

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»  
АКАДЕМИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ НАУК  
АССОЦИАЦИЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ ОТДЕЛОВ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ (АМО)  
РОССИЙСКО-КИРГИЗСКИЙ КОНСОРЦИУМ  
ТЕХНИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ

---

# РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА

---

ДВАДЦАТЬ ВТОРАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

25—26 февраля 2016 г., Москва

## ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ ТОМ 1



УДК 621.3+621.37[(043.2)]

Р 154

**РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕ-**  
Р 154 **ТИКА:** Двадцать вторая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (25—26 февраля 2016 г., Москва): Тез. докл. В 3 т. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — 332 с.

ISBN 978-5-383-01018-1

ISBN 978-5-383-01019-8 (Том 1)

Помещенные в первом томе сборника тезисы докладов студентов и аспирантов российских и зарубежных вузов освещают основные направления современной радиотехники, электроники и информационных технологий.

Сборник предназначен для студентов, аспирантов, преподавателей вузов и инженеров, интересующихся указанными выше направлениями науки и техники.

В отдельных случаях в авторские оригиналы внесены изменения технического характера. Как правило, сохранена авторская редакция.

---

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

**Роголёв Н.Д.** — ректор, председатель Оргкомитета

**В.К. Драгунов** — проректор по научной работе, сопредседатель

**Т.А. Степанова** — проректор по учебной работе, сопредседатель

**Е.В. Бычкова** — научный сотрудник кафедры АЭП, ответственный секретарь

**С.А. Цырук** — помощник проректора по научной работе

**А.Е. Тарасов** — начальник отдела международных связей

**С.А. Грузков** — директор ИЭТ

**И.Н. Мирошникова** — директор ИРЭ

**А.В. Дедов** — директор ИТАЭ

**П.А. Бутырин** — директор ИЭЭ

**В.П. Лунин** — директор АВТИ

**С.А. Серков** — директор ЭнМИ

**С.В. Захаров** — директор ИПЭЭф

**А.Ю. Невский** — директор ИнЭИ

**А.С. Федулов** — директор филиала МЭИ в г. Смоленске

**М.М. Султанов** — директор филиала МЭИ в г. Волжский

**С.А. Абдулкеримов** — директор филиала МЭИ в г. Душанбе

**Н.И. Файрушин** — директор Энергетического колледжа (филиал МЭИ)

в г. Конаково

ISBN 978-5-383-01018-1

ISBN 978-5-383-01019-8 (Том 1)

© Авторы, 2016

© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2016

**Направление**  
**РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

Научный руководитель направления —

директор ИРЭ, д.т.н.,  
профессор И.Н. Мирошникова



## Секция 1

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИОТЕХНИКИ

Председатель секции — д.т.н., профессор В.Г. Карташев

Секретарь секции — к.т.н., доцент Е.В. Шалимова

А.Ю. Гурьянов, асп.; А.А. Сонин, студ.; рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц.  
(НИУ «МЭИ»)

## ОСОБЕННОСТИ НОРМАЛЬНОГО ВОЛНОВОДНОГО ПЕРЕХОДА С МЕТАЛЛИЧЕСКОГО НА НЕИЗЛУЧАЮЩИЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ВОЛНОВОД

Неизлучающий диэлектрический волновод (НДВ) является гибридом диэлектрического (ДВ) и металлического (МВ) волноводов. Общее число публикаций в области НДВ — порядка 300, больше половины из них опубликованы в период с 2003 по 2013 г., что является признаком актуальности и важности работ в данном направлении. Раздел, касающийся волноводных переходов для НДВ, не охвачен патентами и практически не охвачен статьями.

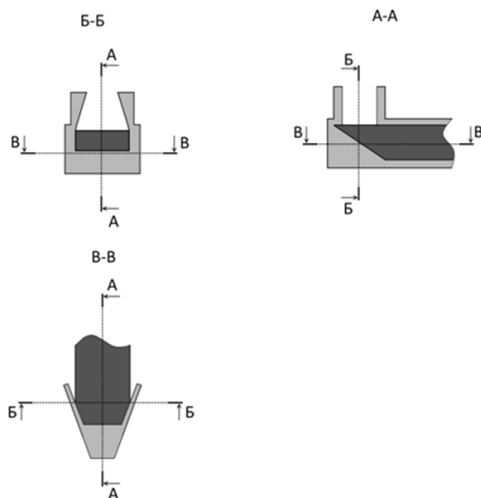


Рис. 1. Геометрические сечения нормального волноводного перехода

В настоящей работе рассматривается волноводный переход МВ-НДВ с нормальным включением. Сечения предлагаемого нормального волноводного перехода представлены на рис. 1.

В отличие от уже существующего перехода [1] предлагаемый нами переход обладает более гладкой и широкой полосой пропускания в диапазоне длин волн 8—12 мм. Было проведено математическое моделирование соединения нормального волноводного перехода с торцевым биконическим волноводным переходом [2]. Материалом диэлектрического стержня был выбран материал с параметрами  $\varepsilon = 2,25$  и  $\text{tg}\delta = 10^{-3}$ . Для выявления оптимальных параметров рассматриваемого перехода по критерию наиболее широкой и гладкой полосы пропускания изменялись угол среза диэлектрического стержня и угол раскрытия металлического рупора.

### Литература

1. **Kazuki H., Kazuhiro M., Nobuki H.** USA Patent № US6868258B2, 15 March 2005.
2. **Guryanov A.Y., Krutskih V.V.** Metal waveguide to semi-shielded dielectric waveguide front trans-ducers // 24th Int. Crimean Conference «Microwave & Telecommunication technology». 2014. Vol. 2. P. 629—630.

А.А. Кальщикова, студ.; рук. В.В. Штыков, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ СВЯЗИ

Многие практические задачи требуют регистрации акустических сигналов как естественного, так и искусственного происхождения. Часто объекты, в которых распространяются упругие волны, представляют собой плоскостойкие волноводные структуры. Для уверенного выделения сигналов необходимо знать заранее амплитудные и фазочастотные характеристики волноводных структур. Решению этой задачи посвящена работа.

Основные расчетные соотношения могут быть найдены посредством функции Грина, при этом возникает сложный контур интегрирования на комплексной плоскости с набором особых точек, что затрудняет быстрое численное решение. В данной работе рассматривается метод, основанный на использовании аналога леммы Лоренца [1].

Источник возбуждения колебаний частиц на поверхности волноводной структуры считается однородным и известным. Исследуемая пластина находится в вакууме. Стенки пластины считаются идеально отражающими. Методом углового спектра определяются волновые числа, сумма плоских волн для которых в конечной сумме, с достаточным приближением, дает аппроксимацию начального распределения [2].

Рассматривая определенные виды колебаний, для каждой моды находим волновое число распространения акустической волны в произвольном направлении. Интегрируя поля мод, распространяющихся под разными углами, в заданном сечении находим распределение скоростей.

Достоинство метода заключается в нахождении углового спектра методом быстрого преобразования Фурье, что позволяет построить конвейерную схему сигнального процессора для обработки сигналов и построения измерительной аппаратуры.

Главной проблемой метода является сложность выбора мод возбуждаемых колебаний. Неправильно выбранные или неучтенные моды оказывают значительное влияние на полученные характеристики волноводной структуры.

Поскольку становятся известны скорость частиц и сила на поверхности пластины, то можно найти матрицу передачи, входной и выходной импедансы системы, а также амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики акустического канала связи.

Предлагаемая процедура будет полезна при расчете акустоэлектрических систем, которые применяются в дефектоскопии, локации, медицине, спасательных операциях различного рода и т.д.

### Литература

1. **Вайнштейн Л.А.** Электромагнитные волны. М.: Радио и связь, 1988.
2. **Auld B.A.** Acoustic fields and waves in solids. 1973. Vol. 1.

Д.В. Котов, О.А. Адоньев, соискатели; А.А. Блинников, асп.;  
рук. В.С. Ижуткин, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ», АО «ВНИИРТ»)

## МЕТОД УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КООКСИАЛЬНО-ПОЛОСКОВОГО ПЕРЕХОДА В СВЧ ИЗМЕРЕНИЯХ

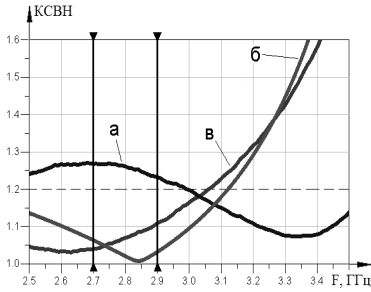


Рис. 1. Зависимость КСВН модели, прототипа и de-embedded фильтра от частоты

В результате измерения характеристик прототипа режекторного фильтра при помощи анализатора цепей PNA-X компании Keysight Technologies, выяснилось, что в полосе прозрачности фильтра данные измерения прототипа [рис. 1 (кривая *а*)] и характеристика компьютерной модели, построенной в САПР Keysight ADS [рис. 1 (кривая *б*)], различаются так, что КСВН измеренного фильтра не соответствует требуемому значению (не более 1,15).

В ходе изучения описанного явления рассмотрены три причины, приводящие к данному различию результатов: погрешность изготовления прототипа, вносимая фрезеровальным станком, отклонение характеристик подложки от номинальных значений и влияние коаксиально-полосковых переходов (КПП). Более глубокое исследование проблемы показало, что первые две причины не могут привести к наблюдаемым отклонениям, а основной вклад вносит влияние КПП. Для учета влияния КПП разработан трехэтапный метод оптимизации учета влияния параметров КПП в полосе частот 2,5—3,5 ГГц.

На основании данных из [1, 2] и при использовании разработанного метода построена эквивалентная схема КПП, состоящая из отрезков коаксиальных линий и  $R$ -,  $L$ -,  $C$ -элементов. Впоследствии проведен пересчет результатов измерений прототипа с учетом  $S$ -матриц КПП (известный как процедура de-embedding). Результат, полученный после процедуры de-embedding, изображен на рис. 1 (кривая *б*). КСВН не превышает значения 1,15 в рабочей полосе частот.

В дальнейшем разработанный метод учета влияния КПП и полученные  $S$ -матрицы планируется использовать при верификации результатов моделирования новых СВЧ устройств.

### Литература

1. **Справочник** по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств / С.И. Бахарев, В.И. Вольман и др.; под ред. В.И. Вольмана. М.: Радио и связь, 1982. 328 с.
2. **Chramiec J., Piotrowski J.K.** Novel approach to the characterization of coaxial-to-microstrip transitions.: Technical University of Gdansk, Poland. 1997. P. 697—702.



*Д.В. Леонов, асп.; рук-ли В.А. Гречихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);  
В.А. Фин, с.н.с., к.т.н.(НИИТП)*

## **РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩЕГО МОДУЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕДИЦИНСКОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА**

Ультразвуковое медицинское диагностическое устройство (УЗМДУ) [система звуковидения (ЗВ)] и радиолокатор с синтезированной апертурой [система радиовидения (РВ)] близки по структуре. Известно много литературных источников, описывающих основные физические соображения, определяющие расчет дальности действия систем РВ [1—4]. Расчету же УЗМДУ в книгах и публикациях в последнее время, напротив, уделялось недостаточно внимания.

Итогом исследования является оценка возможности совместной разработки систем ЗВ и РВ путем сопоставления методик расчета. В докладе акцентируются те фрагменты методики расчета энергетических параметров, которые свойственны системам ЗВ в жидкостях, например частотная зависимость затухания, а также и те, что преимущественно характерны для УЗМДУ, например необходимость работы в ближней зоне излучателя.

Основными параметрами, определяемыми в процессе расчета, являются: величина затухания зондирующего импульса в дисперсионной среде; усредненная импульсная мощность передатчика; разрешающая способность в зоне обзора; ширина основного лепестка диаграммы направленности (ДН); вектор Пойнтинга у цели и вблизи апертуры; максимальный и минимальный уровни входного сигнала; шумовые характеристики и динамический диапазон.

На методику расчета влияет тип УЗ датчика. Расчет параметров для конвексного датчика сложнее, чем для линейного. Это обусловлено тем, что в последнем надо предварительно определить и учесть лишь активную апертуру, т.е. учесть только тепьезоэлементы, в ДН которых непосредственно попадает отражатель.

