффективного восстановления расфокусированного изображения – был выбран фильтр Винера. Данный фильтр является инверсным и при отсутствии шумов на изображении может считаться идеальным восстанавливающим фильтром.

$$\tilde{H}_{\text{Вин}}(k_1, k_2) = \frac{\tilde{H}^*(k_1, k_2)}{\left| \tilde{H}_{\text{Вин}}(k_1, k_2) \right|^2 + \frac{\tilde{G}_n(k_1, k_2)}{\tilde{G}_u(k_1, k_2)}},$$

где  $\tilde{G}_n(k_1, k_2)$ ,  $\tilde{G}_u(k_1, k_2)$  – спектральные плотности наблюдаемого и исходного изображений; \* – символ комплексного сопряжения [5].

Основными параметрами инверсного фильтра Винера являются PSF (ФПТ – функция рассеяния точки) и NSR (Ш/С – отношение шум/сигнал). При обработке изображения были выбраны следующие

значения функции рассеяния точки и отношение сигнал/шум:  $PSF = 83$ ;  $NSR = 0,001$ .

Результаты восстановления расфокусированного изображения представлены на рис. 1.

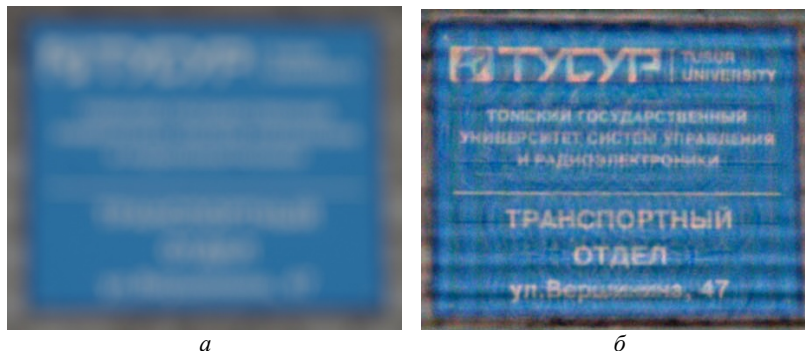


Рис. 1. Исходное изображение – *а*; обработанное изображение – *б*

Сравнивая исходное расфокусированное изображение с изображением, полученным после восстановления, можно заметить существенное улучшение качества (текст на изображении стал читаем).

По итогам выполненной работы можно сделать вывод, что использование инверсного фильтра Винера позволяет восстанавливать расфокусированные изображения с несущественными потерями их качества.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Бейтс Р., Мак-Доннелл М. Восстановление и реконструкция изображений / пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 336 с.
3. Герман В.А., Пахомов А.А., Никитов С.А. и др. Новейшие методы обработки изображений. – М.: Физматлит, 2008. – 223 с.
4. Винер-деконволюция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://en.wikipedia.org/wiki/Wiener\\_deconvolution](http://en.wikipedia.org/wiki/Wiener_deconvolution) (дата обращения: 12.02.2017).
5. Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П. и др. Цифровая обработка изображений в информационных системах: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.

## СИСТЕМЫ АКТИВНОГО ЗРЕНИЯ РОБОТОВ

*Д.В. Квасов, Е.А. Сердюк, студенты*

*Научный руководитель М.И. Курачий, доцент каф. ТУ, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, denis96.kv10@yandex.ru*

*Проект ГПО ТУ-1505 «Разработка программных модулей*

*экспертной оценки изображения»*

Системы активного зрения (САЗ) в настоящее время находят все более широкое применение в системах безопасности, контроля и управления. САЗ позволяют оптимизировать производственные процессы, уменьшить негативное влияние человеческого фактора, видеокамеры технического зрения также нашли применение в системах видеонаблюдения. С их помощью можно учесть количество людей на объекте, проанализировать их перемещения. Сегодня САЗ активно внедряют многие лаборатории, крупные предприятия и научно-исследовательские центры. САЗ все больше прогрессируют и имеют большое будущее.

**Датчики.** Датчики видеоизображения – это вакуумные передающие трубки и полупроводниковые матричные приборы из твердотельных ячеек, преобразующих световую энергию в электрический заряд. Наибольшее распространение среди последних получили приборы с зарядовой связью (ПЗС). В таблице приведены характеристики таких датчиков, нашедших применение в САЗ. Приведенные здесь КМОП датчики (матрицы) отличаются от ПЗС способом формирования выходного сигнала, что делает их более недорогими, но за счет снижения чувствительности.

**Характеристики телевизионных датчиков**

| № | Технические параметры             | Видикон       | ПЗС                      | КМОП                     |
|---|-----------------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | Чувствительный элемент            | Покрытие CdSe | На базе МОП конденсатора | На базе МОП конденсатора |
| 2 | Разрешающая способность (тв. лин) | 200–600       | 200–1600*                | До 1700*                 |
| 3 | Отношение сигнал/шум (дБ)         | До 46         | До 50                    | До 54                    |
| 4 | Чувствительность (лк)             | 16            | До 0,00005               | До 0,1                   |

\* В матрицах высокого разрешения.

Предварительная обработка изображения, получаемого от видеокамер, обеспечивает снижение уровня помех, искажающих исходное изображение, повышение контрастности изображения и контуров. Кроме того, первичная видеoinформация содержит обычно на порядок больший объем информации, чем необходимо для решения кон-

кретных задач, решаемых САЗ, и эту избыточную информацию необходимо также убрать. Завершает предварительную обработку видеoinформации преобразование ее в цифровую форму, если видеокамера аналоговая. Более подробно о датчиках можно узнать в [3–6].

**Программное обеспечение для обработки и анализа изображений.** Предварительная обработка изображения, получаемого от видеокамер, обеспечивает снижение уровня помех, искажающих исходные изображения, повышение контрастности изображения и контуров. Кроме того, первичная видеoinформация содержит обычно на порядки больший объем информации, чем необходимо для решения конкретных задач, решаемых САЗ, и эту избыточную информацию необходимо также убрать. Завершает предварительную обработку видеoinформации преобразование ее в цифровую форму, если видеокамера аналоговая.

**Аппаратные средства для обработки изображений.** Цифровая обработка изображений, или получение виртуального образа объекта с последующим его анализом, является одной из прикладных задач машинного зрения. Задача решается с помощью соответствующих устройств – плат видеозахвата и специализированного программного обеспечения. Исходя из сложности задачи, могут использоваться как мощные (подключение до нескольких камер), так и простейшие платы. Такое разнообразие средств позволяет создавать системы с учетом конкретных требований пользователя. По способу обработки сигналов платы видеозахвата могут быть аналоговыми или цифровыми. Для несложных задач универсальным и экономически оправданным решением является применение аналоговых плат, поскольку к ним достаточно просто подключить широко распространенные на сегодня камеры со стандартными аналоговыми видеоинтерфейсами.

### **Заключение**

Рассмотренный в данной статье обзор по системам активного зрения роботов дает возможность проанализировать развитие и использование САЗ в настоящее время. С одной стороны, в этой области получены впечатляющие результаты и решены многие поставленные задачи. Системы активного зрения справляются с автоматизацией производства, видеонаблюдением, анализом медицинских снимков и др. С другой стороны, машинное зрение все еще далеко от интеллектуальных возможностей зрения человека.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Рябченко В.В.* Активное стереозрение для головы гуманоидного робота: Реферат по теме выпускной работы [Электронный ресурс]. – URL: <http://masters.donntu.org/2013/fknt/riabchenko/diss/index.htm#ref2>

2. Дятлов Е.И. Машинное зрение (аналитический обзор) // Математические машины и системы: науч. журн. – 2013. – №2 [Электронный ресурс]. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/mashinnoe-zrenie-analiticheskiy-obzor>

3. Лысенко О. Машинное зрение от SICK/ IVP // Компоненты и технологии: науч. журн. [Электронный ресурс]. – URL: [http://kit-e.ru/assets/files/pdf/2007\\_01\\_66.pdf](http://kit-e.ru/assets/files/pdf/2007_01_66.pdf)

4. Пахомов А.Н. Состояние и перспективы систем активного зрения // Успехи современной радиоэлектроники. – 1999. – № 2. – С. 57–65.

5. Юревич Е.И. Сенсорные системы в робототехнике: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбПУ, 2013. – 100 с.

6. Волков В.Г., Гиндин П.Д. Техническое зрение. Инновации: – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2014. – 837 с.

7. Головастов А. Машинное зрение и цифровая обработка изображений // Современные технологии автоматизации: журн. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.cta.ru/cms/f/435961.pdf>

## **КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ МЕТОД ОТБОРА ИДЕЙ ПО ВЫБОРУ ХОСТИНГА**

***М.Е. Цыгановский, студент каф. ТУ***

*Научный руководитель В.А. Семиглазов, доцент каф. ТУ, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, [jjmikebeard@gmail.com](mailto:jjmikebeard@gmail.com)*

Понятие «менеджмент» подразумевает, прежде всего, максимально эффективное управление и использование имеющихся ресурсов. В данной работе проанализирован процесс отбора идей по выбору хостинга, минимизирующий затраты компании, не жертвуя при этом необходимыми требованиями.

Анализ услуг по предоставлению хостинга от разных поставщиков производился по следующим критериям:

1. Стоимость. Данный критерий являлся одним из главных, имеющих наибольший вес при расчетах и в принятии решения.

2. Защита от DDoS-атак. Способность поставщика услуг обезопасить данные от несанкционированного доступа, кражи.

3. Круглосуточная поддержка. Возможность заказчика обратиться к поставщику услуг с вопросами, связанными с хостингом.

4. Географическое положение серверов поставщика. Иными словами, чем дальше сервер от России, тем меньшее предпочтение ему было отдано.

5. Дополнительные акции/услуги, которые предоставляет поставщик, помимо хостинга, бесплатно.

По результатам исследования были выделены три поставщика, предложения которых показали наиболее выгодными и удовлетво-



ряющими требованиями. В таблице приведены характеристики идей и названия сайтов поставщиков услуг.

**Характеристики конкурирующих идей**

| Наименование параметра ( <i>i</i> ) | Идея А<br>1GB.ru  | Идея Б<br>Cloud4Y.ru | Идея В<br>Stormwall.ru | Вес | Приоритет |
|-------------------------------------|-------------------|----------------------|------------------------|-----|-----------|
| Цена за месяц                       | 3794 (1)          | 10131 (0,374)        | 5000 (0,758)           | 10  | 0,29      |
| DDoS-защита                         | 5000 (0,8)        | 12500 (0,32)         | 4000 (1)               | 7   | 0,20      |
| Поддержка                           | Да (1)            | Нет (0)              | Да (1)                 | 8   | 0,23      |
| Географическое положение            | Можно выбрать (1) | Нет (0)              | Можно выбрать (1)      | 3   | 0,08      |
| Дополнительные услуги               | Нет (0)           | Да (1)               | Да (1)                 | 6   | 0,17      |

В последней колонке таблицы указаны значения приоритетов характеристик поставщиков, которые рассчитываются по формуле

$$\alpha_i = \frac{\beta_i}{\sum \beta_i}, \quad (1)$$

при этом  $\sum \alpha_i = 1$ .

1. Рассчитаем качество идеи по правилу математического ожидания:

$$M = \sum_{i=1}^k \mu_i \cdot \alpha_i. \quad (2)$$

У идеи-лидера значение  $M$  будет наибольшим:

$$M_A = 0,78, \quad M_B = 0,35, \quad M_B = 0,92.$$

По параметру  $M$  лидером является идея  $B$ . Если значение  $M_B$  принять за единицу, то превосходство идеи  $B$  по параметру  $M$  над идеями  $A$  и  $B$  будет представлено следующим образом:

$$B_M = 1,00, \quad A_M = 0,78, \quad B_M = 0,17.$$

2. Сравним идеи  $A$ ,  $B$  и  $B$  по степени их отклонения  $\delta_k$  от идеальной идеи, т.е. такой, у которой по всем характеристикам  $\mu_i = 1,00$ , тогда для идеальной идеи  $M_{\text{ид.}} = 1,00$  и, следовательно:

$$\delta_A = 1 - M_A = 0,22, \quad \delta_B = 1 - M_B = 0,65, \quad \delta_B = 1 - M_B = 0,08.$$

Превосходство идеи  $B$  по параметру  $\delta$  будет представлено следующим образом:

$$B_\delta = 1,00, \quad A_\delta = \frac{\delta_B}{\delta_A} = 0,33, \quad B_\delta = \frac{\delta_B}{\delta_B} = 0,10.$$

Сравним идеи по коэффициенту вариации ( $\gamma$ ), определяемой по формуле

$$\gamma_k = \frac{\delta_k}{M_k}, \quad (3)$$

где  $\delta_k$  – среднеквадратичное отклонение случайных величин  $\mu_i$  от математического ожидания  $M$ .

Чем выше вариативность, тем в меньшей степени  $M$  определяется основными наиболее важными характеристиками.

Среднеквадратичное отклонение характеристик для каждой идеи определяется следующим образом:

$$\sigma = \sqrt{\sum (\mu_i - M)^2 \cdot \alpha_i}. \quad (4)$$

Расчеты по формулам (3) и (4) показали:

$$\gamma_A = 0,37, \quad \gamma_B = 0,33, \quad \gamma_C = 0,11.$$

Превосходство  $B$  по параметру  $\gamma$  составляет

$$B_\gamma = 1,00, \quad B_\delta = 0,33, \quad A_\gamma = 0,29.$$

Подсчитаем суммарное значение превосходства для каждой идеи по всем критериям сравнения:

$$\sum A = A_\gamma + A_\delta + A_M = 1,4.$$

$$\sum B = B_\gamma + B_\delta + B_M = 0,6.$$

$$\sum C = C_\gamma + C_\delta + C_M = 3.$$

Из полученных результатов видно, что следует выбрать для реализации идею  $B$ . Использование данного метода имеет ряд преимуществ: при автоматизации процесса, когда необходимо перебрать десятки, а иногда и сотни разных идей, использование количественного метода является наименее затратным способом для принятия важного управленческого решения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Семиглазов А.М., Семиглазов В.А. Модель отбора новых идей для их реализации в инновационном бизнесе // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 2, Ч. 1. – С. 336–341.
2. Семиглазов В.А. Инновационный менеджмент: учеб.-метод. пособие по практ. занятиям и самостоятельной работе. – Томск: ЦПП ТУСУРа, 2014. – 39 с.

# **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ АКТИВНО-ИМПУЛЬСНЫХ ТЕЛЕВИЗИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕЖКАДРОВЫХ АЛГОРИТМОВ**

*К.В. Шипунова, Д.Е. Головина, магистранты каф. ТУ;*

*В.В. Капустин, аспирант каф. ТУ*

*Томск, ТУСУР, shipunovakseniya@mail.ru*

Ухудшение условий визуального наблюдения, связанное с изменением погодных условий, снижает эффективность и безопасность применения технических средств и систем различного назначения, например: средств наземного, воздушного и водного transports, тяжелых строительных механизмов, систем видеонаблюдения, телевизионных систем. Актуальность задачи улучшения различимости объектов средствами обработки цифровых телевизионных изображений подтверждается повышенным интересом многих исследователей. Ухудшение различимости объектов на изображениях, полученных в условиях недостаточной видимости, обусловлено уменьшением контраста и цветовой насыщенности [1].

Активно-импульсные телевизионно-вычислительные системы (АИТВС) применяются для наблюдения, контроля, обеспечения безопасности объектов и обработки видеосигналов и изображений. Принцип их действия основан на импульсном методе подсветки поля зрения системы лазерными излучателями и стробировании по времени импульсов излучения, отраженных от объектов наблюдения. Системы могут применяться как в нормальных, так и в сложных условиях наблюдения за объектами [2].

Целью данной работы являлось улучшение изображений, полученных при помощи АИТВС, работающей в сложных условиях. Исследуемый вариант АИТВС работает в ближней ИК-области спектра, поэтому контраст объектов отличается от изображений, наблюдаемых в видимом диапазоне. Объекты, содержащие светоотражающие элементы, обладают высоким уровнем яркости в активной зоне видения, поэтому в качестве объекта наблюдения был выбран номерной знак автомобиля.

Изображения получены через малопрозрачную среду распространения и обладают низким отношением сигнал/шум (ОСШ). Шумы в телевизионных системах ухудшают четкость и контраст изображения, сжимают диапазон воспроизводимых полутонов яркости. Уровень шумов в телевизионной системе определяется преобразователем свет/сигнал, т.е. тем звеном, где сигнал минимален [3].

Наиболее распространённым методом повышения отношения сигнал/шум при регистрации изображений является метод многократного суммирования кадров. При его использовании последовательно во времени выполняется регистрация нескольких кадров одной и той же сцены и вычисляется среднее по ряду кадров изображение. Это конечное изображение имеет пространственное разрешение, как правило, равное разрешению используемого матричного фотоприёмника. В результате усреднения по кадрам величина шумов для каждого из пикселей изображения может уменьшиться, что и приведёт к увеличению отношения сигнал/шум по сравнению с одиночным кадром [4].

На рис. 1, *а* изображено исходное изображение, полученное АИТВС через малопрозрачную среду, на рис. 1, *б* для сравнения представлены результаты суммирования кадров.

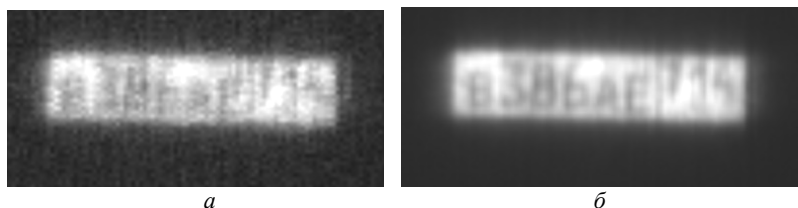


Рис. 1. Исходное изображение, полученное АИТВС, – *а*;  
результат суммирования кадров видеопотока – *б*

На рис. 2 представлены гистограммы исходного и обработанного изображений.

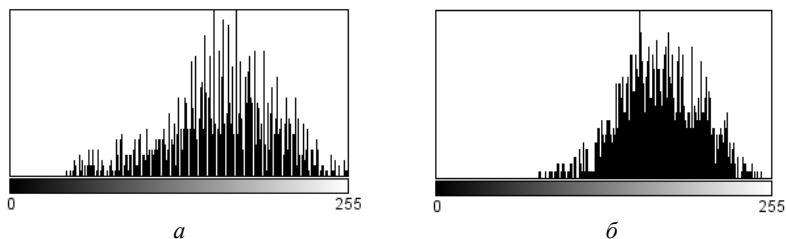


Рис. 2. Гистограмма для исходного изображения – *а*;  
гистограмма результата суммирования кадров видеопотока – *б*

Уменьшив прозрачность среды, получили нераспознаваемое изображение, но, применив суммирование, некоторые объекты номера стали различимы. На рис. 3, *а* изображено исходное изображение, полученное АИТВС через малопрозрачную среду, на рис. 3, *б* для сравнения представлены результаты суммирования кадров.

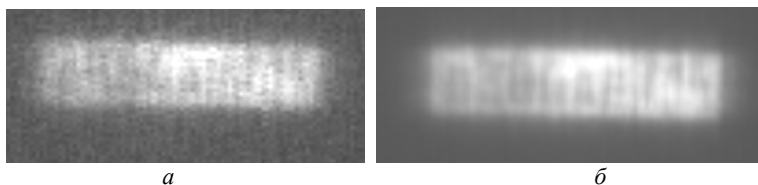


Рис. 3. Исходное изображение, полученное АИТВС, – *а*;  
результат суммирования кадров видеопотока – *б*

На рис. 4 представлены гистограммы исходного и обработанного изображений.

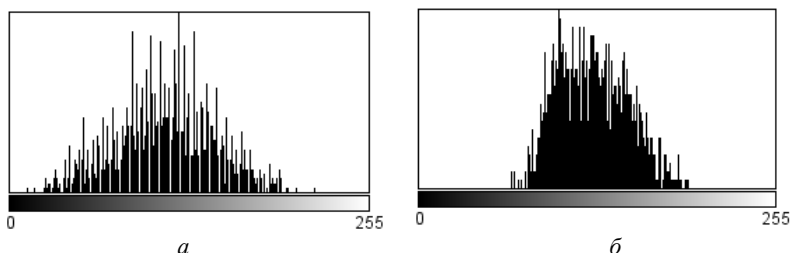


Рис. 4. Гистограмма для исходного изображения – *а*;  
гистограмма результата суммирования кадров видеопотока – *б*

Как видно из рис. 1 и 3, суммирование кадров значительно уменьшило шум на изображении, и отдельные элементы номера, а именно цифры, стали более различимыми.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Начаров Д.В. Метод преобразования динамического диапазона цифровых изображений с целью улучшения различимости объектов // Журнал радиоэлектроники [Электронный ресурс]. – Электрон. журн. – 2015. – URL: <http://www.graphicon.ru/html/2015/papers/30.pdf> (дата обращения: 21.02.2017).
2. Мищенко Н.И. Методы и средства повышения технических характеристик активно-импульсных телевизионно-вычислительных систем наблюдения / Н.И. Мищенко, И.Н. Пустынский // Доклады ТУСУРа. – 2014. – №3 (33). – С. 47–52.
3. Конюхов А.Л. Критерии оценки отношения сигнал/шум в активно-импульсных телевизионно-вычислительных системах / А.Л. Конюхов, А.Г. Костевич, М.И. Курячий // Доклады ТУСУРа. – 2012. – № 2 (26), ч. 1, декабрь.
4. Евтихийев Н.Н. Увеличение отношения сигнал/шум за счёт пространственного усреднения при регистрации изображений [Электронный ресурс]. – URL: <file:///C:/Users/user/Desktop/8833-8297-1-PB.pdf> (дата обращения: 26.02.2017).

## ОЦЕНКА КонтРАСТНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

*К.В. Шипунова, магистрант каф. ТУ*

*Научный руководитель А.С. Рудникович, ст. преп. каф. ТУ  
Томск, ТУСУР, shipunovakseniya@mail.ru*

При оценке качества изображения оценивается в первую очередь разрешение. Разрешение связано с контрастностью элементов изображений. Разрешение – это способность системы передавать мелкие детали изображений при заданном контрасте этих деталей. На разрешение влияет количество чувствительных элементов датчика изображений, характеристики объектива и трактов следования сигнала. Идеальной системы не существует, все объективы, даже самые лучшие, размывают изображения и вносят искажения.

Четкость определяется границами между зонами разных тонов или цветов. На верхней части рис. 1 приведено оригинальное изображение (границы четкие). В нижней части показано, как изображение размывто после того, как проходит через объектив [1].



Рис. 1. Оригинальное изображение – *а*;  
изображение, искаженное объективом, – *б*

Одним из параметров, характеризующим разрешение системы, является контрастно-частотная характеристика (КЧХ). Зная размер изображения и КЧХ, можно рассчитать реальное разрешение по заданному уровню контраста.

При определении КЧХ оценивают распределение освещенности на участках репродукции в сравнении с известным распределением яркостей оригинала для ряда пространственных частот. В качестве оригинала при оценке КЧХ используют периодические решетки (миры) с линейчатой структурой (рис. 2). Существует также большое разнообразие тестовых таблиц, предназначенных для оценки параметров систем различного назначения.

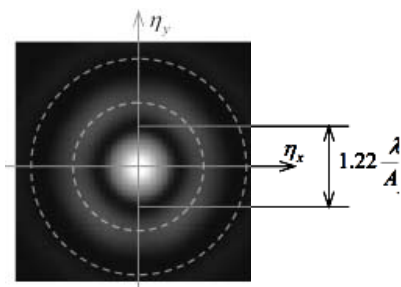
По результатам измерения строят график зависимости контраста от пространственной частоты. Форма графика такой зависимости и его абсолютные величины описывают интегральную характеристику микроконтрастоптической системы, светочувствительного материала или фотографического процесса.