### **Литература**

1. **Баскаков А.И., Щернакова Л.А.** Энергетические соотношения в радиолокации: уч. пособие. Ч.1 / под ред. А.К. Нарышкина. М.: Изд-во МЭИ, 1993. — 90 с.
2. **Справочник** по радиолокации / под ред. М. Скольника. Нью-Йорк, 1970. Пер. с англ. под общей ред. К.Н. Трофимова. Т.1. Основы радиолокации / под. ред. Я.С. Иццоки. М.: Сов. радио, 1976. 456 с.
3. **Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю.** Радиовидение (радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли): учебное пособие для вузов. М.: Радиотехника, 2005.
4. **Финкельштейн М.И.** Основы радиолокации: учебник для вузов. 2-е изд. М.: Радио и связь, 1983. 536 с., ил.

*Е.В. Новикова, асп.; рук. В.В. Штыков, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПАДЕНИЕ ПУЧКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА ГРАНИЦУ РАЗДЕЛА ДВУХ СРЕД**

Рассматривается падение пучка [1] электромагнитных волн (ЭМВ) радиочастотного диапазона на границу раздела двух сред. Решается задача определения параметров (амплитуды, начальной фазы и поляризации) [2] отраженного и прошедшего волновых возмущений.

В качестве физической модели среды используется модель в виде изотропной и немагнитной среды. Рассматривается нормальное падение пучка ЭМВ на границу раздела сред.

Исследование является первоначальным этапом решения задачи о распространении пучка ЭМВ через плоскостойкую среду. В дальнейшем это позволит перейти к решению обратной задачи о восстановлении профиля плоскостойкой среды, т.е. нахождения параметров слоев (в частности, диэлектрической проницаемости), по известным параметрам падающего и отраженного пучков.

Новизна исследований заключается в том, что конкретизация задачи в ряде направлений еще не осуществлена полностью. Актуальность работы связана с возможностью использования результатов в большом количестве приложений. Результаты работы могут быть использованы:

- 1) в радиотехнике, электродинамике, оптике, лазерной физике и биологии для моделирования, оптимизации воздействия и диагностики сред;
- 2) в лазерной физике, физиологической оптике и лазерной спектроскопии для исследования воздействия и взаимодействия излучения с веществом;
- 3) в биотехнических системах и медицинских комплексах для биологических исследований лечебно-диагностического назначения и функциональной диагностики;
- 4) в геофизике для определения строения и состава высоких слоев атмосферы;
- 5) в геологии для определения месторождений.

### **Литература**

1. **Гончаренко А.М.** Гауссовы пучки света. Мн.: Наука и техника, 1977. 144 с.
2. **Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П.** Теория волн. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. 384 с.

А.А. Прозоров, студ.; рук. С.В. Владимиров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ПРОСТРАНСТВЕ

Использование современных технологий при проведении исследований позволяет измерять различные показатели в автоматическом или полуавтоматическом режимах. В отличие от ручного режима автоматическое измерение показателей позволяет получать данные более высокой точности за меньшее время.

Поскольку изучение электромагнитных (ЭМ) полей требует проведения большого числа измерений различных характеристик ЭМ полей [1], было принято решение о создании системы (сканера), позволяющей в автоматическом режиме снимать ключевые характеристики ЭМ полей, в частности распределение амплитуды ЭМ поля.

Система была реализована на основе блочной архитектуры, что позволило упростить процесс разработки, а также обеспечить необходимую масштабируемость системы. Аппаратный блок управления сканера реализован на базе платформы ArduinoUNO. Вычислительная мощность данной платформы позволяет реализовать на ее базе не только программу управления сканером, но и проводить первичную обработку полученных экспериментальных данных. Для дополнительной обработки экспериментальных данных и их визуализации было разработано программное обеспечение (ПО) в среде графического программирования LabVIEW [2]. Использование методов распараллеливания вычислений позволило реализовать множественную обработку данных, а использование графических инструментов LabVIEW — наглядно представлять полученные результаты. Так, на рис. 1 представлена экспериментально полученная яркостная диаграмма.

Данный сканер можно применять для проведения лабораторных работ и научных экспериментов.

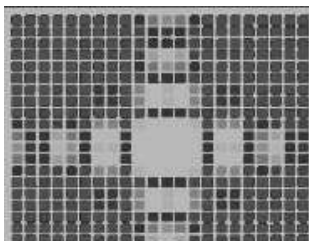


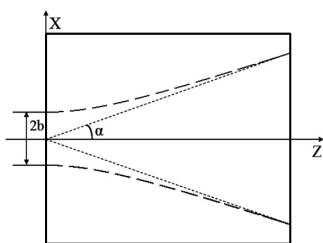
Рис. 1. Яркостная диаграмма

### Литература

1. **Проблемы** исследования дифракционных явлений с использованием диэлектрических структур / В.А. Щербаков, С.М. Минкара, В.Ф. Взятыхшев, С.В. Владимиров // XXI Междунар. научно-техн. конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». М., 2015. С. 15.
2. **Батаврин В.К.** LabVIEW: практикум по основам измерительных технологий. М.: ДМК Пресс, 2010.

## **ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ В МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ С ГИПЕРБОЛИЧЕСКИМ ПРОФИЛЕМ БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЫ**

В рамках работы проводилось исследование характеристик металлодиэлектрического волновода с гиперболическим профилем боковой поверхности диэлектрической пластины. Эскиз волновода изображен на рис. 1. Данное устройство может быть использовано как обладающий низкими потерями переход между линиями с разными размерами поперечного сечения или как антенна.



**Рис. 1.** Металлодиэлектрический волновод с гиперболическим профилем боковой поверхности диэлектрической пластины (вид сверху)

Задача нахождения собственных мод решалась с использованием проекционных методов в электродинамике [1]. Вначале был получен модовый состав клиновидного металлодиэлектрического волновода. Полученное решение сравнивалось с приближенным решением [2]. Затем решалась задача нахождения собственных мод в металлодиэлектрическом волноводе с гиперболическим профилем боковой поверхности диэлектрической пластины.

Проекционные методы позволяют также определить модовый состав металлодиэлектрического волновода, содержащего различного рода включения (например, отверстия в диэлектрике), что позволяет использовать металлодиэлектрический волновод как формирователь поля необходимой конфигурации в ближней зоне. Полученные результаты требуют дополнительной проверки физическим экспериментом, который будет выполнен в дальнейшем.

### **Литература**

1. **Никольский В.В.** Проекционные методы в электродинамике (экранированные и открытые системы) // Прикладная электродинамика: сб. науч.-метод. статей. М., 1977. Вып. 1. С. 4—50.
2. **Штыков В.В.** Собственные типы волн металлодиэлектрического клина // Техника и приборы СВЧ. 2011. № 2. С. 1—5.

*А.С. Фадин, асп.; рук. В.Г. Карташев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ДАТЧИК ПОПЕРЕЧНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН ДЛЯ ЗОНДИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ МЕСТАХ**

В ультразвуковой (УЗ) дефектоскопии объектов из материалов со сложной структурой, таких как бетон, бывает проблематично обнаружить неоднородности в объекте из-за невозможности провести зондирование в сложнодоступном месте. Примером такого места является угол строительного бетонного сооружения. Обычно используемые датчики излучают напротив своего места расположения, а боковые участки оказываются за пределами их видимости. Зондирование проводится с плоской поверхности, следовательно, дефект, расположенный за углом, практически невозможно обнаружить.

Для решения данной проблемы было решено использовать датчик с сухим точечным контактом фирмы АКС [1, 2], специально разработанный для зондирования бетонных конструкций. Диаграмма направленности (ДН) этого датчика всенаправленна для поперечных типов волн, рабочая частота 50 кГц. С помощью данного датчика стало возможно подобраться ближе к углу.

Решением проблемы стала модернизация этого датчика для работы из угла, а именно удлинение наконечника. Модернизированный датчик был изготовлен и экспериментально исследован. Такая модернизация позволила установить линейку датчиков в угол и выполнять из него зондирование и прием ультразвукового сигнала. Так как датчик работает на достаточно низкой рабочей частоте, то необходимо повышение разрешающей способности путем использования антенной решетки (АР) из данного типа датчиков. Было экспериментально установлено, что при увеличении силы прижима датчика растет коэффициент двойного электроакустического преобразования.

### **Литература**

1. **Козлов В.Н., Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г.** Ультразвуковой низкочастотный преобразователь. Патент РФ № 2082163 // Бюлл. изобр. № 17. 1997.

2. **Шевалдыкин В.Г., Самокрутов А.А., Козлов В.Н.** Ультразвуковые НЧ пьезопреобразователи с сухим точечным контактом и их применение для НК. Фирма АКС с 1991 г. URL: [http://www.acsys.ru/article/ultrazvukovye-nch-pezo-preobrazovateli-s-sukhim-tochechnym-kontaktom-i-ikh-primenenie-dlya-nk/?sphrase\\_id=4679](http://www.acsys.ru/article/ultrazvukovye-nch-pezo-preobrazovateli-s-sukhim-tochechnym-kontaktom-i-ikh-primenenie-dlya-nk/?sphrase_id=4679)

*В.С. Фланден, асп.; рук-ли Б.П. Полак, к.т.н., доц.;  
П.С. Колодин, асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЧАСТИЦ ГЕКСАФЕРРИТА**

Одними из направлений работы научно-исследовательской лаборатории гиромангнитной радиоэлектроники (НИЛ ГИР) НИУ «МЭИ» являются исследование ферритовых и гексаферритовых гиромангнитных радиоматериалов и их применение в устройствах и радиопоглощающих покрытиях сантиметрового и миллиметрового диапазонов.

В настоящее время для разработки таких устройств и покрытий активно используются многокомпонентные композиционные материалы: это позволяет создавать устройства и покрытия с характеристиками, параметры которых (например, ширина полосы) практически недостижимы в случае применения однокомпонентных материалов [1]. Для исследования таких материалов и компьютерного проектирования устройств на их основе актуальна задача создания компьютерной модели гексаферритового композиционного материала. Доклад посвящен решению этой задачи.

В компьютерной модели учитываются основные и хорошо известные особенности как зернистой структуры композиционного материала (случайная пространственная ориентация частиц в компонентах, неидентичность компонентов по качеству текстуры и по значению поля анизотропии), так и частицы гексаферрита (включая зависимость резонансных свойств от магнитной предыстории). Это позволяет управлять качеством текстуры компонентов и степенью намагниченности материала (материал размагничен / намагничен частично / намагничен до насыщения) и рассчитывать тензорные магнитные параметры в любой точке петли гистерезиса.

Новая модель обобщает существующую модель [2] на случай многокомпонентного композиционного материала и позволяет рассчитывать резонансные характеристики произвольно ориентированного и произвольно намагниченного материала с произвольным качеством текстуры компонентов. Разработанная модель может быть использована для исследования гексаферритовых композиционных материалов и компьютерного проектирования устройств и радиопоглощающих покрытий на их основе.

### **Литература**

1. **Поллак Б.П., Ханамиров А.Е., Урядникова О.Ю.** Вентили КВЧ-диапазона с композитными гексаферритовыми резонаторами // *Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника.* 1996. № 1 (467). С. 27—29.

2. **Колодин П. С.** Экспериментально корректируемые компьютерные модели гексаферритовых гиромангнитных резонаторов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: НИУ «МЭИ», 2015. 20 с.

В.А. Щербаков, А.Л. Прозоров, студенты;  
рук. С.В. Владимиров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Методы экспериментального изучения свойств волновых образований совершенствуются [1]. Применение трехосевого устройства перемещения рассеивающего направленного зонда позволяет наиболее достоверно изучить дифракционные явления. При наличии одного зондирующего волнового устройства единственное, что можно измерять, это коэффициент отражения. Он, естественно, зависит от свойств пространства перед апертурой зондирующего волнового устройства. Возможности расширяются, если при этом ввести в пространство перед его апертурой модель объекта диагностики и придать ей возможность перемещаться как поступательно, так и вращательно (рис. 1).

Информационное волновое образование (ИВО) отличается от зондирующего волнового образования (ЗВО) направлением движения. Имеется принципиальная возможность разделить измерения свойств ИВО и ЗВО с помощью направленного зонда (рис. 1). Здесь возникает специальная задача — разработка зондов, имеющих свойство направленности и в то же время вносящих минимальные возмущения поля в объектном пространстве.

Направленные зонды выполнены из диэлектрика, поскольку именно этот материал в силу поляризационного и объемно-распределенного механизма взаимодействия с полями способен обеспечить одновременно и малый уровень обратного рассеяния, и достаточно высокую направленность [1, 2]. С помощью данного метода была проведена серия натурных экспериментов.