Значение пространственной частоты изображения при определённом (обычно 0,7) значении КЧХ, выраженное в «линиях на мм», «парах линий на мм» или «обратных мм», обычно называют разрешающей способностью оптической системы или светочувствительного материала [2].

КЧХ связана через преобразование Фурье с функцией рассеяния точки (ФРТ). Если объектом является геометрическая точка, а объектив совершенно лишен аберраций, то изображение имеет вид светлого диска с максимальной яркостью в центре, окруженного рядом слабых колец убывающей яркости. Математическое выражение, описывающее такое распределение света, называют функцией рассеяния. Эта функция определяет освещенность в каждой точке изображения, а ее график дает сечение «светлого рельефа» в пятне рассеяния. Также используется термин «функция рассеяния линии», то есть распределения интенсивности света в изображении бесконечно тонкой светящейся линии [3].

Теория дифракции показывает, что даже при совершенном (безабберационном) объективе изображение точки имеет вид некоторого светлого пятна, обладающего определенными размерами и характерным распределением энергии в нем. Пятно имеет центральный максимум освещенности (диск Эри), постепенно снижающийся до нуля, образуя вокруг центрального максимума темное кольцо. Концентрично к темному кольцу располагается светлое кольцо [4]. На рис. 3 изображен диск Эри.

Рис. 3. Общий вид распределения интенсивности (диск Эри)



На рис. 1, а границы перехода из одной яркости в другую нечеткие. На рис. 1, б границы размыты, т.е. яркость постепенно переходит из одной в другую, и линии обладают определенным значением функции рассеяния.

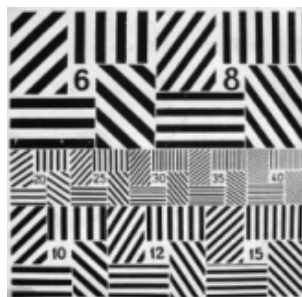


Рис. 2. Периодические решетки (миры) с линейчатой структурой

Для сравнения на рис. 4 показаны графики изменения яркости у исходного и размытого изображений.

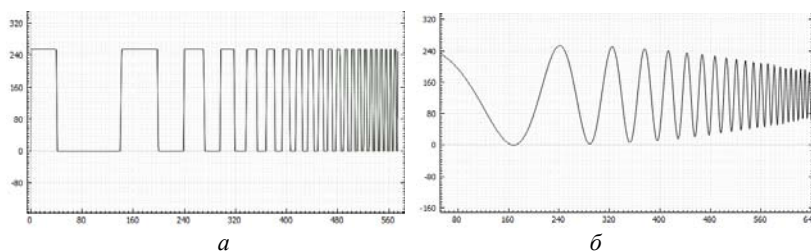


Рис. 4. Графики изменения яркости в изображениях:

*а* – для исходного изображения; *б* – для размытого изображения

Из графиков изменения яркости видно, что у изображения с четкими границами и лучшей контрастностью изменение яркости происходит резко. Для размытого же изображения, полученного с использованием обычных устройств фотовидеозаписи, изменение яркости происходит не мгновенно, а в соответствии с характеристикой оптической системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Sharpness* [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.imatest.com/docs/sharpness/> (дата обращения: 28.02.2017).
2. *ГОСТ 21815.18–90* «Преобразователи электронно-оптические. Метод измерения пространственной частотно-контрастной характеристики [Электронный ресурс]. – URL: <http://vsegost.com/Catalog/38/38599.shtml> (дата обращения: 28.02.2017).
3. *Point and Line Spread Functions* [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.yorku.ca/eye/psf.htm> (дата обращения: 28.02.2017).
4. *Оптоэлектронные системы* [Электронный ресурс]. – URL: <http://optoelectrosys.ru/teor/fizika/optics/funkcia-rasseyaniya-tochki.html> (дата обращения: 28.02.2017).

#### РЕИНЖИНИРИНГ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

***Т.Н. Шустрова, студентка каф. ТУ***

*Научный руководитель А.Э. Лебедева, ст. преп. каф. ТУ*

*Томск, ТУСУР, tatiana180196@mail.ru*

Целью исследования является теоретическое обоснование необходимости применения реинжиниринга бизнес-процессов на предприятии в современных экономических условиях.



**Реинжиниринг бизнес-процессов (Business Process Reengineering, BPR)** – фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование бизнес-процессов (структура, работы, задачи) для достижения резких, скачкообразных улучшений в решающих современных показателях деятельности компании, таких как стоимость, качество, сервис и темпы.

Главной целью бизнес-реинжиниринга является резкое ускорение реакции предприятия на изменения в требованиях потребителей при многократном снижении затрат всех видов [1].

Реинжиниринг бизнес-процессов должен создать необходимые и достаточные условия для расширения, ускорения и повышения эффективности создания различных инноваций: продуктовых, технологических и др., направленных на разработку и реализацию конкурентоспособных товаров.

**Актуальность** данной работы заключается в том, что в настоящее время начинает проявляться тенденция к усилению инновационной активности на основе реинжиниринга бизнес-процессов. Особенно актуальным реинжиниринг бизнес-процессов является для кризисных предприятий, так как последствия доминирования традиционного управления для них особенно разрушительны, а радикальное перепроектирование наиболее экономически эффективно.

Метод кардинальной перестройки деятельности компании, коренного преобразования его бизнеса, получивший название реинжиниринга бизнес-процессов, появился на Западе, преимущественно в США, в середине 80-х годов, когда компьютерная техника стала общедоступна. Наибольший вклад внесли Майкл Хаммер и Джеймс Чампи, которые выпустили книгу «Реинжиниринг корпорации: манифест для революции в бизнесе».

Коренная перестройка – в этом, прежде всего, суть реинжиниринга бизнес-процессов. Опыт практического реинжиниринга в развитых странах свидетельствует о том, что примерно 50–70% компаний, проводивших реинжиниринг своих бизнес-процессов, не добились тех существенных результатов, ради которых и стоило подвергать себя столь сильному риску. Однако, остальные 30–50% компаний, которые решились отойти от мнимой и шаткой «стабильности», доказали миру, что риск стоит результата, добившись скачкообразного увеличения показателей эффективности бизнеса.

Технология проведения реинжиниринга реализуется в некоторой последовательности (рис. 1).

На первом этапе «Визуализация» создаются образ будущей фирмы и её цели, определяется новая стратегия компании, а также проводятся маркетинговые исследования рынка и отрасли.



Рис. 1. Последовательность реализации реинжиниринга [1]

На втором этапе «Обратный инжиниринг» проводится анализ состояния самого бизнеса. Осуществляются маркетинговые исследования внутренней среды и создается модель существующего бизнеса.

Третий этап «Прямой инжиниринг» характеризуется разработкой нового бизнеса. В данном случае соединяются два предыдущих этапа. Происходит изменение существующей модели бизнеса в сторону образа будущего компании. Таким образом, прямой инжиниринг предполагает перепроектирование бизнес-процессов.

На этапе «Внедрение» происходит внедрение новых процессов, их оценка и тестирование.

**Реинжиниринг в России.** Для значительного большинства российских предприятий сегодня наиболее подходящим является кризисный реинжиниринг (решение крайне сложных проблем организации, когда дела пошли совсем плохо и нужен комплекс мер, который позволил бы ликвидировать «очаги заболевания»). Ведь большинство промышленных предприятий были созданы в период СССР и нуждаются в значительном преобразовании своей работы.

В российских условиях, когда бизнес-процессы, в основном, не сформированы, реализация реинжиниринга имеет определенные трудности.

Для начала, учитывая специфику российской экономики, рекомендуется начинать с пробного проекта в той сфере деятельности, в которой он может принести должный успех. Руководство фирмы сможет оценить при этом возможные результаты применения методологии на других сферах деятельности организации.

Основными составляющими процесса управления изменениями являются: оценка готовности организации к изменениям; разработка плана внедрения изменений; четкое определение ролей сотрудников, участвующих в процессе изменений; инициаторы преобразований должны иметь полномочия для принятия решений.

**Перспективы реинжиниринга.** Реинжиниринг бизнес-процессов сейчас достаточно популярен, и эта тенденция будет только расти.

Особенность реинжиниринга в наше время заключается в том, что компании начали осуществлять его собственными силами. Это связано, в первую очередь, с появлением технологических систем.

Таким образом, существует два фактора, определяющих развитие реинжиниринга в современных условиях: рост электронной коммер-

ции; стремительное развитие ERP-систем (системы планирования ресурсов предприятия).

Электронная коммерция – это, в первую очередь, электронные магазины. Чтобы доставлять заказы клиентам, данным компаниям приходится создавать новую систему логистики, а также новую систему доставки.

Что касается ERP-систем, то, по сути, установив данную систему, компания переходит к новым, более эффективным бизнес-процессам, тем самым приходится менять свои процессы, чтобы приспособиться к системе.

**Заключение.** Таким образом, предприятие, которое не осуществляет вложения в изменения, ставит под удар свою способность удержаться на рынке. Однако само стремление к переменам не является гарантией успешного существования. Главное – это правильное управление этими переменами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Силич М.П., Силич В.А.* Реинжиниринг бизнес-процессов: учеб. пособие. – Томск, 2007. 200 с. <http://edu.tusur.ru/training/publications/680>

### СИСТЕМА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ В ШКОЛЕ

*Г.В. Лазарейт, студент каф. БИС*

*Томск, ТУСУР, glazareyt@gmail.com*

Совсем недавно видеонаблюдение в школе являлось показателем престижности учебного заведения. На сегодняшний день ситуация кардинально изменилась, и система видеонаблюдения стала необходимой частью любого учебного заведения, такого как школа. Как правило, необходимость установки такой системы поддерживается большинством родителей и сотрудников школы.

Задачи системы видеонаблюдения в школе и получаемые от её установки выгоды:

- Повышение уровня безопасности в здании и на территории учебного заведения, предотвращение преступлений.
- Упрощение расследования происшествий различного уровня, например выявление учащихся, занимающихся намеренной порчей школьного имущества.
- Помощь правоохранительным органам при расследовании преступлений, произошедших поблизости от школьной территории.
- Разрешение спорных вопросов между сотрудниками и учащимися.

- Регистрация государственных номеров въезжающих на территорию автомобилей.
- Обнаружение чрезвычайных ситуаций техногенного характера (пожар, потоп, разрушение здания).

Систему видеонаблюдения в школе можно разделить на две основные части:

- Внешняя (наблюдение за территорией).
- Внутренняя (наблюдение за коридорами и другими помещениями школы).

Внешняя система видеонаблюдения должна отображать ситуацию на всех выходах из здания школы (основных, запасных, а также входов в технические помещения), в возможных местах скопления людей и совершения противоправных действий. Одна из камер должна быть направлена на въездные ворота и регистрировать номера всех въезжающих на территорию автомобилей.

Внутренняя система видеонаблюдения должна обеспечивать контроль ситуации во всех коридорах и холлах школы, особенно в местах большого скопления учащихся и возле административных кабинетов, доступ в которые ограничен и должен контролироваться.

Как в составе внешней, так и внутренней системы видеонаблюдения каждая из камер должна находиться в поле зрения другой камеры для исключения возможности повреждения камер и гарантированного обнаружения нарушителя.

Рассмотрим реальную систему видеонаблюдения в одной из школ г. Томска, разработанную и установленную компанией «Линк» в 2016 г., оценим правильность расположения камер в её составе и предложим варианты оптимизации данной системы.

На рис. 1 показано расположение камер по периметру здания школы. На план не вошли 2 камеры, наблюдающие за территорией школьного стадиона. Можно заметить, что в данной системе не соблюдено основное требование, согласно которому каждая видеочасть должна находиться в поле зрения другой, соответственно система является уязвимой и может быть частично выведена из строя злоумышленником. На входе со двора камера расположена достаточно далеко и не позволяет идентифицировать входящих в здание людей, на центральный вход направлена камера внутри здания школы. Отсутствует контроль за некоторыми запасными выходами. В поле зрения камер не попадает ни один из входов в хозяйственный и технический подвалы, нет обзора ворот школьных гаражей и служебного входа школьной столовой. Проникновение в данные помещения посторонних лиц может существенно повлиять на безопасность учащихся

Для устранения вышеперечисленных недостатков требуется предпринять следующие меры:

Часть школы со стороны фасада требует более масштабных изменений. Наиболее оптимальным является установка камеры над центральным входом, контролирующей ситуацию перед крыльцом, и двух камер на углах здания, направленных в сторону крыльца и контролирующих зону вдоль фасада здания. В случае недостатка дальности камер на углах школы может потребоваться установка дополни-

тельных камер на середине промежутка от угла здания до крыльца. Также возможен вариант установки, при котором на углу устанавливается 2 камеры, направленные вдоль смежных стен, а навстречу им с другого угла или с крыльца школы направляется другая камера.

Остальные камеры устанавливаются таким образом, чтобы в их поле зрения были следующие камеры или зоны около этих камер (на углах здания).

На стадионе достаточно оставить одну камеру, разместив её на большей высоте, а вторую камеру направить на гаражи, в которых размещается школьный автобус.

Таким образом, расположение камер по предложенной схеме позволяет максимально охватить запасные и служебные входы в здание, защитить от несанкционированного доступа в здание и защитить камеры от повреждения злоумышленниками, т.е. устранить все недостатки и исправить ошибки, допущенные при проектировании данной системы.

В рассматриваемой школе также имеется система внутреннего видеонаблюдения, установленная неизвестной организацией и впоследствии мною усовершенствованная, однако мы не можем рассмотреть её в данной статье из-за ограничения объёма.

## ПОДСЕКЦИЯ 1.6

### ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ ШИРОКОПОЛОСНОГО БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА

*Председатель секции – Демидов А.Я., зав. каф. ТОР, к.ф.-м.н.;*  
*зам. председателя – Гельцер А.А., доцент каф. ТОР, к.т.н.*

#### МОДЕЛЬ МИМО С ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫМ БЛОЧНЫМ КОДИРОВАНИЕМ

*А.А. Абдиразак, магистрант каф. ТОР*

*Научный руководитель Я.В. Крюков, ассистент каф. ТОР,  
Томск, ТУСУР, karapaim@mail.ru*

Из-за постоянно увеличивающихся требований к скорости передачи данных беспроводная связь была коренным образом изменена в прошлом десятилетии. Одним из методов увеличения спектральной эффективности системы, максимальной скорости передачи данных и емкости сети является технология МИМО (Multiple Input Multiple Output – множественный вход, множественный выход).

Рассмотрим систему МИМО с  $M$  передающими и  $N$  приемными антеннами. Свойство МИМО-канала –  $m$ -передающие и  $n$ -приемные антенны описываются канальными коэффициентом  $h_{nm}$ , образующим канальную матрицу  $\mathbf{H}$  размером  $M \times N$ . Представленная схема показана на рис. 1.

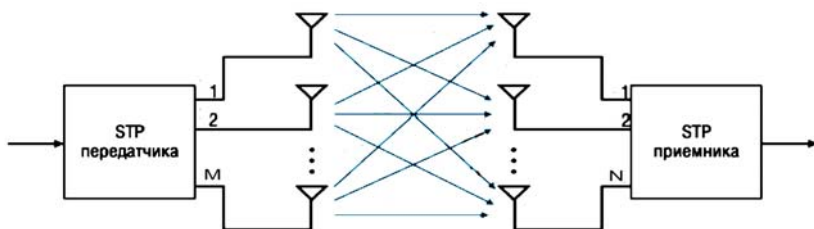


Рис. 1. Система МИМО  $m$ -передающими и  $n$ -приемными антеннами с пространственно-временной обработкой (STP)

Пространственно-временное кодирование удачно сочетает преимущества методов пространственного разнесения с возможностями

исправления ошибок корректирующим кодом при использовании оптимальных алгоритмов декодирования, реализующих одновременно оптимальный алгоритм объединения разнесенных сигналов. Эффективность исследований и разработок новых методов ПВК для перспективных радиосистем в значительной мере зависит от того, насколько используемые модели каналов соответствуют реальным условиям. В статистической теории связи широко и продуктивно используются методы теории информации. Пространственно-временные блочные коды обеспечивают большую величину выигрыша от разнесения за счет возможности обеспечения значительного объема разнесения. Пространственно-временные решетчатые коды обеспечивают в каналах с замираниями значительный энергетический выигрыш за счет кодирования, но небольшой выигрыш за счет разнесения из-за малого объема разнесения [1].

**Сравнительный анализ.** Согласно рис. 2 можно определить, что вероятность ошибочного приема снижается при повышении отношения сигнал/шум [2]. Для ММО-системы с расположением антенн  $2 \times 1$  при увеличении количества приемных антенн до 2 для вероятности ошибочного приема 0,01 требуемое отношение сигнал/шум снижается на 6 дБ. Для ММО-системы с расположением антенн  $4 \times 1$  при увеличении количества приемных антенн до 2 для вероятности ошибочного приема 0,01 требуемое отношение сигнал/шум снижается на 4 дБ. Сравнивая ММО-систему, с расположением антенн  $2 \times 1$  и  $4 \times 1$  для вероятности ошибочного приема 0,01, требуемое отношение сигнал/шум снижается на 8 дБ.

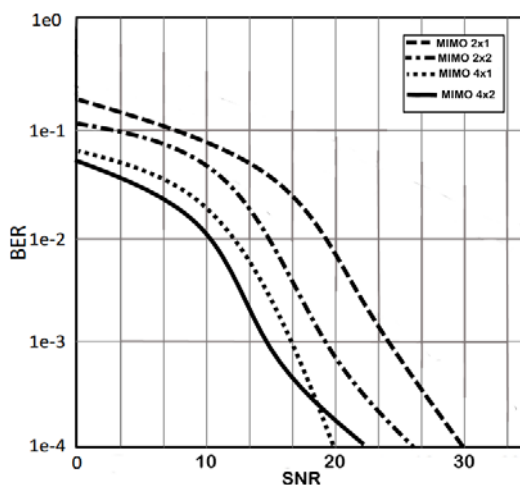


Рис. 2. Сравнение зависимости BER от SNR



По рис. 3 можно установить, что вероятность ошибочного приема повышается при переходе от модуляции BPSK к QPSK и от QPSK к 8PSK. При переходе от модуляции BPSK к QPSK для вероятности ошибочного приема 0,01 требуемое отношение сигнал/шум повышается на 4 дБ. При переходе от модуляции QPSK к 8PSK для вероятности ошибочного приема 0,01 требуемое отношение сигнал/шум повышается на 6 дБ.

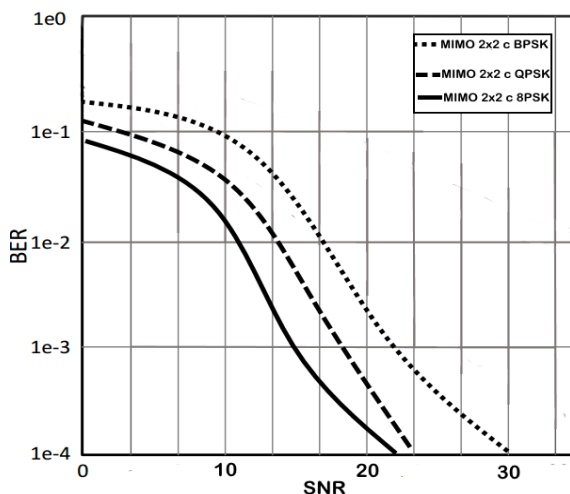


Рис. 3. Сравнение зависимости BER от SNR при различных видах модуляции

**Закключение.** В данной статье была рассмотрена технология MIMO. Был проведен сравнительный анализ 4 методов Multiple Input Multiple Output: MIMO 2×1, MIMO 2×2, MIMO 4×1, MIMO 4×2. Был произведен эксперимент, в ходе которого менялся тип модуляции (BPSK, QPSK, 8PSK) канала связи с MIMO. И в результате данного анализа было выявлено, что канал связи MIMO 4×2 оказался самым оптимальным из проверенных, также было установлено, что модуляция 8PSK обладает большей эффективностью передачи данных в сравнении с BPSK и QPSK.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вишневский В.М., Портной С.Л., Шахнович И.В. Энциклопедия Wi MAX: Путь к 4G. – М.: Техносфера, 2009. – 472 с.
2. Ермолаев В.Т., Флакман А.Г. Адаптивная пространственная обработка сигналов в системах беспроводной связи. – 2006. – 99 с.

# ОБНАРУЖЕНИЕ ПРЕАМБУЛ МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПОДАВЛЕНИЯ ПОМЕХ В СЕТЯХ LTE

*Ц.Д. Балданов, магистрант; Я.В. Крюков, аспирант каф. ТОР  
Томск, ТУСУР, baldanovts@mail.ru, yaachik@gmail.com*

Стремительный рост трафика мобильных устройств вызывает потребность в надежной системе синхронизации между пользовательским устройством (User Equipment, UE) и базовой станцией (Evolved Node B, eNB). Способность обеспечивать высокую эффективность передачи данных делает технологию LTE перспективным направлением развития мобильных сетей.

В спецификации LTE процедуру временной синхронизации в восходящем направлении реализует физический канал случайного доступа (Physical Random Access Channel, PRACH). По данному каналу осуществляется передача преамбулы, структура которой известна и описана в [1]. Процедура формирования преамбулы начинается с генерации базовой последовательности Задова-Чу, обладающей нулевой взаимной корреляцией:

$$x_u(n) = \exp \left( -j \frac{\pi \cdot u \cdot n \cdot (n+1)}{N_{ZC}} \right), \quad n=0, 1, 2, \dots, N_{ZC}-1,$$

где  $N_{ZC}$  – длина последовательности зависит от формата преамбулы [1];  $u$  – корень последовательности ( $u = 0, 1, 2, \dots, N_{ZC}-1$ ).

Преамбула представляет собой циклически сдвинутую последовательность Задова-Чу:

$$x_{u,v}(n) = x_u((n + C_v) \bmod N_{ZC}),$$

где  $C_v$  – циклический сдвиг определяется рядом параметров [1].

Согласно технологии множественного доступа SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) [2] элементы последовательности проходят процедуру дискретного преобразования Фурье. Отсчеты преамбулы размещаются по поднесущим частотам, производится обратное быстрое преобразование Фурье и добавляется циклический префикс.

Процедура обнаружения преамбулы сводится к вычислению автокорреляционной функции (АКФ) между принимаемой искаженной и заранее известной на приемной стороне преамбулой, но из-за шумов и вследствие многолучевого распространения сигнала возможно ложное детектирование.

В данной работе рассматривается процедура обнаружения преамбул методом последовательного подавления помех [3], который предполагает последовательную демодуляцию и компенсацию сигналов с

высокой мощностью для увеличения отношения сигнал/шум при демодуляции сигналов с малой мощностью. При обработке канала PRACH в первую очередь детектируется сигнал с максимальным уровнем АКФ, преамбула которого регенерируется и удаляется из общего принятого сигнала. Под регенерацией понимается произведение известных спектральных отсчетов преамбулы на амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) канала передачи. АЧХ определяется с помощью максимального значения АКФ. При компенсации первого сигнала уменьшается уровень взаимной помехи при детектировании остальных сигналов. Таким образом, по цепочке детектируются сигналы второго по уровню мощности, третьего и т.д.

Расчет и анализ характеристик проводились в среде Matlab. В моделировании осуществлялось обнаружение трех преамбул UE. Канал распространения радиоволн (PPB) описывается коэффициентом ослабления и мощностью аддитивной помехи ( $P_N$ , дБ). Коэффициент ослабления для каждого UE индивидуальный из-за различного расстояния между UE и eNB.

В результате получены зависимости вероятности правильного детектирования от  $P_N$  для трех моделей PPB: EPA – модель пешехода, EVA – модель при движении в автомобиле и ETU – модель типовой городской застройки (рис. 1) [4]. Эти модели представляют низкий, средний и высокий разброс задержки среды с различными ослаблениями сигнала.

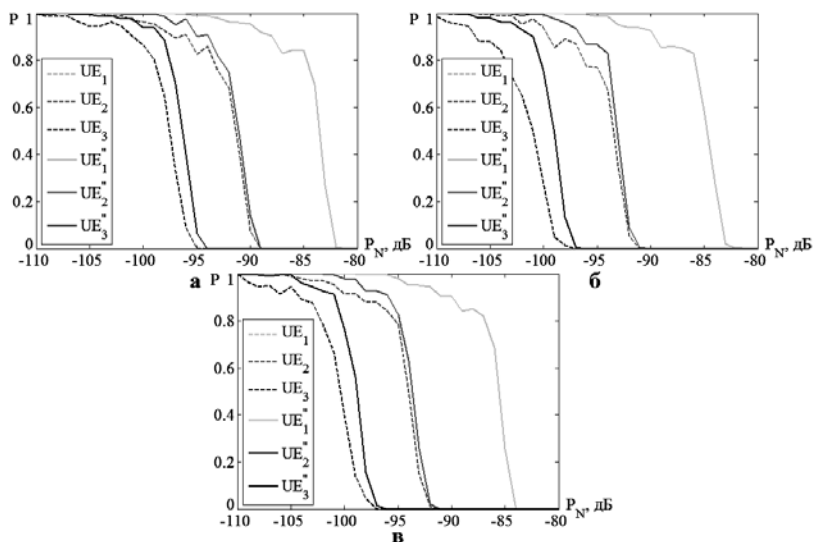


Рис. 1. Зависимости вероятности правильного детектирования от  $P_N$ :  
а – EPA; б – EVA; в – ETU

Метод последовательного подавления помех позволяет повысить вероятность правильного детектирования по сравнению с обычным методом. Так, при вероятности  $P = 0,9$  для модели ЕРА энергетический выигрыш составил 1,3 дБ ( $UE_2$ ) и 1,8 дБ ( $UE_3$ ); для модели EVA – 1,4 дБ ( $UE_2$ ) и 2,8 дБ ( $UE_3$ ); для модели ETU – 1,3 дБ ( $UE_2$ ) и 2 дБ ( $UE_3$ ).

Расчет отношения пикового значения к среднеквадратичному значению (Peak-to-Average Power Ratio, PARP) АКФ показал, что реализованный метод обнаружения преамбулы позволяет снизить уровень боковых лепестков АКФ и повысить пик-фактор последующего детектируемого сигнала.

Из таблицы наблюдаем, что обнаружение и удаление из общего принятого сигнала преамбулы  $UE_1$  приводят к увеличению пик-фактора следующего детектируемого сигнала  $UE_2$ . Аналогичное увеличение прослеживается у  $UE_3$  при устранении преамбулы  $UE_2$  из скомпенсированного сигнала. Пик-фактор уже обнаруженного сигнала при последующих итерациях уменьшается почти до нуля из-за наличия шумов в канале передачи.

**Результаты расчета PARP**

| Компенсация | Нет    | $UE_1$ | $UE_1$ и $UE_2$ |
|-------------|--------|--------|-----------------|
| $UE_1$      | 0,0542 | 0,0051 | 0,0071          |
| $UE_2$      | 0,0132 | 0,0332 | 0,0032          |
| $UE_3$      | 0,0065 | 0,0145 | 0,0194          |

В ходе исследования был изучен канал PRACH, включая структуру преамбулы, процедуру его формирования и обнаружения. Расчет и анализ характеристик в среде Matlab показали, что обнаружение преамбулы методом последовательного подавления помех позволяет добиться снижения уровня боковых лепестков АКФ, повысить пик-фактор последующего детектируемого сигнала и вероятность правильного детектирования.

## **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. Крюков Я.В. Помехоустойчивость канала управления системы LTE / Я.В. Крюков, Д.А. Покаместов, Е.В. Рогожников // Технологии и средства связи. – 2016. – №4. – С. 54–47.
3. Крюков Я.В. Алгоритм расчета мощности каналов при неортогональном множественном доступе NOMA / Я.В. Крюков, А.Я. Демидов, Д.А. Покаместов // Доклады ТУСУРа. – 2016. – Т. 19, № 4. – С. 91–94.
4. 3GPP TS 36.104, version 9.4.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA). Base station (BS) radio transmission and reception, 2010.

# ОПИСАНИЕ МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛА С ЦЕЛЬЮ УМЕНЬШЕНИЯ ВЗАИМНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ПО МНОГОКАНАЛЬНЫМ СИСТЕМАМ СВЯЗИ

*А.В. Гафарова, студентка каф. РТС*

*Научный руководитель Р.С. Островский, инж. АО «НПФ «Микран»*

*Томск, ТУСУР, gafarova011094@mail.ru*

С целью исследования оценки возможности реализации разнесенного приема/передачи (SDM MIMO) для систем беспроводной связи при передаче сигналов с помощью кросс-поляризационных антенн в составе системы беспроводного широкополосного доступа было необходимо сформировать сигнал, который удовлетворяет предъявленным к нему требованиям (табл. 1).

Таблица 1

| Параметры сигнала           |                                         |
|-----------------------------|-----------------------------------------|
| Метод уплотнения            | OFDM                                    |
| Модуляция                   | BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM                |
| Число поднесущих            | 192                                     |
| Число пилот-поднесущих      | 8                                       |
| Полоса сигнала, МГц         | 10                                      |
| Основание БПФ               | 1024                                    |
| Длина циклического префикса | 1/16                                    |
| Формат преамбулы            | Из стандарта IEEE 802.16, разд. 8.3.3.6 |

Методом увеличения скорости передачи была выбрана технология мультиплексирования с пространственным уплотнением каналов – Space Division Multiplexing (SDM).

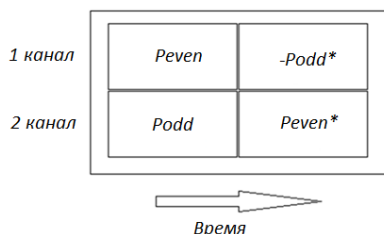


Рис. 1. Распределение пространственных потоков преамбулы

Благодаря разнесению в пространстве антенн как на передающей, так и на приемной сторонах, комплексные коэффициенты передачи всех трактов распространения сигналов от 2 передающих антенн к 2 приемным антеннам являются некоррелированными, что повышает достоверность восстановления переданной информации в приемном устройстве.

На практике при прохождении сигнала по каналу связи возникает четыре возможных канала распространения, в результате чего происходит взаимная корреляция между двумя сигналами.

Так как преамбулы были сформированы по методу пространственно-временного кодирования (*STC*), то начальная оценка комплексной передаточной функции канала будет вычисляться следующим образом :

$$\begin{bmatrix} Peven & -Podd^* \\ Podd & Peven^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} h00 & h01 \\ h10 & h11 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r0t0 & r1t0 \\ r0t1 & r1t1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где *Peven* – четная эталонная преамбула; *Podd* – нечетная эталонная преамбула; *h00*, *h01*, *h10*, *h11* – передаточные функции соответствующих каналов; *r0t0*, *r0t1*, *r1t0*, *r1t1* – принятые символы.

Получив оценку передаточной характеристики канала, можно произвести разделение потоков символов от обеих антенн (2):

$$[S] = [H]^{-1} \cdot [R], \quad (2)$$

Или для случая MIMO 2×2:

$$S0_{est} = \frac{h11 \cdot r0 - h01 \cdot r1}{h00 \cdot h11 - h01 \cdot h10},$$

$$S1_{est} = \frac{-h10 \cdot r0 - h00 \cdot r1}{h00 \cdot h11 - h01 \cdot h10},$$

где *S0<sub>est</sub>* – оценка принятого символа *S0*; *S1<sub>est</sub>* – оценка принятого символа *S1*.

Одним из способов уменьшения пространственной корреляции между двумя антеннами является использование кроссполяризованных антенн. Для оценки корреляции между каналами при различных искажениях канала и коэффициенте кроссполяризации (*XPR*) используется построение корреляционных матриц канала.

$$\mathbf{R}_H = \mathbf{R}_{TX} \otimes \mathbf{R}_{RX}, \quad (3)$$

где  $\otimes$  – означает операцию Кронекеровского тензорного произведения двух матриц;  $\mathbf{R}_{TX}$  – матрица корреляции со стороны передатчика;  $\mathbf{R}_{RX}$  – матрица корреляции со стороны приемника.

Интуитивно-понятным объяснением уравнения является то, что корреляция между двумя элементами канальной матрицы – это результат корреляции со стороны передатчика и корреляции со стороны приемника. Соответствующие матрицы корреляции определяются по формулам (4), (5):

$$\mathbf{R}_{TX} = E[(h^q)^H \cdot h^q], \quad \text{для всех } q = 1, \dots, N_t, \quad (4)$$

$$\mathbf{R}_{RX} = E[(h_p)^H \cdot h_p], \quad \text{для всех } p = 1, \dots, N_r, \quad (5)$$

где  $h^q$  – *q*-я строка матрицы передаточных характеристик канала *H*;  $h_p$  – *p*-й столбец матрицы передаточных характеристик канала *H*; *N<sub>t</sub>* – число передающих антенн; *N<sub>r</sub>* – число приемных антенн.

В рамках данной статьи было произведено построение матриц кроссполяризации при различной величине отношения сигнал/шум (SNR), искажениях канала и коэффициента кроссполяризации (табл. 2).

Коэффициент кроссполяризационной развязки ( $XPR$ ) – это отношение мощности, принятой с ожидаемой поляризацией ( $S_{VH}$  или  $S_{HV}$ ), к мощности, принятой с ортогональной поляризацией ( $S_{VV}$ ,  $S_{HH}$ ):

$$XPR = \frac{S_{VH}}{S_{VV}} = \frac{S_{HV}}{S_{HH}}. \quad (6)$$

Таблица 2

**Результаты построения корреляционных матриц при изменении параметра  $XPR$  и искажениях канала ( $SNR = 13$  дБ)**

| $XPR$ , дБ | Корреляционная матрица |        |        |        | $MER1$ , дБ | $MER2$ , дБ | $N_{ош1}$ | $N_{ош2}$ |
|------------|------------------------|--------|--------|--------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| 40         | 1.0000                 | 0.0263 | 0.0221 | 0.0009 | 17,796      | 17,800      | 0         | 0         |
|            | 0.1058                 | 1.0000 | 0.0035 | 0.0576 |             |             |           |           |
|            | 0.0880                 | 0.0035 | 1.0000 | 0.0766 |             |             |           |           |
|            | 0.0136                 | 0.2234 | 0.2999 | 1.0000 |             |             |           |           |
| 10         | 1.0000                 | 0.0825 | 0.0202 | 0.0018 | 17,703      | 17,545      | 0         | 0         |
|            | 0.2890                 | 1.0000 | 0.0064 | 0.1041 |             |             |           |           |
|            | 0.0695                 | 0.0063 | 1.0000 | 0.1186 |             |             |           |           |
|            | 0.0146                 | 0.2384 | 0.2764 | 1.0000 |             |             |           |           |
| 5          | 1.0000                 | 0.3584 | 0.2798 | 0.1078 | 17,769      | 17,618      | 0         | 0         |
|            | 0.3700                 | 1.0000 | 0.1113 | 0.3519 |             |             |           |           |
|            | 0.3670                 | 0.1414 | 1.0000 | 0.4080 |             |             |           |           |
|            | 0.1254                 | 0.3967 | 0.3620 | 1.0000 |             |             |           |           |

Исходя из результатов моделирования, можно сделать вывод, что величина ошибки модуляции и вероятности битовой ошибки определяется лишь величиной  $SNR$ , а также искажениями канала. Теоретически даже при 100% корреляции каналов, данный метод формирования сигнала позволяет разделить данные от двух независимых каналов связи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рашич А.В. Сети беспроводного доступа WiMAX: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 179 с.
2. IEEE 802.16.1–2012 «IEEE Standard for Wireless Air Interface for Broadband Wireless Access Systems».
3. Майков Д.Ю. Алгоритмы оценки параметров символьной и частотной синхронизации в мобильных OFDM-системах радиосвязи: дис. ... к.т.н. – Томск, 2013. – 133 с.
4. A. van Zelst. MIMO OFDM for Wireless LANs: дис.

## ФОРМИРОВАНИЕ РАЗРЕЖЕННЫХ РЕГУЛЯРНЫХ МАТРИЦ ДЛЯ LDPC-КОДИРОВАНИЯ

*А.С. Дубровский, студент каф. ТОР*

*Научный руководитель Д.А. Покаместов, аспирант каф. ТОР  
Томск, ТУСУР, firelith.dubok@gmail.com*

Код с малой плотностью проверок на чётность – класс помехоустойчивых линейных блочных кодов. Он является одним из самых эффективных на данный момент корректирующих кодов – находится близко к пределу Шеннона (и, как следствие, предоставляет высокую скорость передачи данных с возможностью исправлять ошибки в канале с заданным отношением сигнал/шум). Данный код был предложен Р. Галлагером еще в 1963 г., однако был забыт почти на сорок лет в связи со сложностью реализации алгоритмов декодирования [1].

По определению, сформулированному Галлагером, LDPC – это линейный код, проверочная матрица  $\mathbf{H}$  которого размерностью  $M \times N$  ( $N$  – число битов,  $M$  – число проверок в кодовом слове) содержит  $dc \ll M$  единиц в каждом столбце и  $dr \ll N$  единиц в каждой строке ( $dc$  и  $dr$  – степени битовых и проверочных узлов). При этом распределение единиц по строкам и столбцам в общем случае случайно [2].

LDPC-коды описываются проверочной матрицей с низкой плотностью, содержащей в основном нулевые элементы и относительно малое количество единичных элементов. Одной из основных характеристик матрицы кода с низкой плотностью является отсутствие циклов определённого размера. Например, цикл длины четыре – это существование в проверочной матрице прямоугольника, углами которого являются единичные элементы. Отсутствие такого цикла можно в числе прочего определить посредством скалярного произведения столбцов/строк матрицы. Если последовательное попарное скалярное произведение столбцов/строк матрицы превышает единицу, то в ней присутствуют циклы с длиной четыре [1].

Основные этапы разработки алгоритма кодера:

- 1) построение разреженной матрицы,
- 2) создание алгоритма кодирования,
- 3) создание алгоритма декодирования.

Остановимся подробнее на построении матрицы. Основными ее характеристиками являются: размерность (количество строк и столбцов), вес (количество единичных элементов в строке/столбце), регулярность, отсутствие циклов кратности 4 и уникальность строк / столбцов, что и учитывает данная работа (рис. 1).

Разработка алгоритма создания матриц в свою очередь состоит из следующих этапов:



1) Задание основных характеристик матрицы (размерность, вес) и вспомогательных переменных и констант.

2) Создание основы. В примере в качестве базовой взята матрица с диагональю единичных значений веса 2 и размерностью 5 на 10.

3) Далее матрица достраивается вниз путем случайного перемещения элементов строк/столбцов (в данном случае строк).

4) При создании алгоритма важно помнить, что регулярность, отсутствие циклов кратности 4 и уникальность строк/столбцов являются теми параметрами, не соблюдая которые, кодек будет работать некорректно. Следовательно, в алгоритм создания задающей матрицы должны быть включены все проверки на эти ограничения.

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Рис. 1. Пример разреженной матрицы размерностью 15 строк на 10 столбцов и весом 2

В среде MatLab была проведена симуляция линии связи и кодирование посредством перемножения на эту матрицу. Структурная схема канала связи показана на рис. 2.



Рис. 2. Структурная схема канала связи

Также в симуляции был подсчитан BER (bit error rate), при скорости кодирования 1/2, 3/4 и 8/9 (рис. 3). При подсчете SNR (signal to noise ratio) менялся циклом от  $-10$  до  $10$ . А в связи с тем, что канал

цифровой, то при построении графика использовалось цифровое нормированное значение SNR –  $E_b/N_0$  (отношение энергии бита к спектральной плотности мощности шума  $S/N = E_b/N_0 + 10\lg(R)$ ) [3].

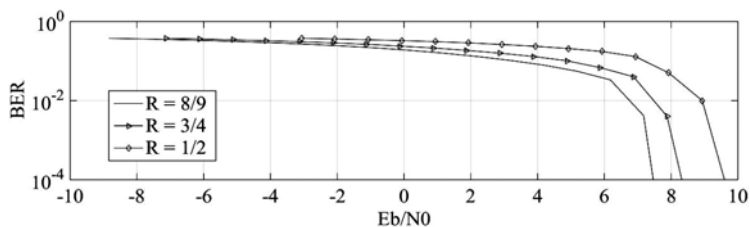


Рис. 3. Графики, показывающие отношение BER к  $E_b/N_0$  при разных скоростях кодирования ( $R$ )

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дворкович В.П., Дворкович А.В. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика). – М.: Техносфера, 2012. – С. 753–767.
2. Gallager R.G. Low Density Parity Check Codes. – Cambridge: M.I.T. Press, 1963. – 90 p.
3. Песков С.Н. Расчет вероятности ошибки в цифровых каналах связи // Теория и практика: проекты. – Телеспутник, ноябрь 2010. – С. 70–75.

## ВЫБОР АЛГОРИТМА ГЕНЕРАЦИИ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДЛЯ ШИФРОВАНИЯ ДАННЫХ НА ФИЗИЧЕСКОМ УРОВНЕ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ С OFDM

**В.В. Ковалев, студент каф. РТФ**

Научный руководитель Д.А. Покаместов, ассистент каф. ТОР  
Томск, ТУСУР, vasya.kowalev@yandex.ru

Обеспечение конфиденциальности и целостности данных является одной из ключевых задач при обмене информацией. Ежедневно пользователи передают по каналу связи такие секретные данные, как пароли, номера банковских карт и т.д. Шифрование только на уровне битов не является полностью безопасным, так как в настоящее время имеются методы для взлома большинства криптографических алгоритмов [1, 2]. Поэтому можно прибегнуть к дополнительной защите информации на физическом (сигнальном) уровне.

После прохождения по каналу связи спектр переданного сигнала искажается из-за многолучевого распространения, поэтому на приёмной стороне используется операция эквалайзирования. Для реализации этой операции к передаваемому сигналу добавляются пилотные

поднесущие. В приёмнике эти поднесущие выделяются, производится процесс интерполяции и находится оценка канала передачи. После этого значения спектральных составляющих принятого сигнала делятся на значения этой оценки, за счёт чего спектр выравнивается и демодуляция производится с меньшими ошибками [3]. Но что, если использовать пилотные поднесущие не только для эквалайзирования, но и для обеспечения защищённой передачи данных? Так, можно расставить эти пилотные поднесущие в спектре псевдослучайным образом, и только тот, кто знает алгоритм их расстановки, сможет правильно восстановить спектр и расшифровать сообщение. В данной статье рассматриваются некоторые алгоритмы генерации псевдослучайных последовательностей для реализации этой идеи.

Ниже будут рассмотрены по возрастанию криптографической стойкости некоторые известные алгоритмы, такие как линейный конгруэнтный метод,  $M$ -последовательность, вихрь Мерсенна и алгоритм Блюм–Блюма–Шуба.

Линейный конгруэнтный метод является наиболее простым в реализации, однако он не обладает криптографической стойкостью [4]. При его использовании в спектре сигнала легко будут обнаруживаться закономерности, поэтому для нашей задачи он не подходит. Обычно используется в качестве генератора ПСП при моделировании, в частотности, данный алгоритм применяется в компиляторах C/C++, Java и др.

Генератор ПСП с использованием  $M$ -последовательности (последовательности максимальной длины) является одним из самых распространённых в сетях передачи информации. Он используется для кодирования сигналов базовых и мобильных станций, для скремблирования и т.д. [5]. Период повторения генератора ПСП будет равен  $2^N - 1$ , где  $N$  – порядок генератора (обычно  $N$  равно нескольким десяткам). Но, несмотря на это, данный алгоритм не является криптографически стойким – для его взлома используется алгоритм Берлекэмп–Мэсси, причём для этого необходимо иметь сгенерированную последовательность длиной не более  $2N$  [6].

Вихрь Мерсенна лишён таких недостатков, как малый период повторения, предсказуемость и легко выявляемые статистические закономерности. Этот метод основан на использовании сдвигового регистра с линейной обратной связью. Регистр состоит из 624 элементов по 32 бита в каждом. Генерация битовой последовательности подробно описана в источнике [7].

Наиболее распространённой реализацией этого алгоритма является MT19937. Период повторения такого генератора составляет

$2^{19937} - 1$ , что является важным достоинством и позволяет генерировать ПСП с очень хорошими статистическими свойствами. Другим достоинством является высокая скорость работы. Однако этот алгоритм также не является криптографически стойким. Его можно было бы использовать, так как защита происходит на физическом уровне, и уловить закономерности в спектре с таким периодом повторения будет крайне сложно. Однако его реализовать сложнее, нежели следующий алгоритм. Вихрь Мерсенна используется по умолчанию в пакете прикладных программ Matlab с версии 7.4 [8].

Алгоритм Блум–Блюма–Шуба, в отличие от рассмотренных ранее методов является криптографически стойким и сложен для взлома даже при современном оборудовании. Криптографическая стойкость данного алгоритма основывается на проблеме факторизации больших чисел (поиска множителей по произведению) [9]. Это одна из причин выбора этого алгоритма. Другая причина заключается в том, что его реализация довольно простая и по сложности напоминает реализацию линейного конгруэнтного метода с небольшими, но важными особенностями. Поэтому при выборе между вихрем Мерсенна и этим алгоритмом был выбран именно последний вариант.

Таким образом, для решения поставленной задачи наилучшим вариантом генератора ПСП будет являться алгоритм Блум–Блюма–Шуба, так как он обладает криптографической стойкостью, высокой скоростью работы, простотой реализации и изменением параметров. Таким образом, эквалайзирование по псевдослучайно расположенным пилотам помогает существенно увеличить защищённость передаваемой информации и может применяться в системах специальной связи и системах связи следующего поколения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Goldberg I., Wagner D.* Randomness and the Netscape browser // Dr. Dobb's Journal-Software Tools for the Professional Programmer. – 1996. – Vol. 21, № 1. – PP. 66–71.
2. *Microsoft* confirms that XP contains random number generator bug [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.computerworld.com/article/2539986/security0/microsoft-confirms-that-xp-contains-random-number-generator-bug.html> (дата обращения: 28.02.2017).
3. *Ковалев В.В., Покаместов Д.А.* Использование эквалайзирования для борьбы с многолучевым распространением // Science Time. – 2016. – № 7. – С. 104–112.
4. *Li C.C., Sun B.* Using Linear Congruential Generators for Cryptographic Purposes // Computers and Their Applications. – 2005. – PP. 13–19.
5. *Рашич А.В.* Сети беспроводного доступа WiMAX: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 179 с.

6. Алферов А.П. и др. Основы криптографии: учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Гелиос АРВ, 2002. – 480 с.
7. Saito M., Matsumoto M. Simd-oriented fast mersenne twister: a 128-bit pseudorandom number generator // Monte Carlo and Quasi-Monte Carlo Methods 2006. – Springer Berlin Heidelberg, 2008. – PP. 607–622.
8. Moler C.B. Numerical computing with MATLAB. Society for Industrial and Applied Mathematics. – Philadelphia, 2004.
9. Blum L., Blum M., Shub M. A simple unpredictable pseudo-random number generator // SIAM Journal on computing. – 1986. – Vol. 15, №. 2. – PP. 364–383.

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ВЫПОЛНЕНИЯ ПОЛЁТОВ В ВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ С ТРЕБУЕМЫМИ НАВИГАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

***В.В. Маркелов, А.В. Гурьянов, А.В. Шукалов, И.О. Жаринов,  
М.О. Костишин, В.А. Нечаев***

*Санкт-Петербург, университет ИТМО,  
АО «ОКБ «Электроавтоматика», vvmarkelov@gmail.com*

При выполнении полётов по маршрутам зональной навигации воздушными судами, оборудованными пилотажно-навигационными комплексами, не адаптированными под выполнение функций полёта по международным воздушным трассам, возникает проблема в определении критериев допуска к полётам в районе с заданными характеристиками RNP. RNP в целом определяется как уровень точности навигации, требуемый для поддержания в рамках заданного воздушного пространства.