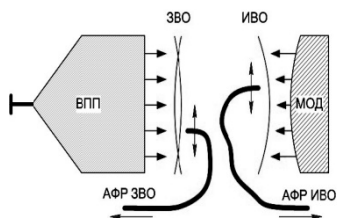


Рис. 1. Схема лабораторной установки

### Литература

1. Владимиров С.В. Диэлектрические волноводно-пучковые преобразователи на многосвязных волноводах: явления и принципы построения: автореф... дисс. канд. техн. наук. М.: МЭИ, 2009.
2. Проблемы исследования дифракционных явлений с использованием диэлектрических структур / В.А. Щербаков, С.М. Минкара, В.Ф. Взятьшев, С.В. Владимиров // XXI Междунар. научно-техн. конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». М., 2015. С. 15.

## Секция 2

# ФОРМИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ И СИГНАЛОВ

Председатель секции — д.т.н., профессор Н.Н. Удалов

Секретарь секции — аспирант А.А. Митрофанов

Н.С. Балясов, студ.; рук-ли А.А. Митрофанов, асп.;  
А.Р. Сафин, к.т.н., доц.; Н.Н. Удалов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## РЕЗОНАНСНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК ЖЕЛЕЗО-ИТТРИЕВОГО ГРАНАТА

Одним из перспективных направлений микроэлектроники является разработка сверхвысокочастотных (СВЧ) приборов на основе ферритовых пленок, например монокристаллических пленок железо-иттриевого граната (ЖИГ). К преимуществам таких приборов относятся планарность их конструкций, легкость получения разнообразных рабочих характеристик путем выбора их топологии, малое затухание распространяющихся в пленке спиновых волн, а также возможность перестройки рабочих характеристик за счет изменения поля подмагничивания.

В данной работе определены резонансные частоты пленки ЖИГ, представляющей собой дисперсионную линию задержки. В качестве модели использовалась дисперсионная характеристика [1]

$$\omega^2 = \left[ \omega_H + \omega_M \frac{1 - e^{(-kL)}}{kL} \right] \left[ \omega_H + \omega_M \frac{k_y^2}{k^2} \left( 1 - \frac{1 - e^{(-kL)}}{kL} \right) \right], \quad (1)$$

где  $k$  — волновое число спиновой волны в плоскости резонатора, которое определяется как  $k^2 = k_y^2 + k_z^2$ , причем  $k_y = \frac{\pi m}{b}$  и  $k_z = \frac{\pi l}{a}$  — проекции волнового вектора  $k$ ;  $m$  и  $l$  — целые числа, определяющие номер моды;  $a$  и  $b$  — размеры пленки;  $\omega_H = \gamma H_0$  — частота ферромагнитного резонанса пленки;  $H_0$  — поле подмагничивания;  $\omega_M = 4\pi\gamma M_0$ ,  $\gamma$  — магнитомеханическое отношение;  $M_0$  — намагниченность насыщения.



Из (1) получена система уравнений для определения собственных частот резонансной системы. Рассчитанные амплитудно-частотные характеристики могут быть использованы при проектировании перестраиваемых генераторов и фильтров СВЧ.

### **Литература**

1. **Теоретическое** исследование резонансных свойств активного кольца на основе слоистой структуры феррит-сегнетоэлектрик / А.А. Никитин, А.Б. Устинов, А.А. Семенов, Б.А. Калинико // Письма в ЖТФ. 2012. Т. 82. Вып. 7. С. 98—101.

## **РАЗРАБОТКА ИМПУЛЬСНОГО УСИЛИТЕЛЯ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОЙ ФИКСАЦИИ ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ**

Одним из наиболее важных направлений развития глобальных навигационных систем (таких, как ГЛОНАСС или GPS) является повышение точности определения координат потребителями. Исходными данными для решения навигационной задачи являются координаты (эфемериды) космических аппаратов (КА), излучающих навигационный сигнал, и коды времени, передаваемые каждым КА в навигационном сигнале. Для точного решения навигационной задачи важно обеспечение синхронности шкал времени на всех КА, входящих в состав группировки. Для решения перспективных задач прецизионного сличения шкал времени требуется переход от наносекундных точностей измерений к субнаносекундным (на уровне десятков сотен пикосекунд). Перспективным способом обеспечения субнаносекундных точностей сличения шкал времени пространственно разнесенных объектов является использование систем оптической лазерной локации с короткими импульсами длительностью порядка 50—500 пс. Одним из важных функциональных узлов системы является приемник оптического излучения, состоящий из фотодетектора и прецизионного усилителя. Цель работы состояла в создании схемы и действующего образца такого усилителя.

В докладе выделены этапы разработки импульсного усилителя для прецизионной фиксации интервалов времени. Этот усилитель предназначен для усиления видеопульсов длительностью 50 пс. Расчет каскадов усилителя по постоянному току проводился по методике, указанной в [1]. Уточнение номиналов элементов схемы проводилось путем моделирования с помощью пакета Advanced Design System.

В состав каскадов усилителя входят транзисторы 2Т3101А-2, параметры модели которого были получены с помощью данных, указанных в технических условиях на этот транзистор [2].

В докладе представлены полная схема разработанного усилителя с учетом всех блокировочных элементов и предложение одного из направлений дальнейшего развития работы.

### **Литература**

1. **Кулешов В.Н., Болдырева Т.И., Васильев М.В.** Базовые ячейки функциональных узлов радиоэлектронных устройств на биполярных транзисторах. М.: Издательский дом МЭИ, 2009.

2. **Приборы** полупроводниковые бескорпусные. Транзистор 2Т3101А-2. Технические условия.

*А.А. Бородин, студ.; рук. В.Н. Кулешов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОЛЬЦЕВОЙ RC-АВТОГЕНЕРАТОР КВАДРАТУРНЫХ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ С СИСТЕМОЙ АРА**

В ряде современных радиочастотных устройств формирования и обработки сигналов необходимо использовать автогенераторы квадратурных колебаний (АГКК) с высокой точностью формирования таких колебаний и достаточно низкими уровнями фазовых шумов.

Наибольшее число публикаций, посвященных исследованием АГКК, относится к генераторам с LC-колебательными системами, хотя в книге [1] рассмотрены также RC-АГКК.

В исследуемом в данной работе RC-АГКК используются дифференциальные усилительные каскады на биполярных транзисторах и двухзвенные фазосдвигающие цепи межкаскадной связи.

Обосновывается выбор параметров цепей межкаскадной связи и приводятся результаты расчетов и исследования режимных характеристик кольцевого RC-АГКК, на выходах которого формируются гармонические колебания, а стабильность выходных амплитуд обеспечивается системой автоматической регулировки амплитуд (АРА).

Приводятся также методика и результаты исследования точностных характеристик этого RC-АГКК, аналогичные изложенным в работе [2].

Получены флуктуационные уравнения RC-АГКК, формулы для расчета спектральных плотностей мощности (СПМ) фазовых и амплитудных шумов, а также флуктуаций разности фаз его выходных колебаний. Для конкретного примера RC-АГКК приведены результаты расчетов СПМ его фазовых и амплитудных шумов.

В заключение поставлена и для конкретных примеров решена задача сравнительного анализа кольцевого RC-АГКК и кольцевых LC-АГКК [3,4] по точностным и шумовым характеристикам.

### **Литература**

1. **Analysis and Design of Quadrature Oscillators** / L.B. Oliveira, J.R. Fernandes, I.M. Filanovsky et al. // Springer Science+Business Media B.V. 2008. 162 p.
2. **Кулешов В.Н., Кочемасов Д.В.** Требования к точности реализации и настройки кольцевых автогенераторов квадратурных колебаний // *Электросвязь*. 2013. № 5. С. 27—30.
3. **Elsayed A. and Elmary M.** Low-phase noise LC quadrature VCO using coupled tank resonators in a ring structure // *IEEE J. Solid-State Circuits*. Apr. 2001. Vol. 36. No. 4. P. 701—705.
4. **Кочемасов Д.В., Кулешов В.Н.** ФМ и АМ шумы кольцевых LC-АГКК с фазирующими RC-цепями // *Электросвязь*. 2015. № 5. С. 34—37.

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ ОКТАВНОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ УКВ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Объект реконструкции — реальный двухкаскадный октавный усилитель мощности УКВ с частотно-корректирующими цепями, отражающими избыточную входную мощность. Известна его принципиальная схема, но неизвестны численные значения (номиналы) компонентов и параметры режимов транзисторов. Задача заключалась в идентификации режимов транзисторов, номиналов всех критичных компонентов при известной схеме и известных фактических параметрах усилителя. Следовало также учесть паразитные реактивности критичных компонентов схемы.

Известны аналитические методики расчета однокаскадных широкополосных транзисторных усилителей (ШПУ), использующие результаты теории идеализированных пассивных цепей в комбинации с упрощенными моделями транзисторов: вход транзистора представлен последовательной линейной цепью из индуктивности и резистора, выход — параллельной цепью из резистора и емкости. В таких расчетах не учитываются паразитные реактивности и потери, предельно упрощаются модели источников возбуждения и нагрузок. Эти допущения в аналитических расчетах ШПУ могут приводить к значительным ошибкам в амплитудно-частотных характеристиках усилителей, особенно многокаскадных.

Известно, что выходной импеданс транзистора является сложной функцией частоты, схемы входной цепи транзистора и свойств источника возбуждения вследствие внутренней обратной связи в транзисторе. Расчет показал, что в пределах октавной полосы выходные активное и емкостное сопротивления транзистора могут изменяться в несколько раз, что оказывает влияние на АЧХ ШПУ. Использование компьютерного моделирования в принципе позволяет отказаться от указанных выше упрощенных моделей активных и пассивных элементов.

Моделирование позволило найти номиналы компонентов, объяснить фактические параметры исследуемого двухкаскадного ШПУ, режимы транзисторов и указать подстраиваемые элементы с пределами их регулировки.

М.Д. Владимиров, асп.; рук. В.М. Богачёв, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## АППРОКСИМАЦИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЛЕКТИВНЫХ ЦЕПЕЙ УКРОЧЕННЫМИ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫМИ ПОЛИНОМАМИ

Цель работы — разработать метод аппроксимации переходных характеристик частотно-избирательных цепей на основе временного отклика на радиоимпульс с известным Лаплас-изображением огибающей. Представление отклика в виде суммы укороченных экспоненциальных полиномов позволяет при переходе на  $p$ -плоскость записать результат в виде суммы простых дробей и после суммирования — в виде дроби с комплексными коэффициентами  $F(p)$ . Последняя есть произведение изображений комплексных огибающих радиоимпульса и исходной схемной функции цепи:  $F(p) = S(p)K(p)$ . Отсюда находим  $K(p) = F(p) / S(p)$ .

Аппроксимация комплексных огибающих откликов укороченными экспоненциальными полиномами основана на составлении комплексного дифференциально-разностного уравнения с последующим преобразованием его решения к требуемому виду  $F(p)$  [1, 2]. Для решения задачи аппроксимации, как правило, необходимо представление временного отклика с прецизионной точностью. Отклик обычно получают численными методами обратного преобразования Фурье или Лапласа. Здесь необходима повышенная точность как при расчете схемных функций, так и при выполнении обратного преобразования. Этим требованиям удовлетворяют методы, использованные в нашем исследовании [3, 4].

Предложенная методика апробирована при расчете переходных характеристик полосовых фильтров (до 20-го порядка включительно), многокаскадных усилителей на полевых транзисторах и СВЧ усилителей на биполярных транзисторах. Полученные результаты подтвердили эффективность методики по простоте алгоритмизации и требуемой точности вычислений.

### Литература

1. **Кочанов Н.С.** Основы синтеза линейных цепей во временной области. М.: Связь, 1967.
2. **Богачёв В.М.** Оценка устойчивости линейной цепи по комплексной огибающей отклика // Сб. трудов «СИНХРОИНФО-14». М.: Медиа Паблшер, 2014.
3. **Богачёв В.М., Лысенко В.Г., Смольский С.М.** Транзисторные генераторы и автодины. М.: Изд-во МЭИ, 1993.
4. **Основные свойства обратного преобразования Лапласа–Паде и его пошаговая модификация** / В.М. Богачёв, Д.А. Соломатин, М.В. Балашков, М.Д. Владимиров // Вестник МЭИ. 2015. № 3.