Международной организацией гражданской авиации определена концепция требуемых навигационных характеристик RNP, включающая в себя формализацию требований к навигационным характеристикам, которым должно удовлетворять воздушное судно в пределах некоторого района воздушного пространства в течение как минимум 95% времени полета. Навигационной спецификацией RNP определяются требования к навигационной системе, выполнение которых означает готовность воздушного судна к выполнению полётов в воздушном пространстве с заданными точностными характеристиками [1].

В качестве одного из подходов к решению проблемы допуска воздушных судов, не оборудованных сертифицированными пилотажно-навигационными комплексами, в воздушное пространство с заданными характеристиками RNP предложен вариант оценки погрешности определения текущего местоположения исходя из режима работы на-

вигационного комплекса и набора функционирующих датчиков воздушного судна. Результаты оценки выводятся на индикацию в информационное поле кабины экипажа. Соответствие оценки текущего местоположения заданной характеристике RNP может быть принято экипажем в качестве критерия, определяющего возможность выполнения воздушным судном полёта по выбранному маршруту зональной навигации.

Погрешность определения текущего местоположения оценивается исходя из точностных характеристик навигационного оборудования и датчиков, а также режимов работы навигационного комплекса воздушного судна. В качестве типового варианта рассмотрен бортовой комплекс, включающий в себя инерциальную навигационную систему, систему спутниковой навигации и радионавигационную систему, обеспечивающую коррекцию по двум дальномерным радиомаякам типа DME-DME и азимутально-дальномерным радиомаякам типа VOR-DME.

Прогнозируемая точность измерения местоположения спутниковой навигационной системой ГЛОНАСС или GPS в горизонтальной плоскости без использования системы функционального дополнения с вероятностью 95% ( $2\sigma$ ) определяется в виде фиксированной величины 40–70 м. Что соответствует среднестатистическим условиям эксплуатации [2].

Прогнозируемая точность определения местоположения по измерениям от двух дальномерных радиомаяков определяется формулой

$$\sigma = \frac{\sqrt{(\sigma_{SDME1}^2 + \sigma_{ADME1}^2) + (\sigma_{SDME2}^2 + \sigma_{ADME2}^2)}}{\sin \alpha},$$

где  $\sigma_{SDME}$  – постоянная составляющая ошибки измерения дальности, имеющая значение в диапазоне 0,25...0,46 км;  $\sigma_{ADME}$  – медленноменяющаяся составляющая ошибки измерения дальности в диапазоне 0,02...0,125% от расстояния до радиомаяка;  $\alpha$  – азимутальный угол между радиомаяками коррекции; индексы 1 и 2 определяют соответственно параметры первого и второго радиомаяка [1].

Прогнозируемая точность определения местоположения по измерениям от азимутально-дальномерного радиомаяка определяется формулой

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{SDME}^2 + \sigma_{ADME}^2) + \sigma_{AVOR}^2},$$

где  $\sigma_{AVOR}$  – азимутальная составляющая ошибки, определяемая ошибкой измерения азимута радиомаяка, составляющей 0,25... 2,25°;

$\sigma_{S\ DME}$ ,  $\sigma_{A\ DME}$  – постоянная и медленноменяющаяся составляющие ошибки измерения дальности радиомаяка, описанные выше [1].

Точность определения местоположения по информации инерциальной навигационной системы в отличие от точности, обеспечиваемой средствами коррекции, имеет нелинейный характер, зависящий от продолжительности работы инерциальной системы без коррекции, начальных условий и совокупностей погрешностей входящих в систему устройств и датчиков. Определение показателей точности инерциальной системы с вероятностью 0,95 обеспечивается, как правило, статистическим анализом её функционирования. В результате погрешность приобретает линейный вид с показателем, характеризующим ухудшение точности по времени. В зависимости от типа и характеристик бортовой инерциальной системы показатель точности определяется в диапазоне 1,8...6,0 км за час полёта ( $2\sigma$ ).

Таким образом, погрешность определения текущего местоположения для воздушного судна, оборудованного представленным типовым навигационным комплексом, рассчитывается как

$$\sigma = 2 \times (\sigma_{\text{корр}} + e \times \sigma_{\text{инс}}),$$

где  $\sigma_{\text{корр}}$  – точность определения местоположения по информации корректора (системы спутниковой навигации или радионавигационной системы) при последней или текущей коррекции;  $\sigma_{\text{инс}}$  – показатель точности инерциальной навигационной системы;  $t$  – время работы инерциальной навигационной системы без корректора.

Необходимо также отметить, что выбор средств коррекции и формирование признака коррекции осуществляются навигационным комплексом путём оценки навигационных параметров, параметров и состояния корректоров.

Рассчитываемая постоянно в полёте погрешность определения местоположения воздушного судна выводится на индикацию в кабине экипажа.

Наличие расчётной оценки местоположения призвано обеспечить информационную поддержку экипажа в части определения способности воздушного судна к выдерживанию требуемых показателей при полётах в воздушном пространстве с требуемыми навигационными характеристиками. Вместе с тем данная оценка местоположения, в частности при выполнении полётов или посадки в условиях ограниченной видимости, способна информировать экипаж о возможном удалении воздушного судна от заданного маршрута и траектории полёта, что в целом обеспечивает дополнительную ситуационную осведомлённость.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Doc 8168*. Производство полетов воздушных судов. – Т. 2: Построение схем визуальных полетов и полетов по приборам. – 6-е изд. – Монреаль, ИКАО, 2014. – 940 с.
2. *Приложение 10* к Конвенции о международной гражданской авиации / Авиационная электросвязь. – Т. 1: Радионавигационные средства. – Монреаль: ИКАО, 2006. – 608 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ PLC-КАНАЛА

**Э.М. Дмитриев, А.К. Мовчан, магистранты каф. ТОР**

*Научный руководитель Е.В. Рогожников, доцент каф. ТОР, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, mr.movchann@mail.ru*

PLC – телекоммуникационная технология, основанная на использовании в качестве физической среды для обмена информацией силовых электросетей [1].

Сложность организации связи по силовым электросетям заключается в высоком уровне помех, значительном затухании сигнала и непостоянстве характеристик канала с течением времени.

Помехи в канале PLC представлены не только белым гауссовским шумом [2], но и узкополосными и импульсными помехами. Узкополосная помеха в канале возникает в результате работы различных электроприборов, подключенных к сети. Импульсная помеха обусловлена возникающими переходными процессами при работе электроприборов, а также при их включении или отключении от сети электроснабжения.

Значительное затухание полезного сигнала связано с рядом причин: изначальная непредназначенность электросети для передачи высокочастотного сигнала, низкое качество технического исполнения электросетей, подавление ВЧ-сигнала электроприборами.

Целью данного исследования является изучение PLC-канала, получение его основных характеристик, а также рассмотрение помеховой обстановки в среде распространения сигнала.

Для измерения характеристик канала PLC в рамках данного исследования был создан испытательный стенд, структурная схема которого представлена на рис. 1.

В качестве формирователя сигнала использовалась ПЛИС Altera Cyclone V и ЦАП AD9767. Обработка результатов измерений осуществлялась на персональном компьютере в среде MatLab [3]. Для исследования передаточной характеристики канала PLC был сформирован широкополосный OFDM-символ с полосой 20 МГц и количеством



поднесущих, равным 200. Расстояние между поднесущими составляло 10 кГц. На рис. 2 представлена передаточная характеристика PLC-канала в полосе от 2 до 22 МГц.



Рис. 1. Структурная схема макета для исследования

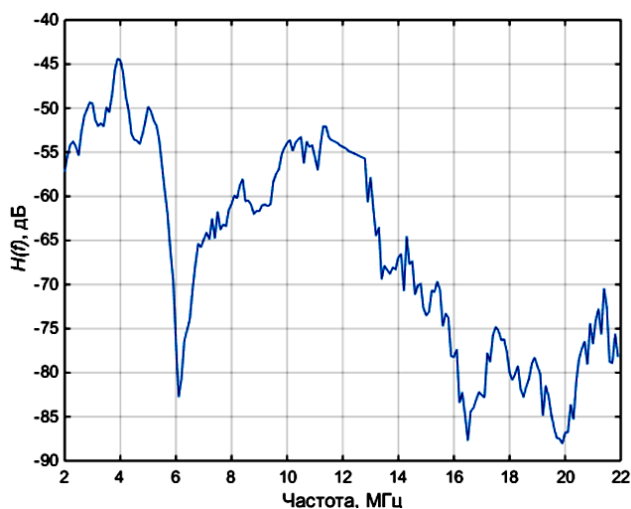


Рис. 2. Передаточная характеристика канала PLC

Полученная передаточная характеристика имеет волнообразную форму с неравномерностью до 10 дБ. Наблюдаются частотно-селективные затухания до 85 дБ. Наиболее благоприятные участки по наименьшему затуханию в диапазонах (2,5–5) и (10–13) МГц. Наибольшая равномерность в указанных участках наблюдается в диапазоне от 10 до 13 МГц.

Помеховая обстановка в канале была зафиксирована путем подключения анализатора спектра через цепь развязки и защиты непосредственно в электросеть. На рис. 3 представлен амплитудный спектр помех в полосе до 1 МГц. Максимальный уровень помехи сосредоточен в низкочастотной области и имеет значение –30 дБ. На

частотах выше 100 кГц наблюдается значительное уменьшение уровня помех.

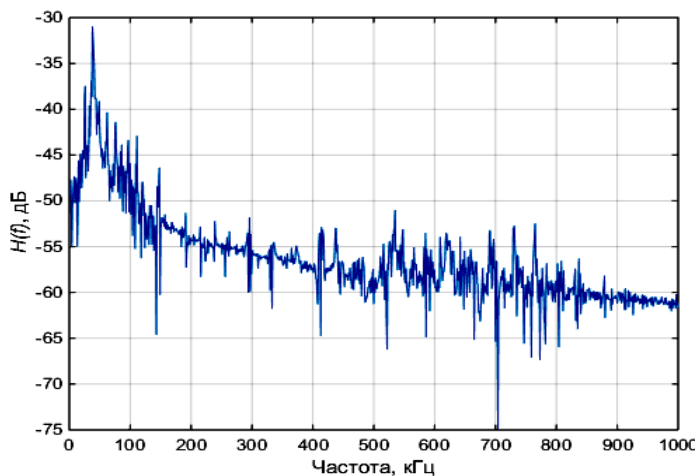


Рис. 3. Амплитудный спектр помех в канале PLC

Исходя из полученных данных, можно сделать следующие выводы: канал PLC является неблагоприятной средой для распространения высокочастотного сигнала, несмотря на это, при оптимальном выборе частотного диапазона для передачи информации с учетом помеховой обстановки в канале возможно организовать низкоскоростную передачу информации, а при использовании специальных методов обработки и формировании сигналов – надежную высокоскоростную связь.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Охременко В.* PLC-технологии. – Ч. 1: Электронные компоненты. – 2009. – №10. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.tetraelectronics.ru/images/notes/EK2009\\_10\\_3.pdf](https://www.tetraelectronics.ru/images/notes/EK2009_10_3.pdf), свободный (дата обращения: 28.02.20017).
2. *Гоноровский И.С.* Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.
3. *Дьяконов В.П.* MATLAB R2007/2008/2009 для радиоинженеров. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 976 с.

## РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SDR-ПЛАТФОРМЫ

**Б.Е. Мыктыбаев, А.Б. Жанбеков, магистранты каф. ТОР**

*Научный руководитель Е.В. Рогожников, доцент каф. ТОР, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, evasion1992@gmail.com*

Программно-определяемая радиосистема (Software-defined radio, SDR) – радиопередатчик и/или радиоприемник, использующий технологию, позволяющую с помощью программного обеспечения устанавливать или изменять рабочие радиочастотные параметры, включая, в частности, диапазон частот, тип модуляции или выходную мощность [1].

В настоящее время применение технологии SDR является актуальным направлением для изучения и разработки радиотехнического оборудования. USRP (Universal Software Radio Peripheral – программно-определяемая радиоплатформа) – это одна из наиболее распространенных и функциональных платформ SDR, разработанная компанией National Instruments, которая представляет собой реконфигурируемый высокочастотный приемопередатчик для разработки систем связи, а также в целях образования и исследований в области телекоммуникаций.

Радиоплатформа NI USRP предоставляет возможность проводить эксперименты, создавать прототипы. Разработка прототипов является одной из лучших форм обучения, это позволяет сравнивать экспериментальные результаты с реальными данными, что способствует лучшему пониманию принципов работы радиотехнического оборудования и стандартов связи. На базе USRP 2953R нами был разработан стенд для исследования радиосигналов в программной среде LabView 2016 с использованием дополнительного модуля от Matlab (рис. 1).



Рис. 1. Радиоплатформа USRP 2953R

Диапазон частот USRP 2953R от 1,2 до 6 ГГц, эта модель обеспечивает интегрированное аппаратное и программное решение для быстрого создания прототипов систем беспроводной связи, с высокой

производительностью. USRP открывает возможности для исследования следующих технологий: (MIMO); Full Duplex, синхронизация гетерогенных сетей; LTE и т.д.

На рис. 2 показана структурная схема разработанного нами OFDM трансивера. Сигнал формируется с помощью программного кода в среде Matlab (область, помеченная на рисунке овалом под цифрой 1), затем сигнал записывается в буфер USRP, после чего происходит цифровая обработка сигнала (область под цифрой 2). Прием и дальнейшая обработка сигнала происходят в области 3.

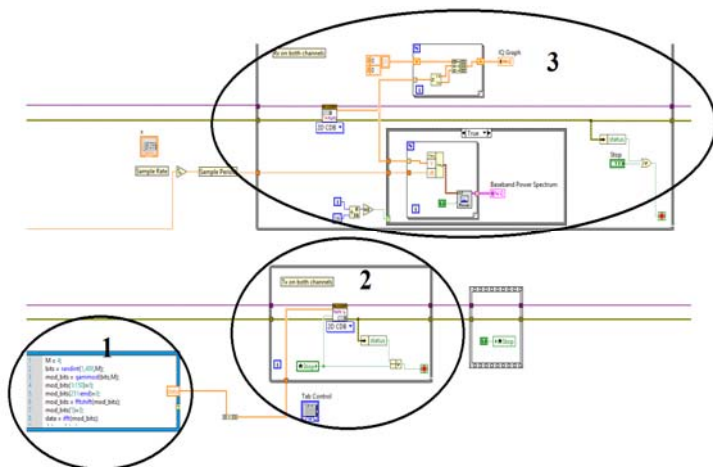


Рис. 2. Структурная схема OFDM-трансивера на базе USRP 2953R

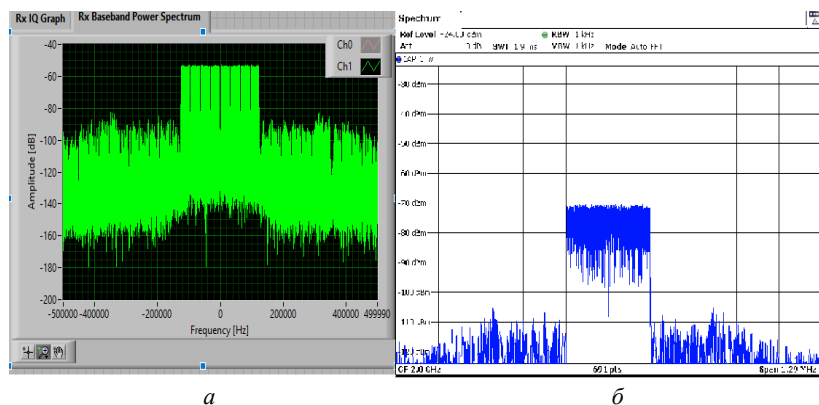


Рис. 3. Спектр сигнала: *а* – полученный в программной среде LabView и *б* – полученный спектроанализатором Rohde & Schwarz)

Генерируемый стандом OFDM-сигнал был обработан и построен спектр в программной среде LabView 2016 (рис. 3, а), а также для дополнительного подтверждения результата спектр был получен при помощи спектроанализатора Rohde & Schwarz.

**Заключение.** Применение технологии SDR является перспективной областью для изучения. Разработчики систем связей могут использовать эту технологию для быстрого создания прототипов беспроводных телекоммуникационных систем и тестировать их в реальных условиях, что мы и сделали на примере своего станда OFDM-трансивера, который работает в диапазоне 1,2–6 ГГц с шириной полосы пропускания до 40 МГц. USRP является одной из лучших платформ для исследований в учебных заведениях и даже в промышленности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Википедия* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Программно-определяемая\\_радиосистема](https://ru.wikipedia.org/wiki/Программно-определяемая_радиосистема) (дата обращения: 28.02.17).
2. *National Instruments* представляет USRP RIO – новое поколение платформы прототипирования беспроводных устройств [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ni.com/newsroom/release/national-instruments-introduces-usrp-rio-next-generation-wireless-prototyping-platform/ru/> (дата обращения: 28.02.17).

### СИСТЕМА БЕСКОНТАКТНОЙ ОПЛАТЫ ПРОЕЗДА В ОБЩЕСТВЕННОМ ТРАНСПОРТЕ С ФУНКЦИЕЙ СБОРА СТАТИСТИКИ

***С.Ю. Прокопюк, Д.И. Россамахин***

*Научный руководитель А.А. Друки, ст. преп. каф. ИСТ  
Томск, НИИ ТПУ, ИК, ВТ, jedi4334@gmail.com*

В данной статье представлено описание разрабатываемой системы, рассмотрены предпосылки для разработки и внедрения данной системы, рассмотрена актуальность, представлено описание работы устройства.

На текущий момент в связи с усовершенствованием технологий, в частности беспроводных, особенно актуальным является их внедрение и применение в обычной жизни. В городах с относительно слабым уровнем развития инфраструктуры существует много проблем, связанных с предоставлением различных услуг, в том числе и транспортных. Так, с постоянным увеличением пассажиропотока существует проблема отсутствия кондукторов в автобусах, обусловленная

низкой заработной платой [1] и многими другими проблемами [2]. В связи с этим водитель, вынужденный брать на себя функцию кондуктора, подвергает риску не только себя, но и других участников дорожного движения, отвлекаясь на выдачу проездных билетов пассажирам.

Решением этих и многих других проблем, связанных с общественным транспортом, может стать система бесконтактной оплаты проезда и сбора статистики. В систему бесконтактной оплаты проезда входит:

- карта бесконтактной оплаты;
- считыватель;
- блок обработки/передачи данных;
- система индикации и подсчета пассажиров.

Объектом разработки и исследования является система бесконтактной оплаты проезда в общественном транспорте и сбор данных о пассажиропотоке для последующего анализа.

#### **Принцип работы системы**

Работа устройства как терминала:

- каждый пользователь системы получает карту, на которой есть определенное количество поездок;
- в транспортное средство на вход ставится устройство считывания;
- при взаимодействии устройства считывания с картой происходит автоматическое считывание информации, а также внесение на карту новой информации;
- система индикации извещает водителя о состоянии системы (активность, количество людей в автобусе и т.д.).

Работа устройства как система анализа пассажиропотока:

- с каждого устройства считывания (терминальной системы автобуса) происходит сбор информации по пассажиропотоку;
- каждый проход через систему фиксируется устройством, после чего посредством GSM-сети отправляется на сервер;
- на сервере происходит обработка данных и составление общей статистики, такой как пассажиропоток в определённый период времени на определенном маршруте.

Исследования существующих аналогов и технических решений выявили несколько основных крупных систем: Тройка (Москва), Екарта (Екатеринбург), Стрелка (Московская область). По результатам были выявлены преимущества, заимствованные в описываемой системе, и недостатки, которые были устранены в процессе разработки.

Новизной данного проекта является отсутствие подобных систем в близлежащих городах, отсутствие турникетной системы пропуска, а

также автоматизированность сбора данных и анализ полученных данных.

Областью применения являются маршруты общественного транспорта, муниципальный транспорт, пригородные маршруты, трамваи, троллейбусы и т.д.

По результатам исследований были выявлены недостатки существующих систем, составлена модель разрабатываемой системы, ведется разработка аппаратной части системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Новости* в Томске: перевозчики не могут найти кондукторов для работы в маршрутках [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://news.vtomske.ru/news/135909-zammera-tomska-perevozhchiki-ne-mogut-naiti-konduktorov-dlya-raboty-v-marshrutkah> (дата обращения: 28.02.2017).

2. *TOMSK.RU* городской портал: Власти: томичи не хотят работать кондукторами из-за камер в маршрутках [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tomsk.ru/news/view/121578> (дата обращения: 28.02.2017).

### СИНХРОНИЗАЦИЯ И ЭКВАЛИЗИРОВАНИЕ В FBMC

***В.Е. Шакмарёва, Е.А. Уварова, студентки***

*Научный руководитель Р.Р. Абенов, аспирант каф. ТОР  
Томск, ТУСУР, uvarova\_ekaterina93@rambler.ru*

Передача на множестве несущих с использованием банка фильтра наряду с квадратурной амплитудной манипуляцией со смещением (FBMC-OQAM) рассматривается как многообещающая альтернатива стандартному методу ортогонального мультиплексирования с частотным разделением (OFDM) и активно исследуется в рамках применения в системах мобильной связи пятого поколения.

По сравнению со стандартной схемой ортогонального частотного мультиплексирования с циклическим префиксом (CP-OFDM) FBMC/OQAM обеспечивает более высокую спектральную эффективность без использования циклического префикса (ЦП) и очень низкий уровень внеполосного излучения при использовании соответствующего фильтра-прототипа. Однако в данной системе имеются проблемы оценки канала вследствие наличия в мнимой части сигнала так называемой внутренней интерференции. Из-за особенностей формирования сигнала условие ортогональности выполняется только в реальной части. В данной работе описаны краткое представление ошибки синхронизации, а также методы оценки канала системы FBMC/OQAM с применением пилотных сигналов [1].

Как и все остальные схемы модуляции с множеством несущих, система FBMC-OQAM в целом более чувствительна к ошибкам синхронизации, чем системы с модуляцией на одной несущей. Несмотря на преимущество удачного расположения фильтров, смещение по времени и смещение несущей частоты (CFO) крайне важны по отношению к производительности системы FBMC-OQAM [2]. Благодаря высокой частотной избирательности, система FBMC-OQAM более устойчива к ошибкам синхронизации, чем мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM). Отсюда следует, что тип фильтра влияет на устойчивость синхронизации. В системе FBMC-OQAM фильтр-прототип разработан таким образом, чтобы обеспечить устойчивость системы к разбросу задержки в канале и уменьшить внеполосное излучение. Типичный фильтр, используемый в системе FBMC-OQAM, это фильтр-прототип PHYDYAS [2].

Для решения проблемы внутренней интерференции между четными и нечетными символами необходимо обеспечить ортогональность между фильтрами для соответствующих символов [3] (рис. 1).

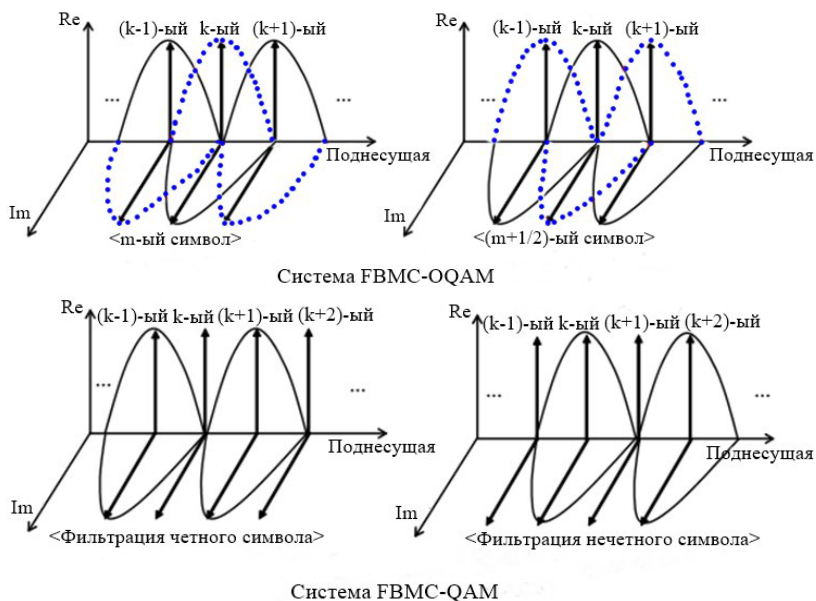


Рис. 1. Система FBMC-OQAM и FBMC-QAM

В данное время предложено множество методов борьбы с проблемой оценки канала. Известны такие методы, как AP (Auxiliary Pi-



lot), DS (Data Spreading), POP (Pairs of Pilots), PC (Pilot Clustering) и др. Рассмотрим более подробно метод с использованием добавочных пилотов (AP) [4]. Схема AP обеспечивает более высокую производительность и высокую спектральную эффективность. В общем виде оценка канала с добавлением пилотов в системе FBMC/OQAM аналогична CP-OFDM. На рис. 2 представлена краткая блок-схема для FBMC / OQAM [1].

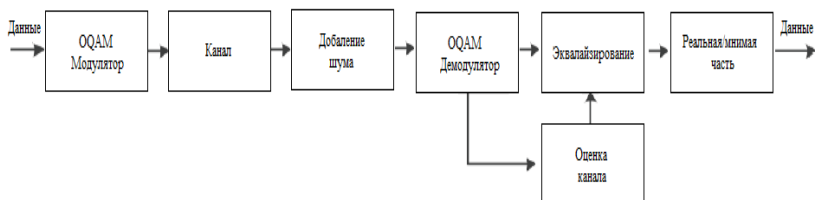


Рис. 2. Блок-схема с оценкой канала для FBMC/OQAM

Оценка канала осуществляется в два основных этапа. Первым шагом выполняется оценка коэффициентов передачи в канале в местах расположения пилот-сигналов. Вторым шагом проводится интерполяция оцененных коэффициентов по всему символу. Проблема заключается в том, что условие ортогональности соблюдается только между поднесущими реальной части. Принятый сигнал содержит в себе также мнимую часть, которая вызвана внутренней интерференцией. Она искажает оцениваемый коэффициент передачи в канале, поэтому стандартный эквалайзер OFDM в данном случае неприменим.

Метод с использованием добавочного пилота (AP) предлагает устранение внутренней интерференции в системе FBMC/OQAM следующим образом. Принятый пилотный сигнал состоит из двух основных частей – информационная часть и помеха. Принцип метода AP заключается в том, что нужно выбрать положение дополнительного пилота и подобрать его значение так, чтобы часть с помехой обращалась в ноль.

Метод AP устраняет внутреннюю интерференцию без потерь поднесущих. Этот метод требует больших вычислительных затрат из-за расчета дополнительного пилота. Кроме того, схему AP нельзя применять, если пилотные символы находятся близко друг к другу. В этом случае дополнительный пилот может быть в окне расчета другого дополнительного пилота, а это приведет к рекурсивному расчету [1].

В настоящее время разрабатываются новые методы оценки канала. Также необходим более точный и надежный метод синхронизации.

Сейчас над проектом 5G работают такие известные программы, как 5G NOW, METIS, Phydya и т.д. Главной целью проекта является увеличение скорости передачи данных и увеличение объема передаваемой информации в сетях пятого поколения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. He X., Zhao Z., Zhang H. A pilot-aided channel estimation method for FBMC/OQAM communications system // Communications and Information Technologies (ISCIT), 2012 International Symposium on. IEEE. – 2012. – PP. 175–180.
2. Bellanger M. et al. FBMC physical layer: a primer // PHYDYAS, January? 2010.
3. Fusco T., Petrella A. and Tanda M. Data-aided symbol timing and cfo synchronization for filter bank multicarrier systems // IEEE Transactions on Wireless Communications. – May 2009. – Vol. 8, no. 5. – PP. 2705–2715.
4. Fuhrwerk M. S., Moghaddamnia S., Peissig J. Scattered Pilot based Channel Estimation for Channel Adaptive FBMC-OQAM Systems // IEEE Transactions on Wireless Communications. – 2017.

#### РЕГИСТРАЦИЯ УТЕЧКИ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ

**П.С. Мальцев, студент каф. ТОР**

*Научный руководитель А.В. Пуговкин, проф. каф. ТОР, д.т.н.  
Томск, ТУСУР, alfa4des@gmail.com*

В настоящее время имеется целый ряд проблем, связанных с контролем и обнаружением утечек газа в соответствующих сферах. Сейчас большое распространение получают автоматические системы обнаружения утечек, которые позволяют быстро обнаружить факт и место утечки, что приводит к оперативному устранению утечки и как следствие к значительному уменьшению экологического ущерба, а также к минимальному застою газопровода [1]. В основе систем лежат различные параметры и методы обнаружения утечки. Еще не используемым вариантом является метод, основанный на решении системы уравнений теплопроводности газов.

В основе метода лежит математическая модель, созданная с помощью дифференциальных балансных уравнений. Зависимыми переменными для составления баланса являются тепловые энергии – подведенная и рассеянная.

Уравнение изменения тепловой энергии нагревательного элемента имеет вид [2]

$$\frac{dQ_{\text{ист}}}{dt} = P_{\text{эл}} - G_{\text{ист}}(T_{\text{ист}} - T_{\text{газ}}),$$

где  $G_{\text{ист}}$  – коэффициент теплоотдачи нагревательного элемента, Вт/°С;  $T_{\text{ист}}$  – температура нагревательного элемента, °С;  $P_{\text{эл}}$  – мощность, Вт;  $G_{\text{газа}}$  – температура газа, °С.

Аналогичный вид имеет уравнение изменения тепловой энергии газа:

$$\frac{dQ_{\text{газа}}}{dt} = G_{\text{ист}}(T_{\text{ист}} - T_{\text{газа}}) - G_{\text{внеш}}(T_{\text{газа}} - T_{\text{внеш}}),$$

где  $G_{\text{внеш}}$  – коэффициент теплопередачи во внешнюю среду, Вт/°С;  $T_{\text{внеш}}$  – температура внешней среды, °С.

Промоделировав систему уравнений, описывающую поведение температур, мы получили зависимости, показанные на рис. 1 и 2.

$$\begin{cases} \frac{dT_{\text{ист}}}{dt} = \frac{P_{\text{эл}} - G_{\text{ист}}(T_{\text{ист}} - T_{\text{газа}})}{G_{\text{ист}}}, \\ \frac{dT_{\text{газа}}}{dt} = \frac{G_{\text{ист}}(T_{\text{ист}} - T_{\text{газа}}) - G_{\text{внеш}}(T_{\text{газа}} - T_{\text{внеш}})}{G_{\text{газа}}}. \end{cases}$$

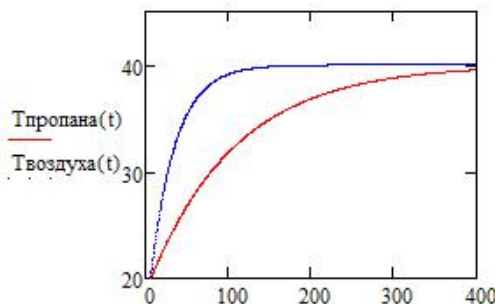


Рис. 1. Процесс нагревания газов

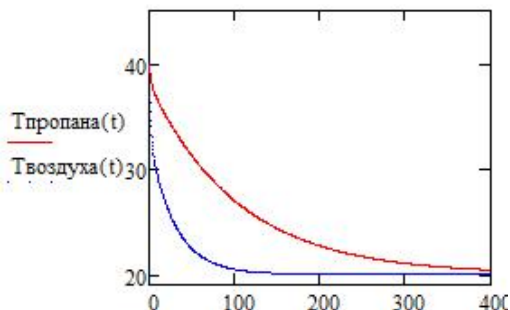


Рис. 2. Процесс охлаждения газов

Данные зависимости показывают, что пропан и воздух имеют значительно разные скорости нагревания и охлаждения при одинаковых условиях. Для данной математической модели был сделан прото-

тип экспериментальной установки, который включает в себя изолированный полипропиленовый стакан диаметром 5 и длиной 5 см, который имеет отверстие для забора газа. Внутри стакана помещен нагревательный элемент – нихромовая проволока длиной 20, диаметром 0,2 мм и с удельным сопротивлением, также внутри стакана находится измеритель температуры. В качестве измерителя мы используем термодатчик, так как это довольно простое, точное, надежное устройство. Микроконтроллер при этом может обеспечивать хранение измеренных данных, их обработку и дальнейшую транспортировку.

**Анализ полученных результатов.** Данный метод можно использовать как принцип для создания автоматизированной системы обнаружения утечек. Для реализации беспроводной установки можно оснастить его батарейным питанием и подключить к микроконтроллеру приёмопередатчик субгигагерцевого диапазона [3]. Установка при этом будет передавать данные на радиомодем, оснащённый таким же приёмопередатчиком, который может осуществлять приём сразу с нескольких установок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мишкин Г.Б. Краткий обзор систем обнаружения утечек российских производителей // Молодой ученый. – 2011. – №2, т. 1. – С. 41–47.
2. Пуговкин А.В., Муслимова Н.И., Купреков С.В. Автоматизация мониторинга и управления теплоснабжением зданий и помещений. – Томск: Том. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2013. – 291 с.
3. Беспроводные коммуникации «умного дома» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/171613>

## **ПОДСЕКЦИЯ 1.7**

### **РОБОТОТЕХНИКА**

*Председатель секции – **Шурыгин Ю.А.**, первый проректор,  
зав. каф. КСУП, д.т.н., проф.;*  
*зам. председателя – **Коцубинский В.П.**, доцент каф. КСУП, к.т.н.*

#### **ROADBOT – РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕМОНТА ДОРОЖНЫХ ЯМ**

**И.В. Васильев, студент ФИТ ТУСУРа;**  
**В.А. Рачис, К.А. Стряпчев, Е.С. Королюк, студенты ТПУ**  
*Научный руководитель Н.А. Алексеевич,  
магистр Института кибернетики ТПУ  
Томск, vlnnmt@mail.ru*

Работа посвящена созданию нового робототехнического комплекса, не имеющего на сегодняшний день аналогов в мире, способного к автоматизированному и самостоятельному ремонту дорожного полотна.

RoadBot – робототехнический комплекс, автоматизированный ремонт дорог, российская разработка, межвузовский (ТПУ, ТУСУР) студенческий научный проект.

Ни для кого не секрет, что дороги в России далеко не на высшем уровне. Российские дороги в 2016 г. заняли 123-е место в мировом рейтинге из 140, получив 2,7 балла из 7 [1].

Существует огромное количество ям не более  $10 \times 10$  см<sup>2</sup>. Для ремонта таких ям в Европе и Америке уже давно используется струйно-инъекционный метод ямочного ремонта, однако в России он только начал применяться.

Мы предлагаем решение данной проблемы. Наша идея заключается в создании робототехнической мобильной платформы, способной к автоматизированному ремонту дорожного полотна, в частности ям, при помощи струйно-инъекционного метода [2].

Первоначально планируется разработать презентационную модель комплекса, которая будет отражать технологию автоматизированного ремонта дорожного покрытия (рис. 1, 2).

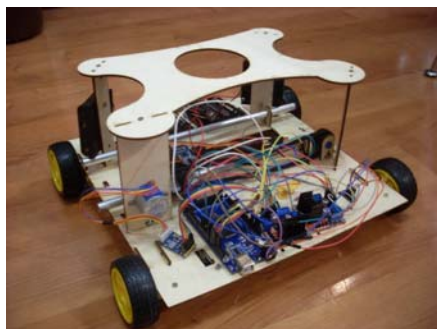


Рис. 1. Фотография прототипа №1

Вторым шагом станет создание первого прототипа робототехнического комплекса, итогом которого станут испытания в лабораторных условиях на настоящем асфальте, без участия других автотранспортных средств.



Рис. 2. Лабораторный прототип №2 «RoadBot»

Третьим шагом будет испытание комплекса на реальной дороге с участием других автомобилей под контролем разработчиков.

Четвертым шагом будет контроль и наблюдение над работой комплекса в реальных условиях в ночное время суток с участием автотранспортных средств.

В заключение необходимо отметить, что в данный момент закончены работы по прототипу №1 и ведется работа над лабораторным прототипом:

- отлаживается электроника робота;
- ведется разработка системы технического зрения;
- проектируются корпус робота и детали мехатронных модулей;
- разрабатываются алгоритмы для системы управления роботом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Какая страна по качеству дорог в рейтинге Всемирного экономического форума занимает 1-е место? // Автомобильные дороги. – URL: <http://tomnosti.info/dorogi-kak-i-pochemu-2/rejting-kachestva-dorog-rossii.shtml> (дата обращения: 04.10.2016).*
2. *Струйно-инъекционный метод ямочного ремонта / Сибинвестстрой. – URL: <http://drimstroy.ru/stati-o-stroitelstve/dorog/29-struyno-inekcionnyy-metod-yamochnogo-remonta.html> (дата обращения: 04.10.2016).*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАБОРА LEGO MINDSTORMS 9797 ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ «ЦВЕТНАЯ СОРТИРОВКА»

*А.Е. Дорожкин, МАОУ СОШ №14;*

*Е.П. Дорожкин, А.А. Изюмов, инж. каф. КСУП*

*Научный руководитель В.П. Коцубинский, доцент каф. КСУП, к.т.н.  
Томск, ТУСУР, [dep@mail.tomsknet.ru](mailto:dep@mail.tomsknet.ru)*

Зародившись в середине XX в., понятие «робот» к началу XXI в. прочно вошло в обиходную речь обывателей, перестав восприниматься как футуристическая фантазия писателей-фантастов. Круг задач, решаемых современными роботами, простирается от широчайшего применения в промышленности (в т.ч. и для производства других роботов) до прикладных (беспилотные роботы-наблюдатели) и даже игровых. Одним из наиболее известных игровых наборов на основе робототехники является набор Lego Mindstorms, в состав которого включен следующий набор базовых датчиков:

- микропроцессорный модуль NXT с батарейным блоком;
- три мотора со встроенными датчиками поворота;
- ультразвуковой датчик (датчик расстояния);
- датчик касания;
- датчик звука – микрофон;
- датчик освещенности.

Работая с набором Lego Mindstorms, обучающийся, помимо решения собственно задачи творческой – конструирования новой модели из готовых базовых элементов, также постигает следующие базовые принципы инженерии:

- Масштаб – модель должна соответствовать по размерам решаемой задаче: так, слишком крупный робот будет хрупким и неповоротливым, слишком мелкий не сможет нести весь необходимый набор датчиков.
- Алгоритмизация – необходимо написать программу для решения требуемых задач. Программирование роботов учит мыслить

структурно, выявляя причинно-следственные связи и расставляя приоритеты. Понимание циклов, переключателей, условных операторов и многозадачности пригодится не только в технических профессиях, но и в экономике, менеджменте, праве [1].

- Обратная связь – необходимо правильным образом научиться интерпретировать сигналы от датчиков, сопоставляя их выходные данные с реальными объектами окружающего мира.

Вместе с тем набор базовых датчиков, входящих в комплектацию Lego Mindstorms, может оказаться недостаточным для решения более сложных задач. Однако именно за счет расширяемости продукция компании Lego по праву считается наиболее гибкой из конструкторов. Существует большое количество внешних датчиков, совместимых с набором для роботехники, выпускаемых как самой компанией Lego, так и сторонними производителями:

- Education EV3 Gyro Sensor – гироскопический датчик, измеряет вращательное движение робота и изменение его положения.

- Education EV3 Color Sensor – датчик цвета, различает 7 цветов и может определить отсутствие цвета. Как и в NXT, он может работать как датчик освещенности.

- NXT Temperature Sensor – цифровой датчик, работающий от блока NXT. Можно настроить датчик на две системы измерения температур: в градусах по Цельсию и по Фаренгейту (от  $-20$  до  $+120$  °C / от  $-4$  до  $+248$  °F).

- Education Ultrasonic Sensor – ультразвуковой датчик. Основная функция ультразвукового датчика – это определение расстояния. Для этого датчик испускает звуковые волны и принимает их «эхо». К основной функции данного сенсора добавилась еще одна – он также может слушать ультразвуковые колебания, испускаемые другими датчиками ультразвука.

- NXT Magnetic Compass Sensor – датчик ориентации в пространстве.

- HiTechnic NXT Gyro Sensor – этот датчик является одноосным гироскопом, связанным с кварцевым резонатором. Позволяет измерять скорость и направление вращения в горизонтальной плоскости. Датчик может определять скорость вращения (градусы в секунду) и возвращать значения « / истина», когда скорость вращения меньше или больше указанного значения.

- NXT 2.0, Color Sensor – может работать как датчик цвета и распознавать шесть цветов, быть датчиком света, определяющим интенсивность освещения, и регистрировать его уровень, а также выполнять функции цветной лампы красного, зеленого и синего цветов.



Столь широкий набор периферии позволяет использовать игровой набор для решения совсем неигровых задач и идеально подходит для проведения занятий по прикладной робототехнике и олимпиад. Одной из базовых задач образовательной робототехники является описание поведения робота в условиях задания ему четкой траектории движения при помощи черной линии. Без вышеупомянутого задания не обходятся ни одна олимпиада или турнир по робототехнике [2].

Для участия во II городской открытой межмуниципальной олимпиаде по образовательной робототехнике «КиберТомск» на базе НИ ТПУ был сконструирован робот, использующий базовый набор Lego Mindstorms 9797 и дополнительный модуль – NXT 2.0 Color Sensor.

Данная конструкция предназначена для прохождения этапа – цветная сортировка, суть которого заключается в перемещения робота вдоль цветной линии, сборе цветных кубиков и перемещении их в соответствующие цветовые зоны на краю поля.

Особенностью данной реализации является наличие у робота 4 колес, а не 3, как это обычно принято в подобных решениях, что позволило достичь максимальной устойчивости при максимальной же скорости перемещения робота. В конечном варианте были использованы два датчика освещённости и один датчик цвета. Датчики использовались для поиска черной линии на белом фоне, по которой должен ехать робот. Считалось, что датчик находится над черной линией, если его освещённость ниже 20%. Максимальное расстояние, на котором датчик различит цвета, – 2 см.

Общий вид поля для перемещения робота представлен на рис. 1.

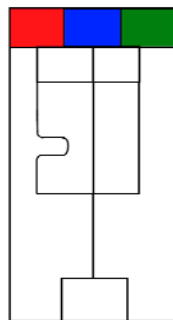


Рис. 1. Общий вид поля для проезда робота

Программная часть набора Lego Mindstorms 9797 также подверглась переработке – вместо операционной системы LEGO Education NXT была установлена среда LeJOS. Путь робота жестко установлен: сначала он движется по центру, затем поворачивает налево, затем направо, в любом случае после доставки кубика возвращается на центральную линию так, чтобы правый датчик был основным. Такой подход позволил минимизировать какие-либо варианты развития событий. Всего 9 вариантов, по 3 на каждую линию. К каждой линии (левой, центральной и правой) была проработана траектория доставки кубика и возвращения робота на центральную линию.

По результатам олимпиады данный робот занял III место в номинации «Технические устройства собственного производства» – что позволяет сделать вывод об удачности принятых технических решений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Десять понятий, которые усваиваются во время игры в LEGO Education [Электронный ресурс]. – Электрон. журн. – 2014. – URL: <http://www.popmech.ru/technologies/44847-10-slozhneyshikh-ponyatiy-kotorye-usvaivayutsya-vo-vremya-igry-v-lego-education/> (дата обращения: 04.03.2017).

2. Литвин А.В. Алгоритм движения робота LEGO MINDSTORMS NXT по черной линии с использованием пропорционально дифференциального регулятора // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2011. – № 3. – С. 91–94.

### УПРАВЛЕНИЕ ВСЕНАПРАВЛЕННОЙ ПЛАТФОРМОЙ

*А.А. Залевский, студент каф. ТОР;*

*А.В. Парацинец, А.Е. Ефремова, студенты каф. РТС*

*Томск, ТУСУР, nhbx@mail.ru*

Использование традиционного автомобильного способа передвижения в ограниченном пространстве нецелесообразно по причине того, что ему требуется дополнительное пространство для совершения маневров разворота. В таких случаях применяют транспортное средство, которое способно совершать всевозможные маневры без дополнительной ориентации в пространстве. Один из распространенных вариантов реализации всенаправленного движения – это использование специальных колес (рис. 1). Вектор тяги такого колеса направлен под углом  $45^\circ$  к плоскости вращения [1]. Таким образом, два противоположно ориентированных колеса образуют ортогональную пару векторов. Изменяя скорость и направление вращения каждого колеса, реализуется произвольная ориентация вектора перемещения.



Рис. 1. Всенаправленное колесо

Дополнительная пара колес может как дублировать вектор тяги, так и быть отличной. В случае несовпадения платформа приобретает вращательную составляющую движения, также возможен случай только вращательного движения, не перемещаясь [2].

На данный момент уже собрана механическая конструкция платформы со всей необходимой электроникой. Передача крутящего момента с двигателя на колесо происходит через редукторы с итоговым коэффициентом преобразования 300 раз. На осях двигателей установлены энкодеры для отслеживания угла поворота. Зная угол поворота за фиксированный промежуток времени, можно точно определить скорость вращения колес, а значит, и задать их, регулируя ток обмоток. Используемые драйверы для двигателей позволяют устанавливать ток в обмотках от  $-2$  до  $2$  А с 255 промежуточными значениями. Значением тока управляет плата Arduino Mega 2560 по UART интерфейсу. Драйверы подключены к двенадцативольтовой аккумуляторной батарее, а энкодеры с платой управления питаются от 5 В, полученных посредством преобразователя напряжения. Для создания беспроводного управления используется радиомодуль, обеспечивающий дальность действия до 30 м. На рис. 2 приведен общий вид всенаправленной платформы.

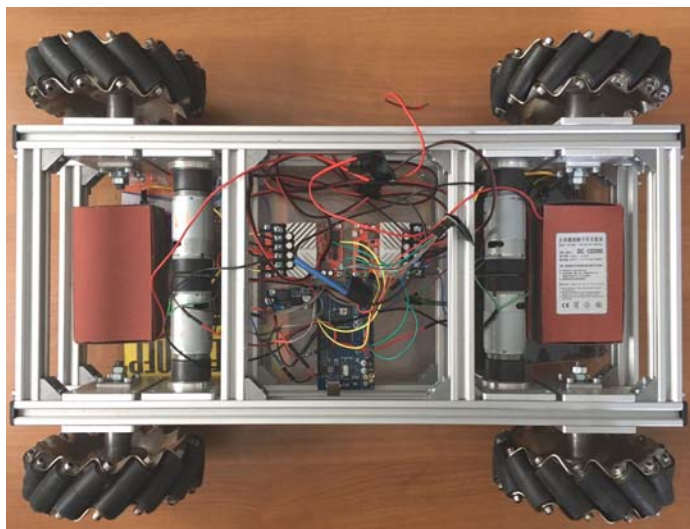


Рис. 2. Всенаправленная платформа

При равных условиях соприкосновения колес с поверхностью именно скорость вращения определяет модуль вектора тяги колеса [3]. В первом приближении будем считать, что это так, тогда встает задача по регулированию скорости посредством тока в обмотках двигателей. Задав один и тот же ток во всех обмотках, не будет одной скорости вращения колес, так как силы трения в механических передачах вращения на колесо различны. Для решения этой задачи эксперимен-

тально были подобраны временные параметры для обработки сигналов с энкодера. Существует минимальная скорость вращения колеса, при которой система адекватно обрабатывает. Задавая меньшую скорость, необходимо увеличивать инерционность регулятора, что не позволит совершению резких маневров. Существует также максимальная скорость вращения колеса, определяемая максимально допустимым током драйвера с учетом запаса для возможности корректировки при увеличении сил трения. Скорость каждого колеса не должна выходить из этих пределов.