*М.Д. Владимиров, асп.; Д.А. Соломатин, соиск.;  
рук. В.М. Богачёв, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ФОРМИРОВАНИЕ УКОРОЧЕННЫХ СХЕМНЫХ ФУНКЦИЙ МЕТОДАМИ ДПФ ИНТЕРПОЛЯЦИИ**

Цель доклада — систематизировать методы формирования укороченных схемных функций и, в частности, всей совокупности матричных параметров частотно-избирательных четырехполосников.

Согласно [1, 2] методы формирования укороченных схемных функций можно разделить на группы локальной [3] и нелокальной аппроксимации. Методы первой группы основаны на разложениях «смещенной» схемной функции  $K(p)$  в двойные либо простые ряды Тейлора по малым величинам: затуханию  $\delta$  и относительной расстройке  $p$ . Основные недостатки локальных методов — искажения АЧХ цепи уже при порядке НЧ-прототипа  $N \geq 3$  и невозможность описания нулей передачи цепей типа фильтров Кауэра. Этих недостатков лишены способы нелокальной аппроксимации — метод разложения «смещенной» схемной функции на простые дробь и метод произведений.

В работе [2] считается известным аналитическое представление схемной функции  $K(s)$ . В нашем исследовании предлагается применить методы ДПФ интерполяции [4]. При этом не требуется аналитического представления  $K(s)$  и повышается точность аппроксимации.

Методика апробирована при исследовании многокаскадных транзисторных усилителей и полосно-пропускающих фильтров до 20-го порядка включительно и октавного перекрытия по частоте. Показано, что в нелокальных (более точных) методах аппроксимации ошибка расчета АЧХ фильтров при  $n \leq 20$  не превышает долей процента, а для фильтров Кауэра адекватно учитываются нули передачи. Предложена методика определения всей совокупности матричных полиномов четырехполосника с учетом связывающих их тождества [1].

### **Литература**

1. **Богачёв В.М., Лысенко В.Г., Смольский С.М.** Транзисторные генераторы и автодины. М.: Изд-во МЭИ, 1993.
2. **Богачёв В.М., Рукавицын А.А., Соломатин Д.А.** Метод символических укороченных уравнений Евтянова и проблемы аппроксимации // Тр. 58-й научной сессии, посвященной Дню Радио. Т. 2. М., 2003.
3. **Евтянов С.И.** Избранные статьи. М.: Издательский дом МЭИ, 2013. С. 41.
4. **Влах И., Сингхал К.** Машинные методы анализа и проектирования электронных схем. М.: Радио и связь, 1988.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ФРАКТАЛЬНОМУ ШИФРОВАНИЮ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Дисциплина «Хаотическая динамика нелинейных систем» является логическим продолжением курса «Теория колебаний». Она развивает изученные ранее методы анализа систем дифференциальных уравнений [1] и вводит новые подходы к исследованию систем существенно нелинейных дифференциальных уравнений, находящихся в том числе в режиме динамического хаоса. Для улучшения понимания теоретического материала дисциплины по окончании каждого из разделов учебной программы создана лабораторная работа по фрактальному шифрованию изображений, результаты которой изложены в докладе.

Настоящая лабораторная работа является ключевой для понимания основ симметричного шифрования-дешифрования информации с помощью хаотических и фрактальных псевдослучайных последовательностей [2]. Циклы шифрования-дешифрования идентичны. Алгоритм шифрования заключается в следующем:

- 1) перевод шифруемого файла в двоичный код;
- 2) формирование ключа с помощью фрактального или хаотического генератора псевдослучайных последовательностей (например, с помощью известного уравнения формируется фрактальный сигнал, который представляется в двоичном коде);
- 3) суммирование по модулю 2 шифруемого файла и ключевой последовательности, что в итоге дает зашифрованное сообщение.

Студентам предлагается решить целый ряд важных задач:

- 1) выбрать параметры генератора псевдослучайной последовательности;
- 2) провести численную оценку качества шифрования;
- 3) оценить влияние параметров элементов схемы шифрователя на криптостокость зашифрованной информации.

В докладе представлены примеры исходных, зашифрованных и восстановленных изображений.

### **Литература**

1. **Дмитриев А.С., Панас А.И.** Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. М.: Издательство физико-математической литературы, 2002.
2. **Yang T.** A survey of chaotic secure communication systems // International journal of computational cognition (<http://www.yangsky.com/yangijcc.htm>). June 2004. Vol. 2. No 2. P. 81—130.

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛОРЕНЦА НА ЯЗЫКЕ VHDL

Применение широкополосных хаотических сигналов позволяет решать актуальные задачи защиты конфиденциальной информации в современных системах связи. Исследование цифровых способов формирования таких сигналов предопределяет необходимость моделирования лежащих в основе таких способов нелинейных динамических систем [1].

В докладе приводятся результаты разработки модели одной из таких систем. Выбрана динамическая система Лоренца [1], позволяющая формировать сигналы, близкие к хаотическим.

В работе смоделированы дифференциальные уравнения Лоренца в подпрограмме Simulink пакета MatLab. На основе получившейся модели создана модель системы Лоренца на языке VHDL [2] для дальнейшей реализации на ПЛИС.

В качестве примера на рис. 1 представлена реализация хаотического сигнала в модели Лоренца с использованием пакета Active-HDL.

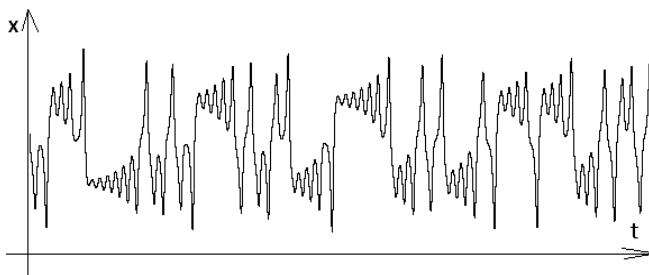


Рис. 1. Реализация хаотического сигнала в модели Лоренца

### Литература

1. Мун Ф. Хаотические колебания. Вводный курс для научных работников и инженеров: пер. с англ. М.: Мир, 1990.
2. Бибило П.Н. Основы языка VHDL. — 2-е изд. М.: Солон-Р, 2002. 224 с.



*А.А. Капитанов, асп.; рук. П.С. Остапенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ФОРМИРОВАНИЯ ХАОТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

Широкополосные и сверхширокополосные хаотические сигналы в настоящее время находят все большее применение в различных радиотехнических системах. Они используются для задач сверхширокополосной радиолокации, применяются в системах связи с хаотическим кодированием, гидроакустике и гидросвязи и пр. [1].

В представленном докладе рассматриваются цифровые способы формирования хаотических сигналов на основе расчета и оценки параметров нелинейных систем третьего и более высоких порядков. В качестве примеров исследуются системы с размерностями три — аттрактор Лоренца, система Ресслера, динамо Рики-Таке, система Дуффинга, Хенона, и четыре — гиперхаотический аттрактор Лоренца и Ресслера [2].

В результате исследования в среде MatLab разработано приложение для построения фазовых портретов и аттракторов перечисленных динамических систем. Проводится расчет размерности Каплана—Йорке и проводится построение сечений Пуанкаре динамической системы. Предложен итерационный алгоритм расчета показателей Ляпунова — основных характеристик хаотических систем, с помощью которых можно проводить оценку системы во времени и пространстве.

При анализе параметров хаотических сигналов проводится оценка различных стохастических параметров реализаций [2, 3]. В совокупности с хаотическими параметрами они описывают полные характеристики динамических систем, необходимые для исследования.

Исследуемые динамические системы успешно протестированы в среде MatLab и Simulink, а также интегрированы в ПЛИС для проверки работы в реальном времени.

Результаты проведенных исследований по формированию и анализу хаотических сигналов планируется использовать при моделировании и разработке локационных гидроакустических систем и систем гидроакустической связи.

### **Литература**

1. **Кузнецов С.П.** Динамический хаос и гиперболические аттракторы: от математики к физике. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2013.
2. **Мун Ф.** Хаотические колебания: Вводный курс для научных работников и инженеров: пер. с англ. М.: Мир, 1990.
3. **Спротт Дж.К.** Элегантный хаос: алгебраически простые хаотические потоки: пер. с англ. под ред. С.П. Кузнецова. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2012.

*Д.В. Кочемасов, асп.; рук. В.Н. Кулешов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ПОСТРОЕНИЯ LC-АГКК**

Автогенераторы квадратурных колебаний (АГКК) широко используются в настоящее время в устройствах передачи информации по радиоканалам. Большинство вариантов построения LC-АГКК, известных из публикаций, имеют одну из трех структур:

- 1) два АГ, взаимно синхронизированных на частоте автоколебаний [1];
- 2) два АГ, взаимно синхронизированных на частоте второй гармоники [2];
- 3) кольцевые АГКК [3, 4].

В опубликованных работах исследуются режимные и шумовые характеристики каждого из видов АГ. Однако задача сравнительного анализа этих генераторов в известных публикациях не решалась.

В данной работе для трех конкретных примеров АГКК каждого из видов рассчитаны режимы и флуктуационные характеристики и решена задача их сравнения.

Предполагается, что сравниваемые АГКК должны работать на одинаковые сопротивления нагрузок, отдавать одинаковые мощности в нагрузки, использовать колебательные контуры с одинаковыми ненагруженными добротностями, одинаковые активные приборы и источники питания с одинаковыми напряжениями.

Для каждого из АГКК при перечисленных ограничениях рассчитываются потребляемые в стационарных режимах токи, точностные характеристики [5] и спектральные плотности фазовых шумов и по этим показателям качества решается задача сравнения АГКК.

### **Литература**

1. **Mazzanti A., Svelto F.A.** 1.8- GHz Injection-Locked Quadrature CMOS VCO with Low Phase Noise and High Phase Accuracy // IEEE Trans. Circuits and Systems-I: Regular Papers. March 2006. Vol. 53. No. 3. P. 554—560.

2. **Buanomo A., Schivaro A.L. Kennedy M.P.** On the synchronization condition for super harmonic coupled QVCO's // IEEE Trans. Circuits Syst. 1, Reg. papers. July 2011. Vol. 58. No 7. P. 1637—1646.

3. **Elsayed A. and Elmary M.** Low-phase noise LC quadrature VCO using coupled tank resonators in a ring structure // IEEE J. Solid-State Circuits. Apr. 2001. Vol. 36. No 4. P. 701—705.

4. **Кочемасов Д.В., Кулешов В.Н.** ФМ и АМ шумы кольцевых LC-АГКК с фазирующими RC-цепями // Электросвязь. 2015. № 5. С. 34—37.

5. **Кулешов В.Н., Кочемасов Д.В.** Требования к точности реализации и настройки кольцевых автогенераторов квадратурных колебаний // Электросвязь. 2013. № 5. С. 27—30.

## МАЛОГАБАРИТНЫЙ СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТ С ФАПЧ И ДРОБНО-ПЕРЕМЕННЫМ ДЕЛИТЕЛЕМ ЧАСТОТ

В докладе приводятся сведения о новом малопотребляющем синтезаторе частот, отличающемся компактными размерами и низким уровнем побочных спектральных составляющих (ПСС) в спектре. Уменьшение уровней ПСС обеспечивается выбором одной опорной частоты ФАПЧ из конкретного набора. Архитектура синтезатора предложена автором и основывается на микросхеме с дробно-переменным делителем частот LMX2492, а в качестве формирователя опорных частот используется ФАПЧ со встроенным ГУН НМС830 в целочисленном режиме. Диапазон выходных частот синтезатора составляет от 4 до 8 ГГц, а шаг перестройки — 5 МГц.

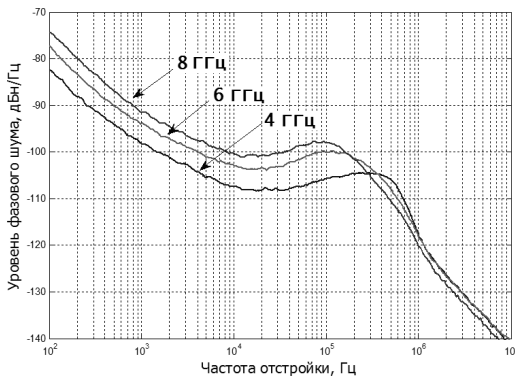


Рис. 1. Уровни фазовых шумов синтезатора частот

На несущей 8 ГГц уровень фазового шума на отстройке 20 кГц составляет примерно  $-100$  дБн/Гц, что является скромным, но ожидаемым результатом. Уровень ПСС во всем диапазоне частот при шаге 5 МГц составляет менее  $-80$  дБн, что практически недостижимо при использовании цифровых синтезаторов частот без применения сложных многокольцевых архитектур. Время перестройки в худшем случае (с 8 на 4 ГГц) составляет 250 мкс, а при перестройке на 5 МГц это время составит менее 1 мкс. Синтезатор управляется через интерфейс RS-485 со скоростью 921600 бит/с. Прибор выполнен в металлическом корпусе с размерами  $91 \times 66 \times 13$  мм. Потребляемая мощность составляет приблизительно 3 Вт.