Из всех возможных комбинаций вращений колес можно выделить три независимых вида движения: вперед-назад, боком влево-вправо, поворот влево-вправо. Комбинируя эти виды движения, при этом скорости от каждого типа движения суммируются на каждом колесе, можно задать любую траекторию движения. Для того чтобы итоговая скорость колеса входила в допустимый диапазон, выполнено специальное преобразование.

Написав программу для ручного управления платформой, была проведена серия экспериментов и был выявлен ряд критичных моментов. Во-первых, так как итоговое направление движения учитывает вклад каждого колеса, то при потере контакта какого-либо колеса с поверхностью нарушается первоначальная траектория движения. Второй критичный момент – это свободный ход вращения колеса. Это вращение нельзя отследить энкодeром, так как он расположен на валу двигателя. И таким образом, чем больше свободный ход, тем больше ошибка в начальном направлении движения.

Для устранения этих недостатков планируется выполнение подвижной рамы, что означает, что передние и задние пары колес всегда будут иметь связь с поверхностью. Между собой эти части соединены осью, позволяющей изгибаться всей платформе, принимая форму поверхности. Уменьшение свободного хода реализуется выполнением более жесткой сцепкой механизма передачи вращения с вала двигателя на колесо.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Типы колес мобильных роботов* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://robotosha.ru/robotics/wheel-types-mobile-robots.html> (дата обращения: 15.02.2017).
2. *Осипов Ю.М.* Современные проблемы инноватики: учеб. пособие / Ю.М. Осипов, Н.Ю. Изоткина. – Томск: ТУСУР, 2012. – 140 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/1056>
3. *Довбня Н.М., Кондратьев А.Н., Юревич Е.И.* Роботизированные технологические комплексы в ГПС. – Ленинград, Машиностроение, Ленингр. отд., – 1990.

## СОЗДАНИЕ АВТОНОМНОГО ШАГАЮЩЕГО РОБОТА-ГЕКСАПОДА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ

*Д.А. Мяхор, магистрант каф СУМ ИК  
Томск, НИТПУ, MyDiAl2009@gmail.com*

Спасать жизни людей – сложное и ответственное, но чрезвычайно опасное призвание. Каждый день представители данной профессии рискуют получить травмы или даже умереть вследствие несчастного случая. Среди всех катастроф достаточно большой процент приходится на обвалы в шахтах и разрушение зданий. Первостепенная задача спасателя – объективная оценка обстановки, в которой проводится поисково-спасательная операция, так как от того, насколько будет качественно проведена подготовка, зависит безопасность прежде всего самих спасателей. В случаях, когда участие человека в проведении разведки недопустимо, оправдано использование дрона, который передаёт информацию об окружающей обстановке оператору, получающему удалённо сведения с камер и других датчиков [1]. Таким образом, открывается возможность удалённого планирования операций, что приведёт к снижению риска для жизни спасателей. Однако существует несколько нерешённых сложных задач, которые препятствуют эффективной работе подобных робототехнических систем: проблема создания робота, способного обладать достаточной проходимостью по сильно пересечённой местности, и проблема получения необходимого количества информации для максимально подробной проработки плана спасательной операции. Именно решению этих задач посвящена данная работа.

**Конструкция и электронные компоненты.** Основу двигательной системы разрабатываемого гексапода составляет 18 мощных сервоприводов MG995, работающих в диапазоне напряжений 4,8–7,2 В и обладающих крутящими моментами соответственно 8,5–10 кг·см. За управление роботом отвечает плата Arduino Mega. Робот работает автономно от Li-Po аккумулятора NVISION ёмкостью 2500 мАч. Контроль переразряда осуществляет бортовой сигнализатор низкого напряжения. Система управления и силовая часть подключены соответственно на прямую и через понижающий импульсный преобразователь напряжения HOBBYWING 8A. Прототип конструкции собственной разработки сделан из фанеры толщиной 3 мм (рис. 1). Планируется переход на алюминий либо карбон.

**Разработка системы движения по пересечённой местности.** Одна из основных задач проекта – создание программно-аппаратного комплекса, обладающего достаточной проходимостью на сильно пе-

ресечённой местности. В данном направлении ведутся работы по созданию алгоритма, который в зависимости от показаний датчиков касаний, расположенных на конечностях робота, а также ультразвукового дальномера и стереокамеры корректирует модель ходьбы робота согласно перепадам высот пересечённой местности.

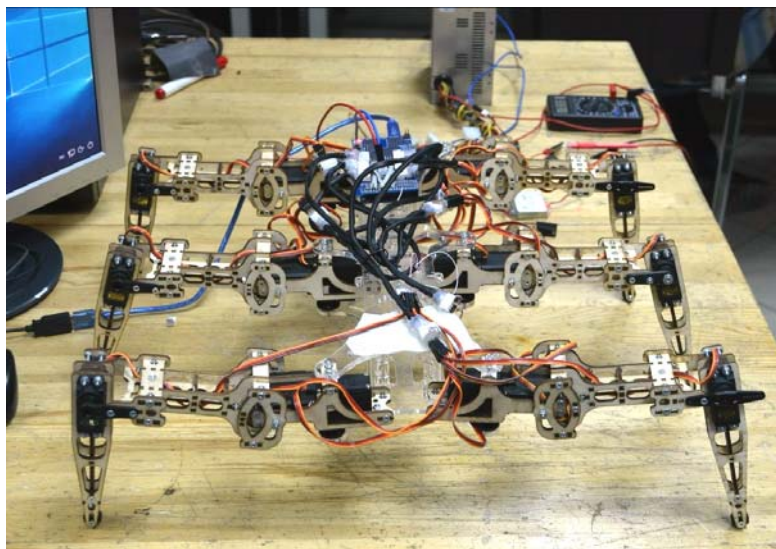


Рис. 1. Конструкция робота на текущий момент



Рис. 2. Демонстрация возможностей системы распознавания объектов

Алгоритм выполняется на одноплатном компьютере NVIDIA Jetson TK1, работающем под управлением операционной системы Linux Ubuntu (рис. 2). В качестве стереокамеры используется игровой контроллер Microsoft Kinect. На данный момент реализованы функции определения лиц людей, классификации предметов по геометрической форме и цвету, а также построения карты двухмерной глубины попадающего в поле зрения объектива стереокамеры.

**Заключение.** Использование разрабатываемого робота в спасательных операциях позволит существенно снизить риск для жизни и здоровья спасателей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Луцкий В. Исследование адаптивных алгоритмов передвижения шестиноного шагающего робота // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2013. – № 5. – С. 52–55.

#### ПЛАТФОРМА ДЛЯ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА

*Ф.В. Попелев, В.В. Васецкий, студенты;*

*А.А. Изюмов, инж. каф. КСУП*

*Научный руководитель В.П. Коцубинский, доцент каф. КСУП, к.т.н.  
Томск, ТУСУР, fedor@mail.ru*

Для перемещения платформы, являющейся предметом разработки, были использованы всенаправленные колеса [1], способные изменять положения объекта в любом необходимом направлении в пределах одной плоскости. Конструкция колеса похожа по форме на звезду=ступицу из высокопрочной стали. Ступица жестко установлена на оси и не может поворачиваться вправо-влево. На ступице стоит не обычная резиновая шина, а 14 свободно вращающихся роликов, внешние края которых образуют ровный круг. Каждый ролик находится на оси, оси роликов расположены под углом к оси колеса. Сами ролики изготавливаются из полиуретана. Колеса закреплены на раме – жесткой конструкции прямоугольной формы, внутри которой находится управляющий блок. Также на раме закреплены рука-манипулятор и блок зарядки аккумулятора. Схематично конструкция изображена на рис. 1.

Рама изготовлена из алюминиевого профиля 20 мм, что обеспечивает прочность и легкость конструкции. Габаритные размеры устройства составляют 500×1200 мм.

Для обеспечения мобильности и вращения колес используются электромоторы с крутящим моментом 137 кН/м<sup>2</sup> и максимальными оборотами вала 197 об/мин.

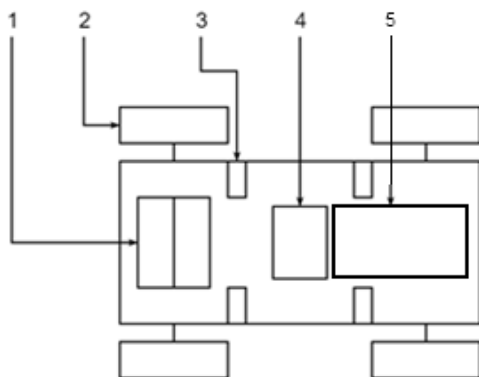


Рис. 1. Схема платформы: 1 – блок зарядки аккумулятора, 2 – всенаправленное колесо, 3 – двигатель, 4 – блок управления, 5 – рука-манипулятор

Для обеспечения питания данного робота предусмотрено использование 2-х Li-Ion аккумуляторов с выходным напряжением 12 В и суммарной эффективной емкостью, равной 40000 mAh. Зарядка аккумуляторов осуществляется штатным зарядным устройством с питанием от сети 220 В.

В управляющем блоке платформы используется микроконтроллер Arduino Mega 2560 R3. Разработаны алгоритмы, позволяющие по информации с инфракрасных датчиков расстояния управлять платформой, не опасаясь за то, что она столкнется с другими объектами. Разработаны алгоритмы обхода препятствий. Использование Arduino Mega 2560 R3 накладывает следующие ограничения на функционал робота: не более 128 подключаемых датчиков; отсутствие встроенного WiFi (IEEE 802.11) модуля; недостаточная вычислительная мощность для одновременного управления мобильной платформой и манипулятором.

Для взаимодействия с окружающим робота [2] миром используется рука-манипулятор. Данное устройство, являющееся аналогом человеческой руки, состоит из шарнирно соединенных звеньев, образом которых являются кости в руке человека, и заканчивается различным типом захватом, который представляет собой своего рода «кисть руки». За движение звеньев отвечают сервоприводы – аналоги мышц в человеческой конечности. Представляют они собой редуктор и электрическую схему управления, регулирующую направление и скорость вращения двигателя. Каждый привод отвечает за свое движение руки манипулятора, поэтому при наличии достаточного количества сервомоторов (по 4 штуки), рука может свободно поддержи-



вать три степени свободы, вращаясь на основании, сгибаясь в «плечевом» и «локтевом» суставах, а также вращая кистевое сочленение. Тем самым она обеспечивает возможность полноценного участия в требуемых от нее действиях, избегая множества ограничений. Управление сервоприводом осуществляется на базе микроконтроллера, такого, например, как Arduino. В массовом производстве у подобных манипуляторов имеется ряд очевидных достоинств:

- Высокая точность исполнения порученных механизму операций, в связи с чем повышение качества изготавливаемой продукции.
- Отсутствие простоев в процессе производства, связанных с человеческими факторами.
- Улучшение эксплуатации конвейерных лент, на которых будут задействованы данные механизмы.
- Быстрая окупаемость оборудования, связанная с вышеперечисленными преимуществами.

На момент написания данной статьи была разработана мобильная движущаяся платформа с электроприводом, блоком питания, управляющим блоком (не нами), оборудованная механической рукой (наша работа). Пока управление роботом осуществляется вручную, дистанционно.

Проектируемый ИИ обеспечит перемещение робота и взаимодействие манипулятора с окружающим миром. Робот сможет свободно перемещаться и ориентироваться в пространстве, а также с помощью камер и ИК-сенсоров определять тип и положение объектов, с которыми будет взаимодействовать.

Для выполнения полезной работы установлена механическая рука-манипулятор с четырьмя степенями свободы. Программа управления манипулятором будет разработана в среде разработки LabView (предоставленным ТУСУР фирмой National Instruments) с помощью модулей Robotics Toolkit и библиотек Universal Robots Library. Взаимодействие манипулятора и ИК-сенсоров, камер будет реализовано при помощи программных пакетов MS robotics.

Разработанное устройство обладает хорошей мобильностью при условиях ровного напольного покрытия, что позволяет использовать его как в системах «Умный дом» так и для участие в соревнованиях RoboCup@home, а также и в других областях, где требуется перемещение в ограниченных пространствах и в присутствии большого количества преград. За счет манипулятора, который возможно запрограммировать на выполнение работ любой сложности, устройство в полной мере способно взаимодействовать с окружающим пространством. Открытость протоколов позволяет вносить изменения в алгоритм любому программисту. Реализация идеи представляется оптимальной.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Колесниченко Е.Ю., Павловский В.Е. Явный синтез управления движением колесного МЕКАНУМ-робота по криволинейной траектории // Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». – СПб.: ООО «АП4Принт», 2016. – С. 171–176.
2. Кинсан Фу и др. Робототехника. – М.: Мир, 1989. – 621 с.
3. Залевский А.А., Паращинец А.В., Ефремова А.Е. Управление всенаправленной платформой // Научная сессия ТУСУР–2017: матер. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 10–12 мая 2017 г. – Томск: В-Спектр, 2017 (наст сб.).

## ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОИНТЕРФЕЙСА В УПРАВЛЕНИИ МЕХАТРОННЫМИ ПРОТЕЗАМИ

*А.В. Функ, магистрант каф. ПрЭ;*

*О.В. Пехов, ассистент каф. КИБЭВС*

*Научный руководитель Ю.О. Лобода, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.  
Томск, ТУСУР, yulloboda@gmail.com*

В настоящее время технологии позволяют создать нейроинтерфейс, который дает дополнительные возможности управления мехатронными устройствами. Использование нейроинтерфейсов затрагивает множество дисциплин, таких как робототехника, нейропротезирование, биомедицинская инженерия, нейробиология.

Нейроинтерфейс – это устройство, считывающее электрическую активность головного мозга. Полученные в результате сигналы можно классифицировать и применить для передачи команд на устройство (робот, протез, компьютер и другие приборы). Активное развитие применения нейроинтерфейсов в системах управления обуславливает актуальность данной работы (рис. 1).

При разработке системы управления необходимо уделять внимание вопросам безопасности. При использовании нейроинтерфейса для управления протезом предполагается передача данных на управляющий контроллер протеза с помощью беспроводного соединения. В этом случае существует риск перехвата управления протезом при отсутствии защиты канала передачи информации и наличии более мощного источника сигнала. Одним из путей решения этой проблемы являются шифрование информации при передаче, применение стандартизированных протоколов и тщательное изучение документации на них.

Цель работы: исследование возможностей управления мехатронными устройствами с помощью нейроинтерфейса.

Различают два типа внедрения нейроинтерфейсов по способу получения сигнала. Инвазивное устройство: измерение производится непосредственно с коры головного мозга, для внедрения нейроинтерфейсов данного типа требуется операция. Датчик могут установить в кору головного мозга, чтобы измерить электрическую активность отдельных нейронов. Полученный сигнал очень резкий и точный, но инвазивное вмешательство сопряжено с последствиями для здоровья человека.

При использовании неинвазивного нейроинтерфейса датчик устанавливается без вторжения в организм человека, с меньшим риском для пользователя. Такие датчики чаще всего используются в технологии нейроуправления. Эти устройства легко носить на теле, но из-за преграды (черепа) сигнал электромагнитных волн ослабевает и размывается и требуется дополнительное техническое устройство для усиления и обработки сигнала.



Рис. 1. Классификация видов управления мехатронными устройствами с использованием нейродатчиков

Целью управления в определённой биологической системе можно назвать некое конечное состояние, в которое система должна прийти в силу своей структурной организации, или некий ожидаемый результат действий.

Конечное состояние биологической системы – это наиболее оптимальное состояние как всей системы в целом, так и отдельных её составляющих частей на всех уровнях организации в условиях наиболее качественного управления. Управление разделяют на пассивное и активное. Пассивное управление – вторичное управление, сопутствующее структуре, управляющий центр не выявлен. Людвиг фон Бергаланфи («Общая теория систем») предложил для подобного управления термин «первичная регуляция». Активное управление – система управления выделена в отдельный функциональный блок, иногда системы предсказывают появление внешнего воздействия (системы с фазовым опережением) [1].

Сигналы, считываемые с концевых мышц культи, могут относиться к пассивной системе управления. А сигнал, передаваемый на протез нейродатчиком, – это элемент активной системы управления. При комбинировании активного и пассивного сигналов получаем более универсальную систему управления протезом.

Для проведения эксперимента планируется использовать мехатронную руку на базе Genuino 101, поскольку Genuino 101, являясь одной из последних разработок Intel, снабжена интегрированными гироскопом, акселерометром и Bluetooth-модулем.

В качестве модели управления была выбрана мехатронная рука, созданная на базе открытого образовательного проекта InMoov [2]. Модель создана с помощью 3D-принтера в лаборатории STEM-центра ТУСУРа (рис. 2).

Для координации движений нескольких элементов человекоподобного робота InMoov планируется использовать плату Intel Edison.

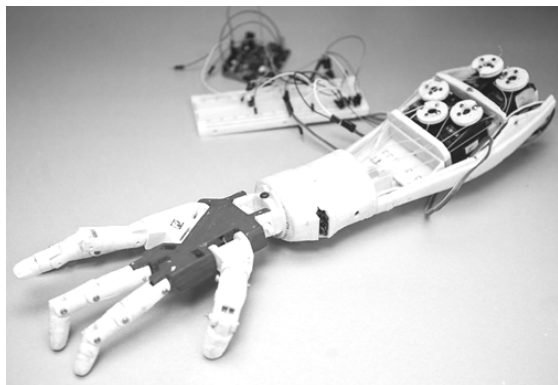


Рис. 2. Модель мехатронной руки InMoov

**Заключение.** Современное оборудование позволяет дополнить мехатронные системы механизмом воздействия. Существуют положительные опыты управления мехатронным устройствами с использованием нейроинтерфейсов. Планируется провести эксперимент по использованию нейроинтерфейсов как элемента активного управления протезом на базе модели InMoov.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Земляков И.Ю. Физиологическая кибернетика. – Ч. 1: Основы физиологической кибернетики и теория систем управления. – Томск: Изд-во СибГМУ, 2006. – 340 с.
2. Проект InMoov [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://inmoov.fr/> (дата обращения: 10.12.2016).

## **ПОДСЕКЦИЯ 1.8**

### **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ**

*Председатель секции – Шурыгин Ю.А., первый проректор,  
зав. каф. КСУП, д.т.н., проф.;*  
*зам. председателя – Черкашин М.В., доцент каф. КСУП, к.т.н.*

#### **ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВЧ-СТУПЕНЧАТЫХ АТТЕНУАТОРОВ**

*А.В. Мишуткин, студент; А.В. Степачева, инженер;*

*И.М. Добуш, доцент, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, каф. КСУП, igadobush@gmail.com*

Ступенчатые аттенуаторы (СА) сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона длин волн находят широкое применение при построении приемопередающих модулей (ППМ), используемых в системах беспроводной передачи информации. СА предназначены для уменьшения амплитуды электрических сигналов с заданным шагом. Базовая структура СА представляет собой каскадное включение нескольких секций ослабления. Каждая секция может представлять собой один из вариантов включения резистивного аттенуатора и коммутационных элементов [1, 2].

Процесс проектирования интегральных СА является сложным и трудоемким. Он включает два основных этапа: 1) проектирование отдельных секций ослабления с учетом влияния коммутационных элементов; 2) выбор оптимального варианта очередности (сочетания) включения секций ослабления из соображений обеспечения наилучшего комплекса характеристик, в том числе, минимальных потерь в опорном состоянии, согласования по входу и выходу, минимальных среднеквадратических ошибок (СКО) вносимого ослабления и фазового сдвига для всех состояний аттенуатора и др.

Целью данной работы является решение задачи второго этапа проектирования СА – разработка программного обеспечения для автоматизации процесса выбора оптимального варианта очередности включения секций ослабления.

Разрабатываемое программное обеспечение реализуется в виде веб-приложения, обоснование выбора указанной технологии приведено в работе [3]. Взаимодействие пользователя с веб-приложением разделено на несколько шагов (рис. 1). На первом шаге пользователь вводит разрядность СА (количество секций ослабления); на втором шаге пользователь загружает S-параметры отдельных секций ослабления; на третьем шаге пользователь задает интересующий частотный поддиапазон и запускает расчет, веб-приложение проводит линейный анализ схем СА для всех возможных вариантов включения секций ослабления, а также для всех состояний ослабления каждой схемы СА; на четвертом шаге по результатам расчета приложение проводит визуализации графиков по пяти критериям для всех возможных вариантов включения секций ослабления СА: минимальный коэффициент передачи в опорном состоянии ( $\min |S_{21}|$ ), максимальные коэффициенты отражения по входу ( $\max |S_{11}|$ ) и выходу ( $\max |S_{22}|$ ), максимальные значения СКО по ослаблению ( $\max \text{RMSLoss}$ ) и фазе ( $\max \text{RMSPhase}$ ). По указанным критериям пользователь может определить оптимальный вариант включения секций как по одной характеристике, так и для комплекса характеристик. На рис. 2 приведены скриншоты компонентов интерфейса пользователя прототипа разработанного веб-приложения.

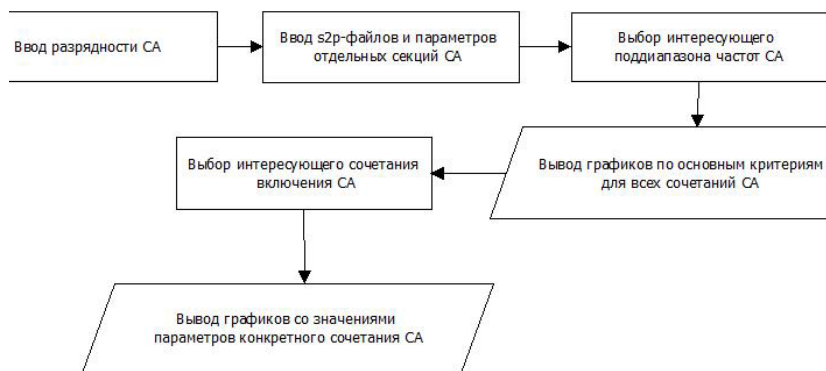


Рис. 1. Блок-схема взаимодействия с приложением

На рис. 3, а приведены графики для визуализации основных критериев СА. Также пользователь имеет возможность вывода СВЧ-характеристик во всех состояниях СА для выбранного сочетания, (рис. 3, б).