По результатам исследования сделаны выводы о возможностях и недостатках современных микросхем ФАПЧ с дробно-переменными делителями частот, а разработанный синтезатор можно рекомендовать к использованию в системах с ограниченным энергопотреблением и повышенными требованиями к уровню побочных спектральных составляющих.

## К ВЫБОРУ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ АВТОГЕНЕРАТОРОВ СО СТАБИЛИЗИРУЮЩИМИ РЕЗОНАТОРАМИ

Цель доклада — сформулировать критерии выбора и определить оптимальные режимы работы и параметры колебательных систем (КС) двух- и трехконтурных генераторов с учетом противоречивых требований к генерируемой мощности, стабильности частоты и устойчивости колебаний.

Исходными данными для решения задачи являются коэффициент стабилизации частоты  $S_3(p_1, p_2, \tau_k)$  — функция парциальных мощностей и нормированных постоянных времени контуров КС ( $k = 1, 2, 3$ ) и фактор регенерации  $F = 4 \div 6$  при котором обеспечивается устойчивость колебаний и отсутствие гистерезисных явлений при настройке автогенератора (АГ) на номинальную частоту. Линиям постоянного  $F$  соответствуют зависимости  $S_{3F}(p_1, \tau_3, F)$ , где  $\tau_3$  и  $F$  — параметры [1].

В качестве целевой функции (ЦФ) примем произведение  $D = p_1 S_3^v$  где  $v$  — параметр, характеризующий относительный вес  $S_3$  в ЦФ. При  $v = 1$  ЦФ соответствует оптимизации по  $S_3$  при  $v = 2$  — оптимизации по коэффициенту диффузии фазы, поскольку  $D_\varphi \propto 1/S_3^2$ . При решении задачи оптимизации сначала, рассматривая  $D = (p_1, p_2)$  как функцию  $p_1$  с параметром  $p_2$ , находим оптимальное значение  $p_{1opt}$  как функцию  $p_{2opt}$ . Далее, подставляя эти значения в выражение для функции  $S_3(p_1, p_2, \tau_3)$ , находим  $S_{3opt} = v\tau_3 / (1 + v)$ . Наконец, из равенства  $S_{3opt} = S_{3F}(p_1, \tau_3, F)$  находим значение  $p_{1opt}(F)$  для требуемого  $F = 4 \div 6$ .

Выше предполагалось, что  $p_1$  — суммарная мощность, выделяемая в первом контуре и нагрузке. Разработчику при выборе оптимальных параметров режима АГ и параметров КС следует учесть, что обычно оптимальные значения КПД цепи связи  $\eta_{цс} = 0,3 \div 0,5$ , а ЦФ имеет пологий максимум (при  $v = 1$  и  $S_3 = 0,9S_{3opt}$  интервал вариации  $p_1 = 0,3 \div 0,6$ ). Это облегчает выбор технически реализуемых параметров КС и ЦС.

### Литература

1. Богачёв В.М., Лысенко В.Г., Смольский С.М. Транзисторные генераторы и автодины. М.: Изд-во МЭИ, 1993.

*И.С. Логинов, студ.; рук-ли Л.А. Белов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»);  
И.С. Садилкин, нач. сектора (ОАО «РКС», Москва)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ БОРТОВЫХ ЦЕПЕЙ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

При длительном нахождении космического аппарата на орбите Земли на микросхемы оказывают негативное влияние радиация и вероятность прохождения тяжелых заряженных частиц. Модуль управления на борту космического аппарата выполняется на компонентах с повышенной радиационной стойкостью [1], но при высокой энергии частиц необходимо использование резервирования для надежного сохранения работоспособности космического аппарата. Цель работы — анализ технических возможностей сохранения работоспособности аппарата в указанных условиях.

В докладе представлена реализация модуля резервирования основных линий связи систем управления космического аппарата, которая включает в себя алгоритмы самодиагностики, резервирование коммутационных средств и программы восстановления после экстренного завершения работы [2].

Показано, что для реализации системы двойного и тройного резервирования целесообразно использовать программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), которые могут быть встроены в готовую систему управления с минимальными корректировками [3].

В докладе проанализированы различные способы повышения отказоустойчивости аппаратуры. Проведено моделирование и сравнение различных реализаций, включая представленный алгоритм резервирования.

Сформулированы рекомендации по проектированию отказоустойчивых систем управления с многократным резервированием для условий космической окружающей среды.

### **Литература**

1. **Гинзбург В.Л.** Космические лучи: 75 лет исследований и перспективы на будущее — Земля и Вселенная. М.: Наука, 1988. № 3. С. 3—9.
2. **Мироненко Л., Юдинцев В.** Повышение радиационной стойкости интегральных схем. Электроника // Наука — Технология — Бизнес. 2012. № 8. С. 74—87.
3. **Грушвицкий Р. И., Мурсаев А. Х., Угрюмов Е. П.** Проектирование систем на микросхемах с программируемой структурой. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. С. 736.

Е.А. Павлов, студ.; рук-ли А.А. Митрофанов, асп.;  
Н.Н. Удалов, д.т.н., проф.; А.Р. Сафин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## АМПЛИТУДНЫЕ И ФАЗОВЫЕ ШУМЫ СПИН-ТРАНСФЕРНОГО НАНООСЦИЛЛЯТОРА, СИНХРОНИЗИРОВАННОГО ВНЕШНИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

В данной работе рассмотрена схема синхронизации спин-трансферного наноосциллятора (СТНО) периодическим внешним воздействием. Исследования в области генерации СВЧ-колебаний магнитными многослойными наноструктурами [1] при протекании спин-поляризованного тока могут в ближайшее время привести к созданию сверхминиатюрных, широко перестраиваемых микроволновых генераторов.

В работе получены укороченные уравнения СТНО для безразмерной амплитуды  $U$  и разности фаз  $\Psi$  в присутствии шумов:

$$\begin{cases} \frac{dU}{dt} = \Lambda \cos \Psi + \Gamma_G U (a_0 - U^2) + \sqrt{D} n_{\text{Re}}(t); \\ \frac{d\Psi}{dt} = \Delta + NU^2 - \frac{\Lambda}{U} \sin \Psi + \sqrt{D} n_{\text{Im}}(t), \end{cases} \quad (1)$$

где  $t$  — нормированное время;  $a_0$  — параметр, характеризующий мощность колебаний в автономном случае;  $n_{\text{Re}}(t)$  и  $n_{\text{Im}}(t)$  — некоррелированные шумы, описывающие влияние белого теплового шума;  $D$  — дисперсия шума;  $N$  — коэффициент неизохронности;  $\Lambda$  — нормированная амплитуда внешнего воздействия;  $\Delta$  — разность частоты ферромагнитного резонанса СТНО и частоты внешнего воздействия;  $\Gamma_G$  — коэффициент спин-волновых положительных потерь свободного слоя.

На основе (1) получены линеаризованные уравнения относительно стационарных значений амплитуды и разности фаз для их малых отклонений. Эти уравнения позволили рассчитать спектральные плотности мощности амплитудных и фазовых шумов синхронизированного СТНО.

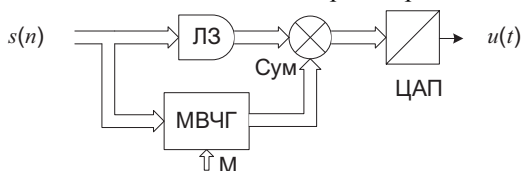
### Литература

1. Митрофанов А.А., Сафин А.Р., Удалов Н.Н. Система фазовой синхронизации спин-трансферного наноосциллятора // Письма в ЖТФ. 2014. Т. 40. № 13.

С.В. Петушков, асп.; рук-ли А.С. Кондрашов к.т.н., зам. нач. отдел.  
(ОАО «РКС»); Л.А. Белов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ЦИФРОВОЙ ЛИНЕАРИЗАТОР С ПРЕДЫСКАЖЕНИЕМ ЧЕТНЫМИ ГАРМОНИКАМИ ДЛЯ БОРТОВЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ

Рост уровня интермодуляционных искажений (ИМИ) сигналов в бортовых усилителях мощности УМ ограничивает возможность достижения высокой энергетической эффективности радиопередающего устройства [1]. В докладе рассмотрены характеристики системы цифровой линейризации с предискажением четными гармониками [2], которая требует уменьшенных вычислительных ресурсов и повышает энергетическую эффективность УМ. Упрощенная схема такого линейризатора показана на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема линейризатора с предискажением четными гармониками:

МВЧГ — масштабирующий вычислитель четных гармоник; ЛЗ — цифровая линия задержки; Сум — цифровой сумматор; ЦАП — цифро-аналоговый преобразователь

По схеме рис. 1 входной поток модулирующих данных  $s(n)$  в блоке МВЧГ, выполненном на основе перемножителя кодов и цифрового фильтра, преобразуется в поток данных 2-й гармоники с учетом масштабирующего множителя  $M$ , учитывающего уровень ИМИ в УМ. После суммирования в Сум с задержанной в ЛЗ последовательностью  $s(n)$  и преобразования в ЦАП формируется предискаженный закон модуляции  $u(t)$ .

С помощью пакета SystemVue выполнено имитационное моделирование линейризатора с УМ, работающим в режиме, близком к насыщению. В качестве вариантов источника входного сигнала рассмотрены двухчастотный тестовый и сложный со сплошным полосовым спектром сигналы.

Приведены количественные характеристики, подтверждающие возможность снижения уровня ИМИ 3-го порядка на выходе УМ на 5–7 дБ.

### Литература

1. Белов Л.А., Кондрашов А.С., Петушков С.В. Корреляционная оценка уровня интермодуляционных искажений СВЧ-сигналов в усилителях мощности // Электросвязь. 2015. № 5. С. 28—30.

2. **Формирователь** радиосигналов с цифровым предискажением четными гармониками. Патент РФ №2538306 // А.С. Кондрашов. МПК: Н04В 7/005, приоритет от 11 ноября 2013 г. // Бюлл. изобр. 2014. № 4.

*К.А. Руденко, студ.; рук-ли Л.А. Белов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»);  
И.С. Садилкин, нач. сектора (ОАО «РКС», Москва)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ КОМАНД УПРАВЛЕНИЯ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

На борту космического аппарата связь между функциональными модулями и передача команд управления осуществляются на основе интерфейсных протоколов, аппаратных узлов и цепей, обеспечивающих высокую надежность, радиационную стойкость, необходимое быстродействие и малые массогабаритные показатели. Цель работы состояла в сопоставительном анализе и моделировании современных технических решений в части организации цепей управления.

В докладе проанализированы типовые и перспективные протоколы информационного обмена, таких как SpaceWire, PCI Express, RS-485 и др. Показаны преимущества использования в условиях космической окружающей среды системы низковольтной дифференциальной передачи сигналов (LVDS) [1].

Представлены результаты компьютерного моделирования системы контроля прохождения команд управления, которые позволяют оценить скорость информационных обменов пакетами данных, а также длительность процессов перенаправления команд управления в случае ошибки приема или недоступности канала.

Применительно к возможностям использования программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) сопоставлены схемы драйверов [2] для согласования прохождения сигналов на физическом уровне, обеспечения требуемых быстродействия и надежности.

В докладе сформулированы рекомендации по применению технологических и конструктивных технических решений [3], которые способны минимизировать нагрузку бортового вычислительного комплекса и при этом осуществлять быструю и надежную связь между модулями космического аппарата.

### **Литература**

1. **Таненбаум Э., Уэзеролл Д.** Компьютерные сети. СПб.: Питер, 2012. 960 с.
2. **Соловьёв В.В., Климович А.** Логическое проектирование цифровых систем на основе программируемых логических интегральных схем. М.: Горячая линия — Телеком, 2008.
3. **Вильямс М.В.** Руководство по технологиям объединенных сетей. М., 2005. 376 с.