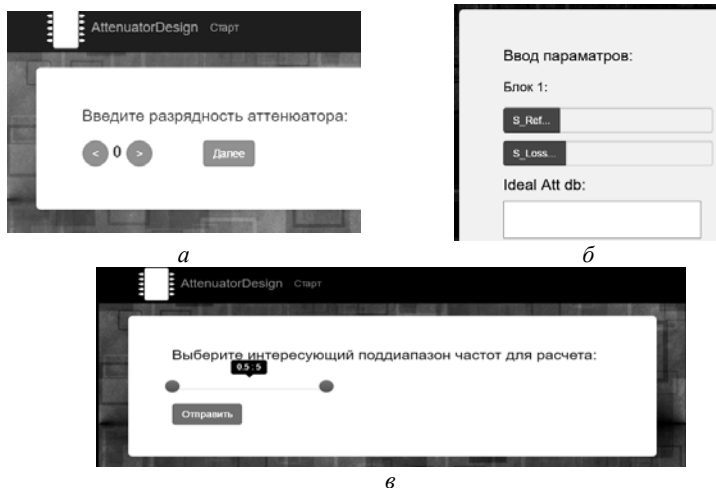


Рис. 2. Скриншоты пользовательского интерфейса веб-приложения:  
*а* – ввод разрядности; *б* – ввод файлов с S-параметрами секций ослабления  
 СА; *в* – выбор поддиапазона частот

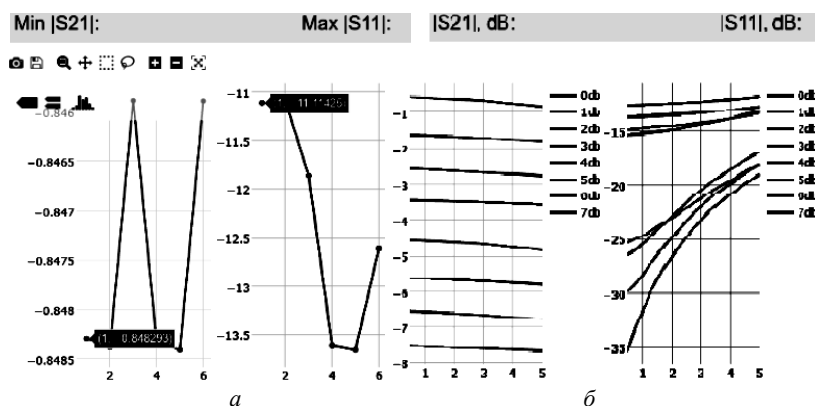


Рис. 3. Графическое отображение результатов расчета:  
*а* – критерии для выбора оптимального варианта очередности включения  
 секций ослабления; *б* – СВЧ-характеристики во всех состояниях СА для  
 выбранного сочетания

Таким образом, разработанное веб-приложение позволяет проектировщику сократить время и автоматизировать процесс выбора оптимального варианта очередности включения секций ослабления СА. В качестве примера можно уточнить, что для полного перебора всех

секций ослабления и расчета СВЧ-характеристик для каждой секции во всех состояниях 5-битного СА для 46 частотных точек требуется не более 5 с.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Елесин В.В., Усачев Н.А., Громов Д.В. Особенности проектирования монолитных ступенчатых аттенуаторов СВЧ-диапазона // Научная сессия НИЯУ МИФИ. – 2010.
2. Добуш И.М., Шеерман Ф.И., Бабак Л.И. и др. Разработка и экспериментальное исследование SiGe БиКМОП цифрового аттенуатора диапазона 0,1–4,5 ГГц // Труды XIII Междунар. науч.-техн. конф. и актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2016. – Т. 2. – С. 144–147.
3. Мишуткин А.В., Степачева А.В., Добуш И.М. Обзор графических библиотек для визуализации характеристик радиоэлектронных компонентов и устройств в веб-приложениях // Электронные средства и системы управления: матер. докладов междунар. науч.-практ. конф. – Томск: В-Спектр, 2016.

#### ОСНОВЫ ТЕМПЕРАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*В.А. Персиянов, студент каф. УИ*

*Научный руководитель А.А. Зоркальцев, ст. преп. каф. УИ  
Томск, ТУСУР, [aleksandr.zorkaltsev@elesy.ru](mailto:aleksandr.zorkaltsev@elesy.ru)*

При проектировании печатных плат возникает всё больше проблем в связи с усложнением строения платы, и решение этих проблем требует всё больших усилий от разработчиков. В связи с этим с каждым поколением плат возрастает риск возникновения неисправности или снижения эффективности работы. Одна из острых проблем – это выбор оптимального соотношения между соблюдением требований к тепловым характеристикам платы и целостностью сигнала. Для соблюдения целостности сигнала необходимо располагать компоненты цепи как можно ближе друг к другу.

Но при этом они выделяют тепло, и чем они ближе находятся, тем выше их суммарная температура, иногда до значений, превышающих максимально допустимые. Для того чтобы нагрев элементов не превышал допустимые значения, разработчикам необходимо проводить расчёт и реконструкцию платы. Но такие операции становятся все более затруднительными в связи с усложнением конструкции платы. Разработанные в этой сфере САПР позволяют моделировать трехмерное распределение тепла по плате, отводимого в воздушную среду, окружающую плату, и предсказывать значения температуры корпусов.



Пакет программного обеспечения Sauna может быть использован для моделирования широкого спектра электронных компонентов и систем. Вы можете использовать Sauna, чтобы создать очень детальные модели, такие как окно, показанное выше, где есть подробное представление печатной платы. Но Sauna также является отличным инструментом для завершения быстрой и приближительной модели (рис. 1).

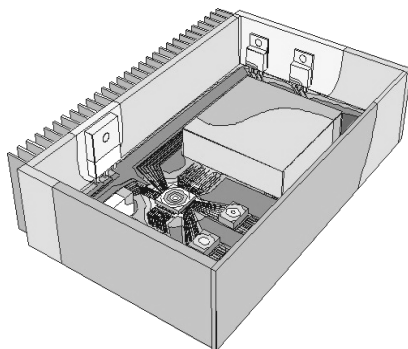


Рис. 1. Визуализация проекта в программе Sauna Thermal Modeling

Программа Sauna довольно проста в использовании. Программа включает в себя большую библиотеку стандартных компонентов и макетов колодки, в том числе стандартные пакеты питания, двухъядерные и четырехъядерные плоские пакеты, низкой и высокой мощности СИД-пакеты, а также определяемые пользователем пакеты. Программа включает в себя полный 3D-модельер со специализированными инструментами для быстрого создания коробки, плиты с ребрами, узоры блокнотом и другие геометрии, общие для электроники теплового моделирования. Коэффициенты теплопередачи для конвекции и излучения рассчитываются автоматически.

После создания печатной платы (рис. 2) для дальнейшего анализа по вкладке «Функциональное меню» выбираем пункт «Список граничных условий» и добавляем условия.

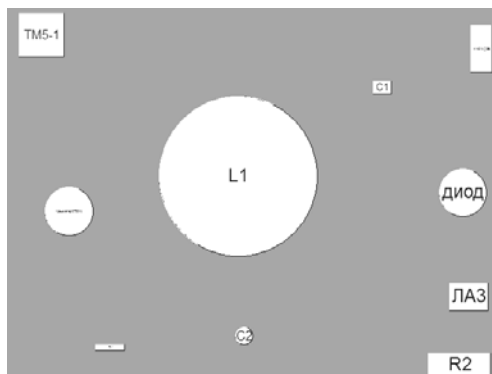


Рис. 2. Печатная плата с элементами

На плате можно одновременно разместить разные типы условий, что симулирует радиаторы, обдув, разный нагрев поверхности платы, наличие термопасты на элементах и многое другое. Выбрав несколько разных типов условий и разместив их в нужных местах, мы получаем 3D-модель, показанную на рис. 3.

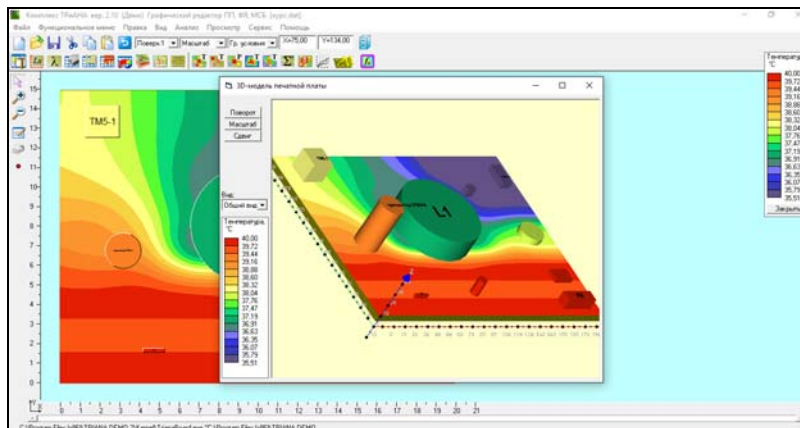


Рис. 3. 3D-модель печатной платы с термограммой

Данная САПР обладает множеством инструментов для создания печатных плат и их температурного анализа, а также имеет в своей базе десятки различных видов обработки. Таким образом, можно рассчитать нагрев сложной платы, задать дополнительные параметры: обдув, корпус, плохой контакт, неисправные элементы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *TPuANA* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://www.circuitry.ru/journal/article/3012> (дата обращения: 12.12.2016).
2. *Тепловой расчет при разработке печатной платы. Печатный монтаж* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://www.circuitry.ru/journal/article/3012> (дата обращения: 12.12.2016).

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО СВЧ-УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ КЛАССА F

*Р.К. Собянин, А.А. Коколов*  
Томск, ТУСУР, ro-m-ix@mail.ru

Усилители мощности играют важную роль во всех приемопередающих устройствах. Среди существующих типов СВЧ УМ од-

ним из наиболее перспективных с точки зрения выходной мощности и КПД являются УМ класса Е и F.

Суть класса F заключается в создании четных гармоник в спектре тока и нечетных в спектре напряжения, при котором рассеиваемая мощность будет равна нулю и КПД возрастет. В данной работе рассматривается проектирование и экспериментальное исследование однокаскадного УМ диапазона 5,5–5,8 ГГц на основе GaN-HEMT-транзистора.

При проектировании УМ использовалась нелинейная модель GaN-HEMT-транзистора CGHV1F006S, предоставленная производителем (Cree, США). К усилителю предъявлялись следующие требования при входной мощности  $P_{in}$  25 дБм: коэффициент усиления  $G_T$  не менее 10 дБ, выходная мощность  $P_{out}$  не менее 35 дБм; КПД по добавленной мощности PAE не менее 55%; согласование по входу и выходу:  $S_{11}$  и  $S_{22} < -10$  дБ; усилитель должен быть безусловно устойчивым во всем частотном диапазоне ( $K > 1$ ).

Моделирование УМ на идеальных элементах приведено в статье сборника докладов конференции «НС ТУСУР–2016» [1] (рис. 1). Фотография изготовленного УМ приведена на рис. 2. Малосигнальные S-параметры были измерены при помощи ENA Keysight E5071C в диапазоне от 10 кГц до 10 ГГц. На рис. 3 приведено сравнение измеренных и рассчитанных (электромагнитное моделирование) S-параметров УМ. В наличии в лаборатории не было источника постоянного напряжения, который выдал бы требуемые 40 В, поэтому измерения проводились при  $V_{ds} = 28$  В,  $I_{ds} = 60$  мА.

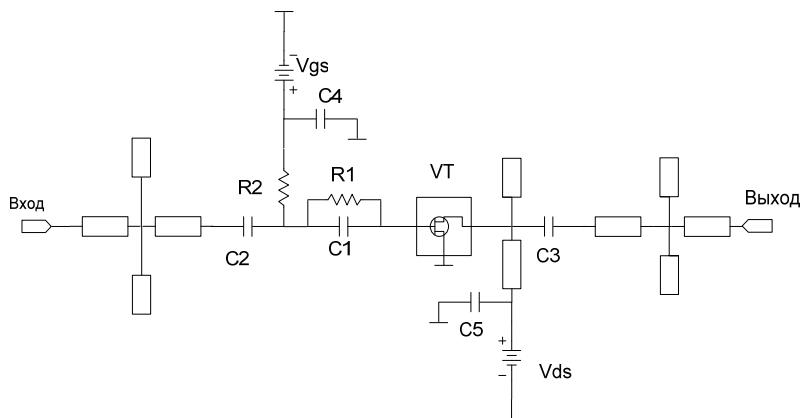


Рис. 1. Принципиальная схема однокаскадного УМ

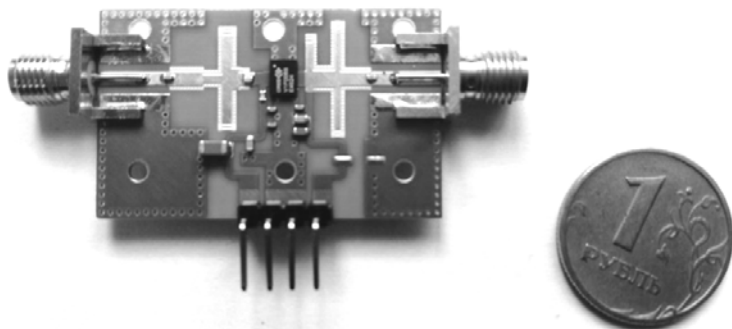


Рис. 2. Изготовленный УМ класса F

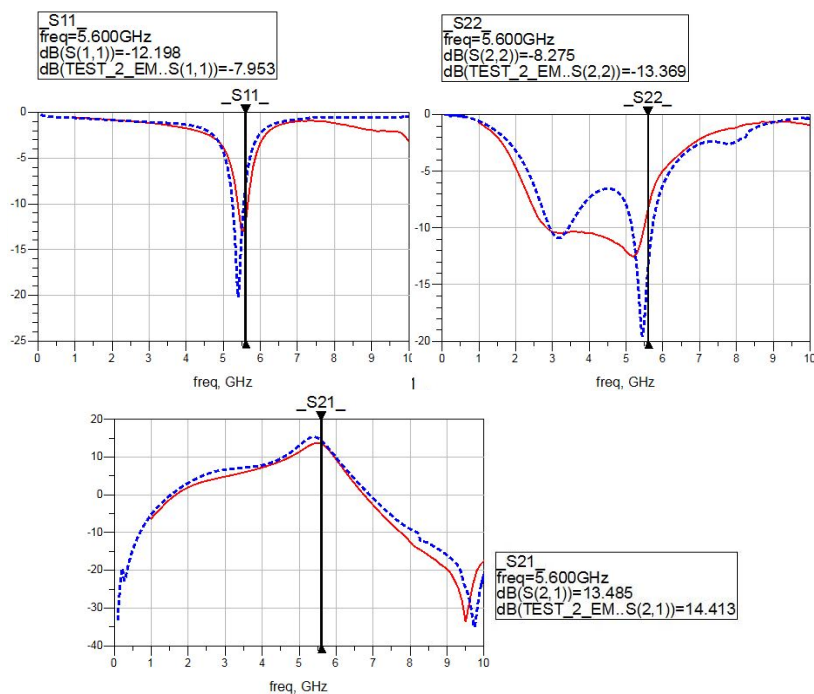


Рис. 3. Параметры согласования по входу и выходу  $S_{11}$  и  $S_{22}$ ; коэффициент передачи  $S_{21}$

На рис. 4 представлены выходные характеристики УМ после электромагнитного моделирования при  $V_{ds} = 40$  В, а именно: выходная мощность  $P_{out}$ , коэффициент усиления  $G_T$  (на графике  $Gain$ ) и КПД по добавленной мощности PAE.

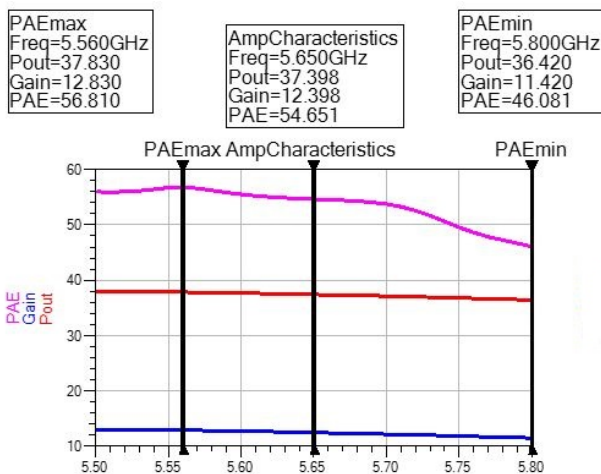


Рис. 4. Результаты моделирования УМ в зависимости от частоты входного сигнала

В результате проектирования УМ класса F выходные характеристики получились следующие: на диапазоне 5,5–5,8 ГГц при входной мощности  $P_{in} = 25$  дБм, минимальное усиление  $G_T = 11,42$  дБ; минимальная выходная мощность  $P_{out} = 36,42$  дБм; минимальное значение КПД по добавленной мощности  $PAE = 46\%$ , максимальное –  $56,81\%$ ; параметр  $S_{11} = -12,2$  дБ,  $S_{22} = -8,3$  дБ,  $S_{21} = 13,5$  дБ на центральной частоте. Промоделированные (ЭМ) параметры рассеяния на центральной частоте:  $S_{11} = -7,9$  дБ,  $S_{22} = -13,4$  дБ,  $S_{21} = 14,4$  дБ. Различия промоделированных и измеренных S-параметров связаны с различием между моделями SMD-компонентов и их реальными характеристиками, разбросом в номиналах, отсутствием теплоотвода, также при моделировании не учитывались СВЧ-разъемы. В дальнейшем планируется разработка теплоотвода, измерение выходной мощности, усиления и КПД данного усилителя при  $V_{ds} = 40$  В, а также настройка номиналов компонентов для улучшения характеристик УМ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Собынин Р.К., Коколов А.А. Проектирование усилителя мощности класса F // Матер. докладов XXI Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2016», Томск, май 2016 г. – Томск, 2016.

# РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО ПАССИВНОГО СВЧ-ФИЛЬТРА НИЖНИХ ЧАСТОТ В ДИАПАЗОНЕ 300–400 МГц

*А.Ю. Олисовец, студент каф. КСУП*

*Научный руководитель Ф.И. Шеерман, доцент каф. КСУП, к.т.н.*

*Томск, ТУСУР, fish@kcup.tusur.ru*

В настоящее время в СВЧ-технике всё чаще возникает потребность в перестраиваемых системах. Наиболее актуальными являются сейчас перестраиваемые фильтры, обеспечивающие избирательность в широком наборе рабочих частот.

Проектирование и методика расчета фильтров хорошо изучены [1], однако вопросы разработки и проектирования перестраиваемых фильтров нижних частот (ФНЧ) решены неокончательно.

Целью данной работы является разработка и исследование перестраиваемого пассивного СВЧ-фильтра нижних частот с диапазоном перестройки 300–400 МГц и с частотой затухания 500–800 МГц при уровне –40 дБ.

В качестве перестраиваемого ФНЧ выбран фильтр Баттерворта, имеющий плоскую амплитудно-частотную характеристику с минимальным значением коэффициента пульсаций в ней [2].

Согласно вышеперечисленным требованиям для реализации перестраиваемого ФНЧ необходимо разработать фильтр 7-го порядка [3], электрическая схема которого приведена на рис. 1.

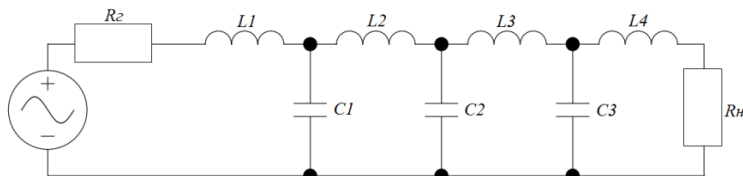


Рис. 1. Электрическая схема проектируемого перестраиваемого ФНЧ

При реализации данного фильтра необходимо перестраивать конденсаторы  $C_1 - C_3$ , изменяя значение ёмкости путём её добавления. Для добавления ёмкости в схему на рис. 1 параллельно конденсаторам  $C_1 - C_3$  включены 3 цифровых перестраиваемых конденсатора (ЦПК)  $C_{n1} - C_{n3}$  компании Peregrine модели PE 64102 [4]. Данная схема приведена на рис. 2.

В качестве исходных данных принят диапазон частот сигнала  $f = 300\text{--}400$  МГц. Шаг перестройки по частоте равен 10 МГц. Катушки индуктивности  $L_1, L_4$  имеют одинаковое значение индуктивности, рав-

ное 10 нГн, а  $L_2$  и  $L_3$  равны 39 нГн. Конденсаторы  $C_1$ ,  $C_3$  имеют значение ёмкости, равное 10 пФ, а конденсатор  $C_2 = 13$  пФ. Данные ёмкости рассчитаны для частоты среза ( $F_{cp}$ ) равной 400 МГц.

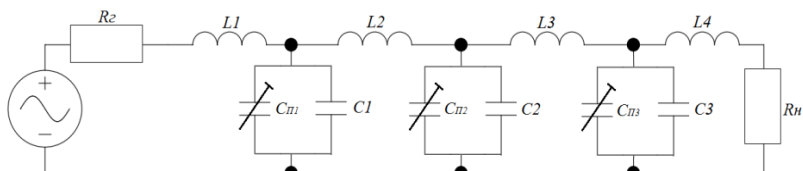


Рис. 2. Электрическая схема проектируемого перестраиваемого ФНЧ с включенными в схему перестраиваемыми конденсаторами

Сопротивление генератора  $R_g$  и нагрузки  $R_n$  равны 50 Ом.

Управление переключением значений ёмкости конденсаторов  $C_{n1} - C_{n3}$  будет осуществляться с помощью микроконтроллера Arduino Mega 2560 [5].

Моделирование перестраиваемого ФНЧ проведено с помощью системы автоматизированного проектирования (САПР) Keysight ADS.

Результаты моделирования коэффициента передачи перестраиваемого ФНЧ на идеальных элементах приведены на рис. 3.

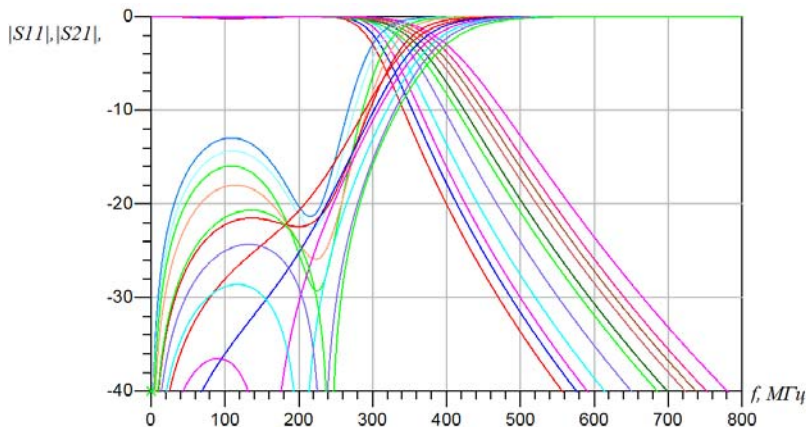


Рис. 3. Результаты моделирования перестраиваемого ФНЧ в Keysight ADS

Как видно из рис. 3, ФНЧ имеет диапазон перестройки 300–400 МГц. Различие крутизны затухания при перестройке фильтра связано с отличающейся друг от друга частотой среза. Данное отличие обусловлено ограниченностью выбора значения ёмкостей ЦПК  $C_{n1} - C_{n3}$ .

Таким образом, проведены разработка и моделирование перестраиваемого пассивного СВЧ-фильтра нижних частот с диапазоном перестройки 300–400 МГц и шагом перестройки 10 МГц.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Маттей Д.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т.* Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи / пер. с англ.; под ред. Л.В. Алексеева, Ф.В. Кушнера. – М.: Связь, 1972. – 496 с.
2. *Хоровиц П., Хилл У.* Искусство схемотехники / пер. с англ.; под ред. Б.Н. Брониной, А.И. Коротова, М.Н. Микшис и др. – 6-е изд. – М.: Мир, 2001. – 704 с.
3. *Титце У., Шенк К.* Полупроводниковая схемотехника / Пер. с англ.; под ред. А.Г. Алексенко. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
4. *Официальный сайт* Peregrine Semiconductor [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.psemi.com>, свободный (дата обращения: 10.03.2017).
5. *Официальный сайт* Arduino [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.arduino.cc>, свободный (дата обращения: 10.03.2017).



# СОДЕРЖАНИЕ

## СЕКЦИЯ 1 РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

### ПОДСЕКЦИЯ 1.1

#### РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Председатель – *Шарыгин Г.С.*, проф. каф. РТС, д.т.н.;  
зам. председателя – *Тисленко В.И.*, проф. каф. РТС, д.т.н.

*С.К. Доманов*

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АНТЕННОЙ СОТОПАНЕЛИ КОСМИЧЕСКОГО<br>АППАРАТА НА РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ<br>АНТЕННЫ Q-ДИАПАЗОНА..... | 15 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

*Ю.А. Донской*

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| АЛГОРИТМ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТОВ БАНКА<br>КОРРЕЛЯТОРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СПЕКТРА СИГНАЛА ..... | 21 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|

*В.Н. Коркина*

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ<br>ПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА ..... | 23 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|

*А.А. Кузьмин, А.С. Раков, Д.С. Раков, И.Ю. Шеин*

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СДВОЕННОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ<br>АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТОК ..... | 25 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

*А.Б. Мирманов*

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| ЗАТУХАНИЕ В КАНАЛЕ СВЯЗИ ЗАБОЙНОЙ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ<br>СИСТЕМЫ ..... | 28 |
|--------------------------------------------------------------------|----|

*С.А. Михайленко*

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ<br>ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНОГО РАЗНЕСЕНИЯ<br>НА ОСНОВЕ FSK-МОДУЛЯЦИИ ..... | 30 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

*Н.В. Собко*

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТ ТЕРМИНАЛОВ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ..... | 34 |
|----------------------------------------------------|----|

*С.Е. Тарасов, Б.В. Уткин*

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| КВАДРАТИЧНЫЙ ДИОДНЫЙ ДЕТЕКТОР<br>ДЛЯ РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО ПРИЕМНИКА ..... | 38 |
|------------------------------------------------------------------------|----|

*Д.В. Тимошин*

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| СИСТЕМА СИНХРОНИЗАЦИИ ШКАЛ ВРЕМЕНИ<br>С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТОВОЛОКОННЫХ<br>ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ..... | 41 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

*Ю.С. Худышев*

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| О ДИСПЕРСИОННЫХ ИСКАЖЕНИЯХ СВЕРХКОРОТКОГО<br>ХАОТИЧЕСКОГО РАДИОИМПУЛЬСА В МЕЖПЛАНЕТНОЙ ПЛАЗМЕ ... | 43 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>М.А. Колединцева, А.В. Могильников</i><br>ЛОКАЛЬНО-ОПТИМАЛЬНЫЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ПОГЛОЩАЮЩИЙ<br>СЛОЙ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО<br>УРАВНЕНИЯ МЕТОДОМ ДИСКРЕТНОГО<br>ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ ..... | 46 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## **ПОДСЕКЦИЯ 1.2**

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

|                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Председатель – Шостак А.С., проф. каф. КИПР, д.т.н.;</i><br><i>зам. председателя – Озёркин Д.В., доцент, декан РКФ, к.т.н.</i>                                                             |    |
| <br><i>В.П. Зайцев, И.И. Горелкин, М.М. Абулкасымов</i><br>УСТРОЙСТВО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ ЛЬДА.....                                                                               | 51 |
| <i>Э.А. Аджахунов</i><br>АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ<br>РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ОТРАЖАЕМОСТИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ<br>СРЕДЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ .....                                                | 54 |
| <i>К.С. Дарменов, К.М. Красников, М.М. Абулкасымов</i><br>КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАПРЕЩЕННЫХ<br>ПРЕДМЕТОВ .....                                                                    | 57 |
| <i>А.В. Гурьянов, А.В. Шукалов, И.О. Жаринов,</i><br><i>М.О. Костишин, Д.С. Иваньков</i><br>АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ОБ ОТКАЗАХ ИЗДЕЛИЙ<br>АВИОНИКИ НА ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ ..... | 59 |
| <i>А.В. Гурьянов, О.А. Кузнецова, А.В. Шукалов,</i><br><i>И.О. Жаринов, В.А. Нечаев</i><br>КЛАССИФИКАЦИЯ ОТКАЗОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ<br>НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ АВИОНИКИ.....                   | 62 |
| <i>А.Ю. Мишина, Ю.С. Отмахов</i><br>АНАЛИЗ МЕТОДИК ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА<br>ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ БЛОКОВ КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ .....                                                                | 65 |
| <i>А.В. Паращинец, А.Е. Ефремова, В.В. Терешков, А.А. Залевский</i><br>МЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ МШУ,<br>ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ РАБОТЫ В СОСТАВЕ<br>КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ .....          | 68 |
| <i>А.Б. Перельгин, А.Е. Абрамов, В.Э. Белоусова, Я.С. Груздева</i><br>ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОКРИСТАЛЬНЫХ МИКРОМОДУЛЕЙ (МКМ)<br>В БОРТОВОЙ КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЕ .....                               | 72 |
| <i>Д.Е. Пономарев</i><br>АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ ДАННЫХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ<br>РАЗНЫХ ВИДОВ ПОЛЯРИЗАЦИИ В МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ<br>РАДИОЛОКАТОРАХ.....                                               | 75 |

|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>А.С. Рудометова, К.В. Кокоулин</b><br>РАСПРОСТРАНЕНИЕ СИГНАЛОВ В ОДНОРОДНОЙ<br>И НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДАХ.....                                                 | 78 |
| <b>Д.Г. Старосек</b><br>РАЗВИТИЕ ПЛАЗМЕННЫХ ЗВУКОИЗЛУЧАТЕЛЕЙ.....                                                                                            | 80 |
| <b>К.А. Джакыпов, Т.Г. Черныш, М.М. Абулкасымов</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОДНОРОДНОЙ И НЕОДНОРОДНОЙ<br>ПОДСТИЛАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ИМПЕДАНС ЛИНЕЙНЫХ АНТЕНН..... | 83 |

## **ПОДСЕКЦИЯ 1.3**

### **РАДИОТЕХНИКА**

*Председатель – Семенов Э.В., доцент, проф. каф. РЗИ, д.т.н.;*  
*зам. председателя – Артищев С.А., инженер каф. КУДР, к.т.н.*

|                                                                                                                                                                                        |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Б.В. Белецкий, А.С. Задорин</b><br>МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СИМИСТОРНЫМ<br>БЛОКОМ .....                                                                                      | 87   |
| <b>А.И. Бердюгин, В.Ю. Выговский, Р.А. Кремзер</b><br>АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДВУМЕРНОЙ<br>ДИАГНОСТИКИ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ МАТЕРИАЛОВ<br>В КВАЗИОПТИЧЕСКИХ ПУЧКАХ.....                  | 89   |
| <b>А.В. Местников, А.Н. Глазырин</b><br>ИЗУЧЕНИЕ Х-ПАРАМЕТРОВ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО<br>ПРОЕКТИРОВАНИЯ ADVANCED DESIGN SYSTEM (ADS). .....                                          | 93   |
| <b>И.Ю. Дубовской</b><br>ПОВЫШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА<br>СВЧ-СМЕСИТЕЛЕЙ.....                                                                                                      | 96   |
| <b>Н.В. Каргаполова</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРОВ ОБЛАСТИ<br>СКАНИРОВАНИЯ НА РЕЗУЛЬТАТ ВОССТАНОВЛЕНИЯ<br>ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ<br>АМПЛИФАЗОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ..... | 99   |
| <b>А.В. Помазанов, А.С. Коряковцев</b><br>ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ S-ДИАПАЗОНА .....                                                                                          | 102  |
| <b>А.И. Кравченко</b><br>ПОВЕРХНОСТНО-МОНТИРУЕМЫЙ ШИРОКОПОЛОСНЫЙ<br>НАПРАВЛЕННЫЙ ОТВЕТВИТЕЛЬ СВЧ-ДИАПАЗОНА.....                                                                        | 1044 |
| <b>А. Кумбасов</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ<br>РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ДЕФЕКТОВ КОАКСИАЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ<br>МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ.....                                   | 107  |
| <b>Б.А. Кунанбаев, Д.Б. Дуйсен</b><br>ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ В ПРОТОКОЛЕ BV84<br>КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ .....                                                             | 110  |

|                                                                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Б.А. Кунанбаев, Д.Б. Дуйсен</b><br>СПОСОБЫ УСИЛЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ СИСТЕМЫ КВАНТОВОГО<br>РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ С ВРЕМЕННЫМ КОДИРОВАНИЕМ<br>ПО ПРОТОКОЛУ BB84 .....                   | 113 |
| <b>В.В. Лесяков, А.Ф. Юнчис</b><br>СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАДИЦИОННОГО И<br>МОДИФИЦИРОВАННОГО ДЕЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ УИЛКИНСОНА .....                                                  | 116 |
| <b>А.Е. Ефремова, А.В. Паращинец, В.В. Терешков, А.А. Залевский</b><br>ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАЛОШУМЯЩЕГО УСИЛИТЕЛЯ 96–125 МГц.....                                                         | 119 |
| <b>Н.В. Пилин</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ШУМОВ ОПТОЭЛЕКТРОННОГО<br>ГЕНЕРАТОРА СВЧ-ДИАПАЗОНА С ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ<br>ЛИНИЕЙ ЗАДЕРЖКИ .....                                         | 122 |
| <b>А.В. Горевой, А.А. Лукина, Н.В. Пилин, Н. Аманбаев</b><br>ВОЗБУЖДЕНИЕ ДИСКОВОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО<br>СВЧ-РЕЗОНАТОРА БЕГУЩЕЙ ВОЛНОЙ .....                                           | 125 |
| <b>Р.В. Серенков, С.И. Разгуляев, А.И. Зайниев, М.М. Меликов</b><br>СИСТЕМА КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ<br>НА ОСНОВЕ ПРОТОКОЛА B92 .....                                         | 128 |
| <b>И.О. Русинов</b><br>ВЛИЯНИЕ ВТОРОЙ И ТРЕТЬЕЙ ГАРМОНИКИ НА<br>ИНТЕРМОДУЛЯЦИОННЫЕ ИСКАЖЕНИЯ В GAN-ТРАНЗИСТОРАХ.....                                                                 | 131 |
| <b>В.С. Смирнов</b><br>СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫЙ ВВОД/ВЫВОД СИГНАЛА СВЧ- И<br>КВЧ-МОНОЛИТНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ<br>СКВОЗНЫХ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ОТВЕРСТИЙ .....              | 133 |
| <b>А.В. Тучин, А.К. Упит</b><br>ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОБЪЕКТА<br>ПО ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ КАРТИНЕ.....                                                                              | 136 |
| <b>В.С. Чернышов</b><br>ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ИЗБЫТОЧНОСТИ СВОЙСТВ МОБИЛЬНОГО<br>КОМПЛЕКСА ПЕРИМЕТРАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ .....                                                                   | 139 |
| <b>К.В. Шугурова, И.Р. Шакирзянов</b><br>КОМПАКТНАЯ АНТЕННАЯ РЕШЁТКА ДЛЯ ПРИЁМНОГО МОДУЛЯ<br>АВТОМОБИЛЬНОГО РАДАРА.....                                                              | 142 |
| <b>К.В. Шугурова, И.Р. Шакирзянов</b><br>АНТЕННАЯ РЕШЁТКА W-ДИАПАЗОНА<br>ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО РАДАРА.....                                                                              | 145 |
| <b>Б.А. Жайлаубай, Б.Р. Юсупова, Д.Н. Хатьков</b><br>ОЦЕНКА ФРАКТАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ХЕРСТА<br>К АКУСТИЧЕСКИМ ЗАТУХАЮЩИМ СИГНАЛАМ УДАРНОГО<br>ВОЗБУЖДЕНИЯ ДЛЯ РАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ ..... | 148 |
| <b>В.П. Костелецкий</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО<br>ОБНАРУЖЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ<br>СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫМ НЕЛИНЕЙНЫМ СЕНСОРМ.....                                | 150 |

## **ПОДСЕКЦИЯ 1.5**

### **АУДИОВИЗУАЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЙ СЕРВИС**

*Председатель секции – Пустынский И.Н., проф. каф. ТУ, д.т.н.;*  
*зам. председателя – Костевич А.Г., доцент каф. ТУ, к.т.н., с.н.с.*

|                                                                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>А.В. Выдрина</b><br>МЕТОДИКА И РЕАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ<br>НА ПРЕДПРИЯТИИ .....                                                                       | 154 |
| <b>А.В. Гребенюк</b><br>ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ<br>СИСТЕМ ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВА<br>КОНТРОЛЯ ТРЕВОЖНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ ..... | 156 |
| <b>М.А. Дроглов</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ГАУССОВА ШУМА<br>С УПРАВЛЕНИЕМ ПАРАМЕТРАМИ И СПОСОБАМИ НАЛОЖЕНИЯ<br>НА ИЗОБРАЖЕНИЕ .....                           | 157 |
| <b>К.М. Зверева</b><br>СОПОСТАВИТЕЛЬНОЕ РАССМОТРЕНИЕ ДЕЛОВОЙ ИГРЫ<br>И ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ .....                                                        | 161 |
| <b>В.Ю. Зенкова, В.В. Максимова</b><br>ПРОЕКТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ФОРУМА «ЧИСТЫЙ БАЙКАЛ» .....                                                                         | 165 |
| <b>В.Ю. Зенкова, В.В. Максимова</b><br>ИНФОРМАЦИОННЫЙ СЕРВИС – ПРОФЕССИЯ БУДУЩЕГО .....                                                                           | 167 |
| <b>В.В. Зиберт</b><br>ИЗУЧЕНИЕ ПРОБЛЕМ И ПЕРСПЕКТИВ УТИЛИЗАЦИИ БЫТОВЫХ<br>ОТХОДОВ В Г. ТОМСКЕ .....                                                               | 170 |
| <b>А.В. Каменский</b><br>СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ОПЕРАТОРОВ<br>УЛУЧШЕНИЯ ЧЕТКОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ<br>С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУМЕРНЫХ ЛАПЛАСИАНОВ .....          | 173 |
| <b>П.С. Карпова</b><br>ВЫБОР КАНАЛА ПРОДВИЖЕНИЯ ТОВАРА<br>НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЯ СЕРВИСА .....                                                                    | 176 |
| <b>П.С. Карпова, Н.А. Козлова, Е.Е. Кузьмина</b><br>ОЦЕНКА РЫНОЧНОЙ ДОЛИ НА ПРИМЕРЕ<br>ФИТНЕС-ПРОЕКТА .....                                                       | 179 |
| <b>М.Г. Киндяшов</b><br>ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ<br>ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ<br>ЭФФЕКТА ПАРАЛЛАКСА .....                            | 181 |
| <b>Ю.В. Киселева</b><br>ОТБОР СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ РАБОТЫ<br>НА ПРЕДПРИЯТИИ ООО «СМК ЛАУКАР» .....                                                                    | 183 |

|                                                                                                                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Д. Кисметулы, Е.Н. Тлепов</i><br>УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ<br>ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЮЩИХ КАМЕР .....                                                                                                             | 186 |
| <i>Н.А. Козлова</i><br>CRM-СИСТЕМЫ: КРИТЕРИИ ВЫБОРА .....                                                                                                                                                                              | 188 |
| <i>Е.Е. Кузьмина</i><br>АНАЛИЗ ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ<br>СФЕРЫ ИНФОРМАЦИОННОГО СЕРВИСА.....                                                                                                                               | 190 |
| <i>С.К. Мозгунова</i><br>МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ .....                                                                                                                                                             | 193 |
| <i>А.В. Нестеров</i><br>ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ ДЛЯ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА<br>СЕТИ VSAT ЦИФРОВЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАТЧИКОВ .....                                                                                                          | 195 |
| <i>К.И. Никитина, Р.А. Петрушин</i><br>ПРОРАБОТКА СИСТЕМЫ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ<br>ПРОДВИЖЕНИЯ ПРОДУКТОВ НА РЫНКИ РАЗНОГО УРОВНЯ.<br>ОПТИМАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ<br>ПРОДВИЖЕНИЯ ТОВАРА В РАМКАХ КОНКРЕТНОЙ СИСТЕМЫ ..... | 198 |
| <i>К.С. Полунина</i><br>ТЕХНОЛОГИЯ НЛП В «ИНФОРМАЦИОННОМ СЕРВИСЕ» .....                                                                                                                                                                | 201 |
| <i>Н.Я. Бикбердина, Е.О. Прокопенко, С.В. Колчин</i><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК<br>СВЕРХСКОРОСТНОЙ ВИДЕОКАМЕРЫ «ВИДЕОСПРИНТ» .....                                                                                  | 203 |
| <i>Б.Ц. Дамдинжапова, А.Р. Романова, А.А. Сашина,<br/>А.Р. Софронова, А.В. Филатов</i><br>АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ БУЛЬБАРНОЙ КОНЪЮНКТИВЫ .....                                                                                              | 206 |
| <i>К.А. Рылов, А.Н. Утемисов</i><br>ИНВЕРСНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ.....                                                                                                                                                    | 208 |
| <i>Д.А. Салыкова, А.К. Мовчан</i><br>ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАСФОКУСИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ<br>С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ ИНВЕРСНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ...                                                                                              | 211 |
| <i>Д.В. Квасов, Е.А. Сердюк</i><br>СИСТЕМЫ АКТИВНОГО ЗРЕНИЯ РОБОТОВ .....                                                                                                                                                              | 214 |
| <i>М.Е. Цыгановский</i><br>КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ МЕТОД ОТБОРА ИДЕЙ<br>ПО ВЫБОРУ ХОСТИНГА.....                                                                                                                                                 | 216 |
| <i>К.В. Шипунова, Д.Е. Головина, В.В. Капустин</i><br>ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ АКТИВНО-ИМПУЛЬСНЫХ<br>ТЕЛЕВИЗИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ<br>С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕЖКАДРОВЫХ АЛГОРИТМОВ .....                                         | 219 |
| <i>К.В. Шипунова</i><br>ОЦЕНКА КОНТРАСТНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК<br>ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....                                                                                                                                    | 222 |
| <i>Т.Н. Шустрова</i><br>РЕИНЖИНИРИНГ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ .....                                                                                                                                                                            | 224 |

|                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Г.В. Лазарейт</b><br>СИСТЕМА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ В ШКОЛЕ..... | 227 |
|--------------------------------------------------------------|-----|

## **ПОДСЕКЦИЯ 1.6**

### **ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ ШИРОКОПОЛОСНОГО БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА**

*Председатель секции – Демидов А.А., зав. каф. ТОР, к.ф.-м.н.;  
зам. председателя – Гельцер А.А., доцент каф. ТОР, к.т.н*

|                                                                                                                                                                                                                                 |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>А.А. Абдиразак</b><br>МОДЕЛЬ ММО С ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫМ<br>БЛОЧНЫМ КОДИРОВАНИЕМ.....                                                                                                                                    | 231  |
| <b>Ц.Д. Балданов, Я.В. Крюков</b><br>ОБНАРУЖЕНИЕ ПРЕАМБУЛ МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО<br>ПОДАВЛЕНИЯ ПОМЕХ В СЕТЯХ LTE .....                                                                                                       | 234  |
| <b>А.В. Гафарова</b><br>ОПИСАНИЕ МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛА<br>С ЦЕЛЮ УМЕНЬШЕНИЯ ВЗАИМНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ПРИ<br>ПЕРЕДАЧЕ ПО МНОГОКАНАЛЬНЫМ СИСТЕМАМ СВЯЗИ .....                                                                    | 2377 |
| <b>А.С. Дубровский</b><br>ФОРМИРОВАНИЕ РАЗРЕЖЕННЫХ РЕГУЛЯРНЫХ МАТРИЦ<br>ДЛЯ LDPC-КОДИРОВАНИЯ.....                                                                                                                               | 240  |
| <b>В.В. Ковалев</b><br>ВЫБОР АЛГОРИТМА ГЕНЕРАЦИИ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ<br>ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДЛЯ ШИФРОВАНИЯ ДАННЫХ<br>НА ФИЗИЧЕСКОМ УРОВНЕ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ С OFDM .....                                                             | 242  |
| <b>В.В. Маркелов, А.В. Гурьянов, А.В. Шукалов,<br/>И.О. Жаринов, М.О. Костишин, В.А. Нечаев</b><br>ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ВЫПОЛНЕНИЯ ПОЛЁТОВ<br>В ВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ С ТРЕБУЕМЫМИ<br>НАВИГАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ..... | 245  |
| <b>Э.М. Дмитриев, А.К. Мовчан</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ PLC-КАНАЛА .....                                                                                                                                                              | 2488 |
| <b>Б.Е. Мыктыбаев, А.Б. Жанбеков</b><br>РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА<br>С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SDR-ПЛАТФОРМЫ .....                                                                                                            | 251  |
| <b>С.Ю. Прокопюк, Д.И. Россамахин</b><br>СИСТЕМА БЕСКОНТАКТНОЙ ОПЛАТЫ ПРОЕЗДА В ОБЩЕСТВЕННОМ<br>ТРАНСПОРТЕ С ФУНКЦИЕЙ СБОРА СТАТИСТИКИ .....                                                                                    | 253  |
| <b>В.Е. Шакмарёва, Е.А. Уварова</b><br>СИНХРОНИЗАЦИЯ И ЭКВАЛАЙЗИРОВАНИЕ В FBMC .....                                                                                                                                            | 255  |
| <b>П.С. Мальцев</b><br>РЕГИСТРАЦИЯ УТЕЧКИ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ.....                                                                                                                                                                  | 258  |

## **ПОДСЕКЦИЯ 1.7**

### **РОБОТОТЕХНИКА**

*Председатель секции – Шурыгин Ю.А., первый проректор,  
зав. каф. КСУП, д.т.н., проф.;*

*зам. председателя – Коцубинский В.П., доцент каф. КСУП, к.т.н.*

|                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>И.В. Васильев, В.А. Рачис, К.А. Стряпчев, Е.С. Королюк</i><br>ROADBOT – РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС<br>ДЛЯ РЕМОНТА ДОРОЖНЫХ ЯМ .....            | 261 |
| <i>А.Е. Дорожский, Е.П. Дорожский, А.А. Изюмов</i><br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАБОРА LEGO MINDSTORMS 9797<br>ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ «ЦВЕТНАЯ СОРТИРОВКА» ..... | 263 |
| <i>А.А. Залевский, А.В. Паращинец, А.Е. Ефремова</i><br>УПРАВЛЕНИЕ ВСЕНАПРАВЛЕННОЙ ПЛАТФОРМОЙ .....                                              | 266 |
| <i>Д.А. Мяхор</i><br>СОЗДАНИЕ АВТОНОМНОГО ШАГАЮЩЕГО РОБОТА-ГЕКСАПОДА<br>ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ .....                   | 269 |
| <i>Ф.В. Попелев, В.В. Васецкий, А.А. Изюмов</i><br>ПЛАТФОРМА ДЛЯ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА .....                                                       | 271 |
| <i>А.В. Функ, О.В. Пехов</i><br>ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОИНТЕРФЕЙСА<br>В УПРАВЛЕНИИ МЕХАТРОННЫМИ ПРОТЕЗАМИ .....                           | 274 |

## **ПОДСЕКЦИЯ 1.8**

### **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ**

*Председатель секции – Шурыгин Ю.А., первый проректор,  
зав. каф. КСУП, д.т.н., проф.;*

*зам. председателя – Черкашин М.В., доцент каф. КСУП, к.т.н.*

|                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>А.В. Мишуткин, А.В. Степачева, И.М. Добуш</i><br>ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА<br>ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВЧ-СТУПЕНЧАТЫХ АТТЕНЮАТОРОВ ..... | 277 |
| <i>В.А. Персиянов</i><br>ОСНОВЫ ТЕМПЕРАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ .....                                                                                 | 280 |
| <i>Р.К. Собянин, А.А. Коколов</i><br>ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО<br>СВЧ-УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ КЛАССА F .....                                    | 282 |
| <i>А.Ю. Олисовец</i><br>РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО<br>ПАССИВНОГО СВЧ-ФИЛЬТРА НИЖНИХ ЧАСТОТ<br>В ДИАПАЗОНЕ 300–400 МГц .....        | 286 |





*Научное издание*

**Материалы  
Международной научно-технической конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
«Научная сессия ТУСУР–2017»,  
посвященной 55-летию ТУСУРа**

**10–12 мая 2017 г., г. Томск**

**В восьми частях**

**Часть 1**

Корректор – **В.Г. Лихачева**  
Верстка **В.М. Бочкаревой**

---

Издательство «В-Спектр».  
Сдано на верстку 20.03.2017. Подписано к печати 25.04.2017.  
Формат 60×84<sup>1/16</sup>. Печать трафаретная. Печ. л. 18,625  
Тираж 100 экз. Заказ 8.

---

ТУСУР, г. Томск, пр. Ленина, 40, к. 205, т. 70-15-24  
(записано 680 CD-дисков с электронными версиями всех частей сборника  
для нужд всех структурных подразделений университета и авторов)

Издательство «В-Спектр».  
634055, г. Томск, пр. Академический, 13-24, т. 49-09-91  
E-mail: [bvm@sibmail.com](mailto:bvm@sibmail.com)