*Н.С. Семёнов, асп.; Н.С. Первеева, студ.; рук. Л.А. Белов, к.т.н.,  
проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **КЕПСТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АНГАРМОНИЗМА ОБЕРТОНОВ В КОЛЕБАНИЯХ СТРУНЫ**

В распределенных высокодобротных системах возникают квазипериодические сигналы несинусоидальной формы, которые в спектральной области представляются суммой основного колебания и множества высших гармоник, частота которых отличается от целого, кратного частоте основного тона, причем это отличие прогрессивно возрастает с увеличением номера обертона [1].

При анализе массива записей колебаний музыкальных струн в [2] установлено, что эквивалентная добротность по затуханию огибающей свободных колебаний составляет от 60 до 250 в зависимости от частоты основного тона и конструкции струны.

В докладе показано, что причиной ангармоничности обертонов является дисперсия фазовой скорости распространения волн по колебательной системе.

Для количественной оценки уровня этих явлений производился кепстральный анализ записей звучания струн фортепиано. Величина уширения пика кепстра служила количественной оценкой параметра ангармоничности  $B$  в аппроксимирующем выражении для частоты  $n$ -й гармоники  $f_n = nf_0\sqrt{1+n^2B}$ , где  $f_0$  — частота основного тона. Расчеты проводились при помощи пакета MatLab. Для калибровки средства измерения использовалась собственная программа тестирования.

Измерения для различных сочетаний длины струны, ее параметров и конструкции, а также амплитуды ударного возбуждения показали, что параметр  $B$  принимает значения  $(1...9) \cdot 10^{-4}$ . Наибольшая ангармоничность обертонов проявляется для басовых обвитых струн с количеством слышимых обертонов до 80 и для наиболее коротких гладких металлических струн при максимальном размахе колебаний.

Рассмотрена возможность снижения погрешности измерения параметра негармоничности за счет введения управляемой функции частотного взвешивания, максимизирующей уровень пика кепстра.

### **Литература**

1. Аскенфельт А., Галембо А.С. Исследование спектральной негармоничности музыкального звука с помощью алгоритмов экстракции высоты // Акустический журнал. 2000. Т. 46. № 2. С. 157—169.

2. Семенов Н.С., Белов Л.А., Первеева Н.С. Анализ квазипериодических сверхширокополосных акустических сигналов // Радиотехнические тетради. 2015. № 54. С. 64—68.

*Д.Е. Степанова, студ.; рук. Г.И. Коптев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО УКВ ПЕРЕДАТЧИКА**

Объектом исследования является ранее разработанный и изготовленный промышленным способом трехкаскадный телеметрический передатчик УКВ диапазона с фазовой манипуляцией. Передатчик имел мощность порядка 1 Вт. Разработка передатчика велась на основе расчета отдельных узлов и натурального эксперимента.

Целью настоящей работы было детальное изучение процессов в передатчике методом компьютерного моделирования с возможным обнаружением паразитных явлений и выдачей корректив для их устранения.

При исследовании были учтены паразитные реактивности компонентов.

Отсутствие межкаскадной развязки значительно усложнило его моделирование из-за возникновения паразитных явлений в модели, пока не были устранены указанные выше неопределенности в параметрах пассивных элементов.

В этих обстоятельствах удачное моделирование сразу полной схемы передатчика выполнить не удалось. Потребовалось покаскадное моделирование, осложнявшееся из-за отсутствия развязок при неопределенности нагрузок каскадов.

Моделирование успешно завершилось доведением модели передатчика до соответствия требованиям технических условий на исследуемый передатчик. Обнаружена причина проявления возможного паразитного самовозбуждения задающего генератора и найден способ его устранения. Установлено также, что выходные каскады работают не в режиме усиления, а в режиме синхронизируемого двухкаскадного автогенератора, что не препятствовало нормальной работе передатчика с фазовой манипуляцией.

Показано, что применение указанной методики компьютерного моделирования может существенно сократить время разработки серийной аппаратуры за счет уменьшения времени на экспериментальную доработку исходной схемы.

## РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРЕВЫХ СПИН-ТРАНСФЕРНЫХ НАНООСЦИЛЛЯТОРОВ

Перспективными устройствами генерирования сверхвысокочастотных колебаний являются вихревые спин-трансферные наноосцилляторы (СТНО) [1—3]. Достоинствами этих устройств являются миниатюрные размеры, совместимость технологии их производства с технологией производства полупроводниковых устройств, отсутствие необходимости в поле подмагничивания. Основными недостатками вихревых СТНО, которые планируется устранить в ближайшее время, являются низкая мощность (доли микроватт) выходных колебаний СТНО, а также недостаточно узкая ширина спектральной линии (сотни мегагерц) на частотах порядка единиц гигагерц [1—3].

В данной работе путем применения метода медленно меняющихся амплитуд к уравнению Тилля [1—3], описывающему вихревую прецессию намагниченности СТНО, получены укороченные уравнения для медленно меняющихся амплитуды  $U(t)$  и фазы  $\varphi(t)$  выходного напряжения в следующем виде:

$$dU / d\tau = U \left[ U^2 - U_0^2 \right], \quad (1)$$

$$d\varphi / d\tau = \omega_0 + NU^2, \quad (2)$$

где  $U_0$  — амплитуда стационарных колебаний вихревого СТНО;  $\omega_0$  — резонансная частота колебаний вихря;  $N$  — параметр неизохронности и  $\tau$  — нормированный параметр, пропорциональный времени.

В работе проведен анализ полученных укороченных уравнений (1) и (2), рассчитаны основные рабочие характеристики вихревого СТНО: зависимости мощности и коэффициента полезного действия с учетом влияния нагрузки, а также частоты выходных колебаний от основных физических параметров.

### Литература

1. **Gaididei Y., Kravchuk V., Sheka D.** Magnetic Vortex Dynamics Induced by an Electrical Current // International Journal Of Quantum Chemistry. 2009. Vol. 110. No. 1. P. 83—97.
2. **Спиновый** транспорт и перспектива спинтронных наноосцилляторов / К.А. Звездин, М.Ю. Чиненков, А.В. Попков и др. // Инженерная Физика. 2012. № 10. С. 27—44.
3. **Сафин А.Р.** Фазовая синхронизация ансамблей спин-трансферных наноосцилляторов // Наноструктуры. Математическая физика и моделирование. 2013. Т. 8. № 2. С. 69—74.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО E-ТРОЙНИКА

В некоторых технических применениях возникает задача расчета импеданса, вносимого в радиальный резонатор через прямоугольное окно, связывающее его с запердельным волноводом, заполненным диэлектриком с потерями.

Возбуждающее поле на раскрытие окна связи по своей структуре практически повторяет поле волны  $H_{10}$  в прямоугольном волноводе. Это позволило свести обсуждаемую задачу к анализу специализированного волноводного E-тройника. В докладе приведены результаты расчета комплексного коэффициента отражения от стыка E-плеча, выполняющего роль тракта возбуждения, с прямоугольной диафрагмой в широкой стенке запердельного волновода с диэлектрическим заполнением.

Задача была решена путем математического моделирования устройства в среде CST Microwave Studio [1]. Получены обширные данные, позволившие судить о влиянии параметров среды и частоты воздействующего сигнала на импеданс эквивалентной нагрузки в плоскости анализа. Результаты, представленные на рис. 1, показали, что в ряде случаев наблюдается комбинация последовательного и параллельного резонансов.

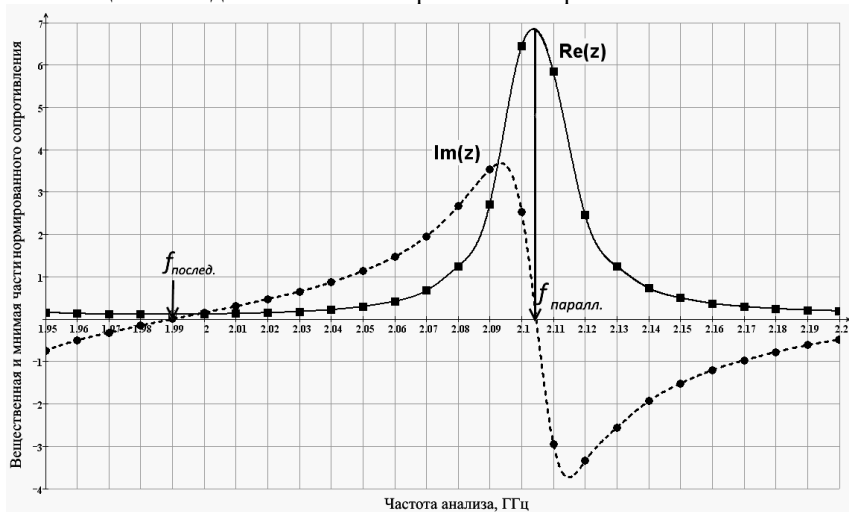


Рис. 1. Активная и реактивная части нормированного сопротивления специализированного E-тройника

### Литература

1. Курушин А.А., Пластиков А.Н. Проектирование СВЧ-устройств в среде CST Microwave Studio: учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2012. 152 с.

### Секция 3

## УСТРОЙСТВА ОБРАБОТКИ РАДИОСИГНАЛОВ

*Председатель секции — зав. кафедрой ФОРС,  
д.т.н., профессор Ю.А. Гребенко  
Секретарь секции — ст. преподаватель В.А. Филатов*

*Аунг Ко Мин, студ.; рук. В.А. Фёдоров, доц. (НИУ «МЭИ»)*

### АНАЛИЗ ПОДАВЛЕНИЯ ШУМОВ В ПРИЕМНОМ ТРАКТЕ БИРАДИОЛОКАТОРА

В связи с малым уровнем сигналов, поступающих на вход биорадиолокатора-измерителя физиологических параметров биологического объекта [1] важной задачей является устранение внутренних шумов в приемном тракте измерителя.

В КВЧ-блоке биорадиолокатора основных источников шума два — фазовые шумы генераторов и шумы СВЧ-смесителей. Эти шумы поступают на вход формирователя квадратурных сигналов. Высокочастотные шумы генераторов отфильтровываются перед АЦП с помощью ФНЧ. Низкочастотные шумы, прошедшие со входа УПЧ на выход АЦП, устраняются оригинальным способом с помощью динамической калибровки сигнала.

Процесс динамической калибровки, управляемый программируемым микроконтроллером, заключается в следующем. Полезный сигнал на входе формирователя квадратурных сигналов периодически прерывается с частотой 2 кГц. Во время его отсутствия уровень шума на выходе АЦП и постоянная составляющая в каждом из квадратурных каналов измеряются и запоминаются в ОЗУ микроконтроллера. При отмене блокировки такая процедура выполняется применительно к смеси входного сигнала и шума. Затем проводится вычитание шума и постоянной составляющей из указанной смеси. Таким образом обеспечивается непрерывное очищение входного сигнала от паразитных составляющих.

Очищенный сигнал хранится в ОЗУ микроконтроллера и по запросу программного драйвера передается в персональный компьютер для дальнейшей обработки сигнала на программном уровне.

#### Литература

1. **Фёдоров В. А.** Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

*О.Е. Завистнов, студ.; рук-ли Е.А. Богатырёв, к.т.н., проф.;*  
*В.А. Филатов, ст. преп. (НИУ МЭИ);*  
*С.М. Лабекин, гл. спец. направления (ПАО «НПО «Алмаз»)*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ДЛЯ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АФАР**

В современных радиолокационных системах (РЛС) широко используются модульные активные фазированные антенные решетки (АФАР) [1]. Для надежной работы АФАР требуется обеспечивать нормальный тепловой режим ее составных частей в сложных условиях эксплуатации при различных функциональных режимах.

Для существенного повышения уровня излучаемой мощности в импульсном режиме работы рассматриваемой АФАР в системе электропитания модулей применены накопительные электролитические конденсаторы фильтра. Параметры этих конденсаторов имеют сильную температурную зависимость. Стабильная работа АФАР может нарушаться как при низкой (менее минус 20 °С), так и при высокой (более 60 °С) температуре. Таким образом, в зависимости от условий эксплуатации конденсаторам требуется обеспечить либо охлаждение, либо обогрев. Нормальный тепловой режим конденсаторов при повышенной температуре среды с учетом их собственного тепловыделения можно обеспечить принудительным воздушным охлаждением. Предварительный обогрев элементов АФАР (конденсаторов и других элементов модулей) необходим перед включением РЛС при низкой температуре окружающей среды. После прогрева рабочая температура поддерживается собственным тепловыделением элементов АФАР.

В докладе приводятся результаты разработки имитационной модели системы охлаждения для одного столбца элементов АФАР, а также проведенного моделирования теплового режима АФАР в части охлаждения конденсаторов цепей питания. Приводятся результаты исследования зависимости характеристик конденсаторов от температуры. Полученная модель представляет интерес для изучения и модернизации системы обеспечения теплового режима АФАР, позволяет оценить эффективность подсистемы охлаждения. Данные исследования зависимостей параметров конденсаторов от температуры могут быть использованы для математического моделирования функциональных характеристик АФАР с учетом влияния температуры на ее составные части.

### **Литература**

1. **Активные** фазированные антенные решетки / под ред. Д.И. Воскресенского и А.И. Канащенкова. М.: Радиотехника, 2004.

*В.С. Завьялова, студ.; рук-ли Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф.;*  
*В.А. Филатов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АКТИВНОГО RC-ФИЛЬТРА НИЖНИХ ЧАСТОТ С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ЧАСТОТОЙ СРЕЗА**

Цепи фильтрации сигналов — важная и неотъемлемая часть многих радиоэлектронных систем и контрольно-измерительных устройств. Они служат для формирования частотных каналов в системах связи, обработки и преобразования электрических сигналов. В настоящее время фильтры, реализуемые на операционных усилителях, резисторах и конденсаторах (ARC-фильтры), используются в разнообразных устройствах обработки сигналов.

Выделение полезного сигнала и ограничение спектра на заключительных этапах аналоговой обработки в тракте радиоприемных устройств по-прежнему остается актуальной задачей. Реализация фильтров на идентичных звеньях из-за множественного применения однотипных элементов (резисторов, конденсаторов, операционных усилителей) позволяет улучшить ряд показателей для фильтров высоких порядков [1], в частности для управления частотой среза. Применение оптимизированных структур для реализации активных RC-фильтров дополнительно снижает параметрическую чувствительность выходных характеристик фильтров при случайной вариации параметров компонентов.

В докладе отражены результаты разработки ARC-фильтра нижних частот (ФНЧ) шестого порядка с декадной перестройкой граничной частоты. Для реализации перестройки частоты среза необходимо одновременно изменять параметры (сопротивление, емкость) компонентов, входящих в состав отдельных звеньев ФНЧ, причем при использовании однородных структур номинальные значения радиоэлементов должны изменяться одинаково.

Методы исследования — синтез структурной схемы фильтра, проведение ее компьютерного моделирования в MicroCap и экспериментальное исследование на физическом макете фильтра. Показаны результаты сравнения частотных характеристик фильтра, ожидаемых по результатам моделирования, с полученными экспериментально.

### **Литература**

1. **Гребенко Ю.А.** Однородные устройства обработки сигналов. М.: Издательский дом МЭИ, 2009. 184 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦИФРОУПРАВЛЯЕМЫХ РЕЗИСТОРОВ ДЛЯ ПЕРЕСТРОЙКИ АКТИВНЫХ RC-ФИЛЬТРОВ

При реализации перестраиваемых активных RC-фильтров высокого порядка необходимо одновременно изменять параметры группы компонентов, причем в однородных структурах параметр должен изменяться одинаково [1]. Для решения этой задачи целесообразно использовать интегральные микросхемы, содержащие наборы перестраиваемых резисторов с цифровым управлением по последовательной шине I<sup>2</sup>C.

В работе исследовались характеристики микросхемы MCP4441-502 производства фирмы Microchip (содержит 4 переменных резистора со 128 шагами перестройки) [2]. Исследование проведено на созданном измерительном автоматизированном стенде, структурная схема которого показана на рис. 1.

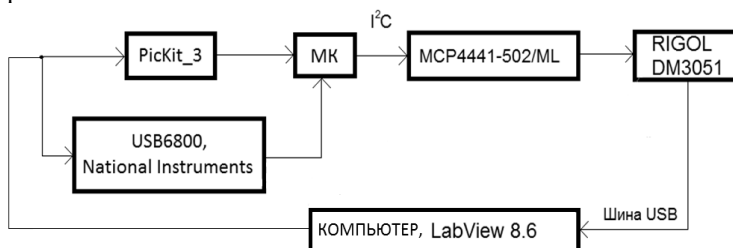


Рис. 1. Структурная схема измерительного стенда

Цифровое управление резисторами осуществляется от микроконтроллера PIC 18 (МК) с аппаратной поддержкой интерфейса I<sup>2</sup>C. Сопротивление измеряется прецизионным мультиметром Rigol DM3051, полученное значение передается по шине USB в персональный компьютер с управляющей программой в среде LabView. Команда на перестройку переменного резистора и выполнения следующего измерения передается через микроконтроллер с помощью интерфейсного модуля USB6800.

Обработка полученных результатов исследования показала требуемую линейную зависимость сопротивления с относительной погрешностью, не превышающей 2,5 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке компании М.видео.

### Литература

1. **Гребенко Ю.А.** Однородные устройства обработки сигналов. М.: Издательский дом МЭИ, 2009. 184 с.
2. **Microchip** Technology Inc, Datasheet MCP4441-502E-ML, 2010.



М.Ю. Зинченко, асп.; рук. Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ДЕКОДИРОВАНИЯ НИЗКОПЛОТНОСТНЫХ КОДОВ

В системах радиосвязи для передачи информации используют беспроводные каналы, в которых на сигнал действуют помехи различной физической природы. Их наличие приводит к потере или искажению передаваемых данных. Возникает необходимость обеспечения высоконадежной передачи цифровой информации по каналам с помехами.

Для решения данной проблемы были разработаны коды исправления ошибок. Добавляя избыточные символы к передаваемому сообщению, на приемной стороне, можно исправить возникшие ошибки и восстановить исходную информационную составляющую. Исследователями было разработано большое количество видов кодов исправления ошибок. В последние годы наиболее перспективными считаются низкоплотностные коды исправления ошибок, впервые представленные Галлагером [1].

Эти коды, известные также как коды с малой плотностью проверок на четность (англ. Low Density Parity Check Codes — LDPC-codes), являются частным случаем блочного линейного кода. Он задается с помощью проверочной матрицы, характеризуемой относительно малым ( $<10$ ) числом единиц в строках и столбцах, за счет чего достигается относительная простота кодирования [2]. При длине кодового слова больше  $10^5$  бит LDPC-коды способны достигать границы Шеннона [3].

Декодирование низкоплотностного кода является нетривиальной задачей. В докладе приводятся результаты исследования алгоритмов декодирования и разработки оптимальной по быстродействию и занимаемым аппаратным ресурсам архитектуры декодера.

В ходе работы была выбрана и реализована в базисе ПЛИС частично параллельная архитектура декодера LDPC-кода стандарта DVB-S2 ( $N = 64800$ ,  $R = 1/2$ ) [2].

### Литература

1. **Gallager Robert G.** Low-density parity-check codes. Ph.D. dissertation. MIT, Cambridge, MA, 1963.
2. **European** Telecommunication Standards Institute (ETSI). URL: <http://www.dvb.org/documents/white-papers/wp06.DVB-S2.final.pdf>.
3. **Зубарев Ю.Б., Овечкин Г.В.** Помехоустойчивое кодирование в цифровых системах передачи данных // Электросвязь. 2008. № 12. С. 58—61.

## **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ С КВАДРАТУРНЫМИ КАНАЛАМИ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ**

В настоящее время во многих радиотехнических системах, таких как беспроводная связь, радиолокация, мониторинг эфира и др., используются аналоговые устройства с квадратурной обработкой сигналов. Это могут быть модуляторы, демодуляторы, преобразователи частоты, комплексные фильтры и т.п. При проведении исследований таких устройств, например при измерении частотных характеристик и параметров, необходимо формировать двухканальный испытательный сигнал с заданным фазовым соотношением и проводить измерения на выходе устройства также по двум каналам. По причине отсутствия доступных измерительных приборов, решающих эту задачу, было решено разработать такой автоматизированный измерительный комплекс на основе отдельных приборов и измерительных модулей с внешним управлением настройками и обменом данными с компьютерной программой проведения эксперимента.

В докладе рассматриваются вопросы обработки квадратурных сигналов комплексными фильтрами [1], а также проведения измерений характеристик и параметров таких устройств в диапазоне частот 300 кГц — 50 МГц. Показаны возможные варианты построения автоматизированного измерительного комплекса с применением программируемых генераторов и многоканальных осциллографов, выпускаемых компаниями National Instruments, Tektronix, Rigol, для формирования двух испытательных гармонических сигналов с требуемыми параметрами и выполнения многоканальных измерений для получения выходных параметров и характеристик исследуемых устройств. В среде LabVIEW [2] разработано программное обеспечение для автоматизированного проведения измерений амплитудно-частотных (АЧХ) и фазочастотных характеристик (ФЧХ) комплексного полосового фильтра с центральной частотой 25 МГц и полосой пропускания от 13 до 41 МГц по синфазным и квадратурным каналам, а также вычисления общей АЧХ и ФЧХ фильтра.

### **Литература**

1. **Гребенко Ю.А.** Однородные устройства обработки сигналов. М.: Издательский дом МЭИ, 2009. 184 с.
2. **Суранов А.Я.** LabVIEW 8.20: Справочник по функциям. М.: ДМК Пресс, 2007. 536 с.

*М.М. Каменская, студ.; рук. Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ СВОЙСТВ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ФНЧ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА НА ИДЕНТИЧНЫХ ЗВЕНЬЯХ**

В настоящее время остается актуальной проблема реализации аналоговых фильтров нижних частот (ФНЧ) высокого порядка с широкой полосой пропускания. Одним из способов решения данной проблемы является использование активных фильтров на идентичных звеньях [1].

Площадь усиления операционных усилителей (ОУ), входящих в состав активных фильтров, ограничена, что существенно влияет на форму частотных характеристик фильтра при значительных полосах пропускания. Целью проведения исследований является оценка влияния структурной схемы фильтра на его частотные свойства.

В докладе приводятся результаты расчета нескольких вариантов построения активных ФНЧ Баттерворта 3-го и 5-го порядков на идентичных звеньях. Рассматриваются схемы на неидеальных инвертирующих и неинвертирующих интеграторах. Для схемотехнической реализации фильтров были выбраны операционные усилители одного типа. В среде Micro-Cap проведены исследования амплитудно-частотных характеристик рассчитанных фильтров и выявлены наиболее широкополосные варианты.

Проведенные исследования показали, что для построения широкополосных ФНЧ предпочтение следует отдать схемам фильтров на неинвертирующих неидеальных интеграторах, реализуемых на повторителях напряжения и пассивных  $RC$ -звеньях.

### **Литература**

1. Гребенко Ю.А. Системотехническое проектирование аналоговых устройств обработки сигналов. М.: Радио и связь, 1992.

*С.И. Карачаров, студ.; рук. Ю.В. Кандырин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАДИАТОРОВ В КОНСТРУКЦИЯХ РЭС**

Обеспечение работоспособности конструкций радиоэлектронных средств во многом определяется рациональным выбором теплового режима теплонагруженных электронных компонентов. Рассеиваемая тепловая мощность для современных электронных компонентов может достигать 130—160 Вт. Это требует особого внимания к проектированию их систем охлаждения.

Как известно, радиаторы различаются по материалу, способу изготовления и по конструкции. Сочетания этих и других конструктивных характеристик дает возможность, реализовывая морфологический синтез вариантов радиаторов, генерировать множество альтернативных вариантов.

В работе рассмотрены методы проектирования радиаторов, включающие многовариантный синтез, сравнительный анализ и выбор оптимальных вариантов. Используя методы выбора оптимальных вариантов, можно находить нехудшие решения по принятому ТЗ.

В процессе работы автором предложена и опробована методика расчета пластинчатых радиаторов. В качестве исходных данных используются мощность, выделяемая источником тепла, температура среды, предельная температура источника тепла и площадь радиатора. Искомыми являются общее количество тепла, отдаваемое радиатором, температура источника тепла и результат ее сравнения с предельным значением.

В итоге проектных расчетов по предложенной методике получены восемь вариантов, два из которых являются допустимыми по ТЗ. Критерием выбора в пространстве двух показателей качества (ПК) {площадь радиатора, стоимость радиатора} был принят  $\pi$ -критерий [1].

Выделение нехудших вариантов является первым шагом к выбору единственного оптимального варианта радиатора по более сильному критерию на последующих шагах (при наличии дополнительной информации о приоритетах ПК).

### **Литература**

1. **Кандырин Ю.В.** Методы и модели многокритериального выбора вариантов в САПР. М.: Издательский дом МЭИ, 2004.

С.И. Карачаров, студ.; рук. Ю.В. Кандырин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАДИАТОРОВ ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРОВ

Целью экспериментального сравнительного анализа разных типов радиаторов является исследование возможности обеспечивать тепловой режим микропроцессора при заданной мощности рассеивания с помощью современного инструментального средства — тепловизора.

В качестве объекта исследования используется микропроцессор типа TMS320C6455 в составе модуля цифровой обработки сигналов (ЦОС), показанного на рис. 1, обладающий следующими характеристиками: мощностью 5 Вт и максимальной допустимой температурой корпуса 80 °С (температура окружающей среды нормальная 24 °С).

Стартовым шагом исследования является анализ экспериментального динамического установления температуры для различных радиаторов при постоянной рассеиваемой мощности до установившихся режимов. Цель — определение времени входа в стационарный режим.

Проведенные эксперименты для радиаторов разного типа дали возможность определить время установления температуры на корпусе процессора, а также установить и проанализировать с помощью тепловизора реальную установившуюся температуру для различных охлаждающих устройств (радиаторов разного типа с вентилятором и без вентилятора) в реальных режимах эксплуатации.

В результате экспериментальных исследований было установлено, что каждый из исследованных радиаторов обеспечивает требуемый тепловой режим  $\leq 80$  °С. При этом пластинчатый радиатор обеспечивает температуру 53 °С, а игольчато-штыревой — 60 °С. Минимальную температуру 34 °С обеспечивает пластинчатый радиатор с вентилятором.

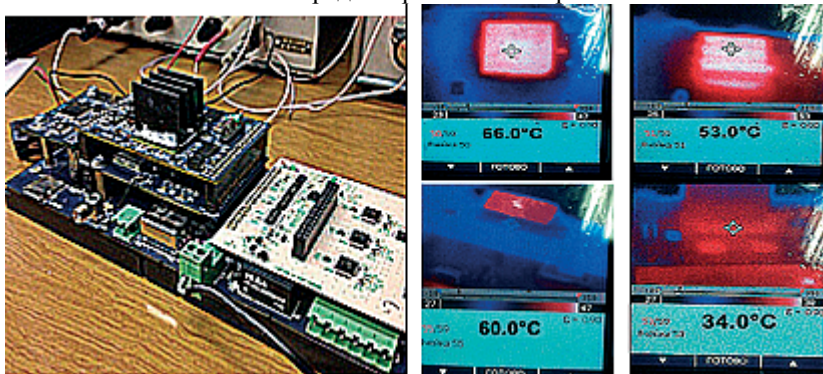


Рис. 1. Плата модуля ЦОС с радиатором и снимки экрана тепловизора для разных охлаждающих устройств при постоянной рассеиваемой мощности

## УТОЧНЯЮЩИЙ ВЫБОР АНАЛОГОВ ПО ПРОТОТИПАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ L-КРИТЕРИЯ

В работе предложены метод и алгоритм формализованного уточняющего автоматизированного выбора аналогов по прототипам с помощью неметрического критерия для упорядоченных показателей качества (ПК) посредством использования фактор-множеств. Операции преобразования реализованы с использованием  $L$ -правил на усеченном однородном подмножестве.

На первом этапе реализуется первичный выбор вариантов-претендентов, способных выполнять функции аналогов для заданного прототипа, по безусловным неметрическим критериям предпочтения (Парето, Слейтеру). Выделяются варианты, имеющие общие нетранзитивные дуги с прототипом в графе частичного порядка, а также варианты, которые являются несравнимыми с прототипом.

На втором этапе к выделенным вариантам-аналогам применяется условный  $L$ -критерий с использованием условий предпочтения, накладываемых лицом, принимающим решения (ЛПР), по приоритетам показателей качества  $a_{i,j}^{nm} a_{i,j}^n$ .

Алгоритм уточняющего выбора аналогов представлен на рис. 1, где  $n, m$  — номера ПК из множества  $N$ ;  $p$  — приоритет ПК, установленный ЛПР;  $a_{i,j}^n$  — значение варианта  $i, j$  по ПК $_n$ ;  $a_{i,j}^{nm}$  — значение варианта  $i, j$  по пересечению ПК $_m$  и ПК $_n$ .

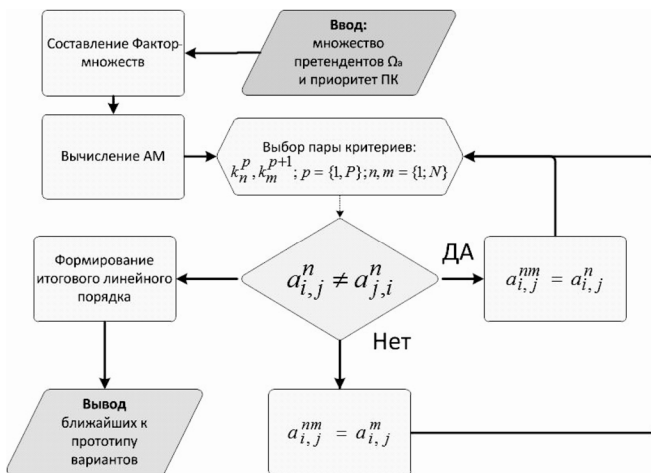


Рис. 1. Алгоритм уточняющего выбора аналогов

## ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ВАРИАНТОВ В БАЗАХ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

В работе рассмотрены принципы формирования адаптивных структур альтернатив для справочных систем электронных компонентов с целью автоматизированного выбора путем построения частичного порядка вариантов из линейных структур меньшей размерности. Адаптивная организация структуры априорно формирует расслоения вариантов в базах данных по критерию Парето. Такая адаптивная настройка данных на задачу позволяет начинать решение сразу с оптимальных вариантов путем проверки вариантов на допустимость, что значительно сокращает время операции выбора относительно обычных методов.

На предварительном этапе множество единожды структурируется путем формирования частичного порядка по  $\pi$ -критерию в соответствии с целевым назначением. На этапе решения задачи множество усекается путем введения ограничений по ТЗ, начиная с концевых элементов этих частичных порядков. Размерность частичного порядка определяется информированностью лица, принимающего решения (ЛПР), которая фактически отражается числом учитываемых показателей качества. Таким образом, трудоемкость решения задач выбора существенно снижается. Для устойчивых во времени структур данных выбор сводится лишь к проверке альтернатив по условиям и ограничениям. Блок-схема обобщенного алгоритма представлена на рис. 1.

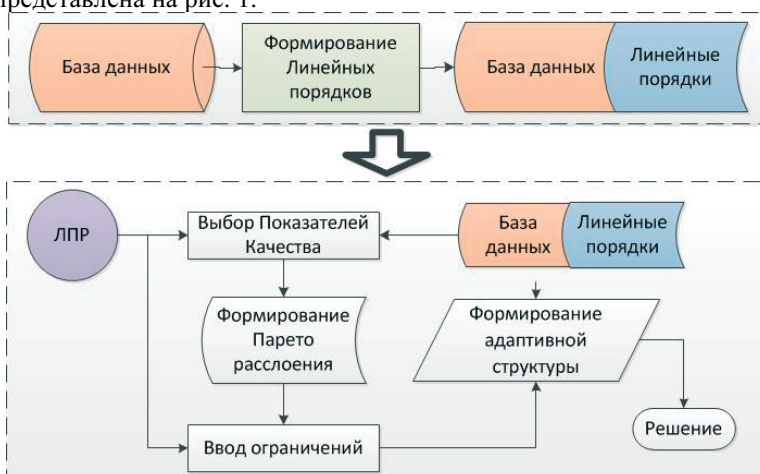


Рис. 1. Блок-схема обобщенного алгоритма

## АНАЛИЗ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ В ПРИЕМНОМ ТРАКТЕ БИОРАДИОЛОКАТОРА

Рассматриваемый в докладе биорадиолокатор (радиолокационный измеритель) миллиметрового диапазона электромагнитных волн представляет собой неконтактный датчик, реагирующий на сверхмалые смещения отражающей мишени (участка поверхности тела биологического объекта) относительно приемной антенны [1].

Реальное разрешение измерителя зависит от отношения сигнал/шум (С/Ш) на входе приемника и методов обработки сигнала в тракте приемного устройства. Этот показатель определяет точность оценки, например динамики ритма сердца.

В докладе приводятся результаты анализа требуемых отношений С/Ш в приемном тракте биорадиолокатора.

Для допустимых значений погрешности определения частоты ритма сердца, составляющей 1—3 %, отношение С/Ш на выходе АЦП должно быть не хуже 40—50 дБ.

В результате спектрального анализа во временном окне длительностью 200 отсчетов отношение С/Ш увеличивается в корень квадратный из числа отсчетов раз:  $\sqrt{200} = 14,2$ , т.е. на 23 дБ. Следовательно, перед операцией спектрального анализа отношение минимального пульсового сигнала к шуму канала должно быть не менее 20 дБ. Децимация улучшает отношение С/Ш в корень квадратный из коэффициента децимации  $N_d$  раз. При  $N_d = 10$  улучшение составляет 10 дБ. Такое значение реализуется после нелинейной операции «сшивки фазы» [1] и децимации фазы с накоплением.

Значение коэффициента усиления приемного тракта выбирается так, чтобы эффективное напряжение канальных шумов на входе АЦП составляло один шаг квантования. При этом условии отношение эффективного напряжения квадратурного канала к среднеквадратическому значению шумового напряжения должно быть таким, чтобы после аналого-цифрового преобразования и последующей децимации с накоплением оцифрованных квадратурных напряжений обеспечивались нормальные условия для реализации процедуры измерения фазы сигнала.

### Литература

1. Фёдоров В. А. Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.



## ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТИВНОГО СОГЛАСОВАННОГО ФИЛЬТРА БИОРАДИОЛОКАТОРА

Рассматриваемый в докладе биорадиолокатор (радиолокационный измеритель) принимает отраженный от человека сигнал, параметры которого непрерывно изменяются во времени. Это определяет необходимость применения методов и средств адаптивной обработки такого сигнала.

Наиболее доступными для изучения с помощью биорадиолокатора являются компоненты сигнала, порожденные функциями дыхания и ритма сердца [1]. Измерение мгновенных значений частоты ритма сердца позволяет построить ритмограмму сердца. Однако в узкой полосе спектра основной гармоники пульсового компонента сигнала находится помеха, оставшаяся от фильтрации компонента дыхания, и собственные шумы приемного устройства биорадиолокатора. Эти помехи являются аддитивными гауссовскими. В узкой полосе спектра основной гармоники пульсового компонента сигнала их можно считать эквивалентными белому шуму. При этом допущении правомерно использовать метод фильтрации адаптивным согласованным фильтром. Функции такого фильтра в биорадиолокаторе реализуются на программном уровне с помощью алгоритма «спектральной маски» [1].

В докладе обсуждаются особенности такой реализации процедуры адаптивной согласованной фильтрации.

Проведенные исследования показали, что применение алгоритма «спектральной маски» устраняет динамическую ошибку определения мгновенной частоты пульсового компонента сигнала в среднем на 7—10 %.

### Литература

1. Фёдоров В.А. Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НОРМАЛЬНОГО БЕЛОГО ШУМА В СИСТЕМЕ MICRO-CAP

При моделировании в системе Micro-Cap устройств приема и обработки радиосигналов, принимаемых в смеси с шумом, необходимо иметь модель источника нормального белого шума. В системе Micro-Cap имеется модель генератора шума (Noise Source Macro) [1], однако единственными параметрами, которые влияют на характер распределения вероятностей шумового напряжения, в этой модели являются его минимальное и максимальное значения. Это позволяет предположить, что шум имеет равномерное распределение вероятностей в указанных границах. Точной же информации о распределении вероятностей формируемого моделью псевдослучайного напряжения в литературе [1] и в справочных материалах системы Micro-Cap нет. Неизвестен также вид энергетического спектра шума.

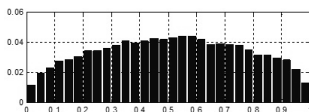


Рис. 1. Гистограмма напряжения на выходе модели генератора шума

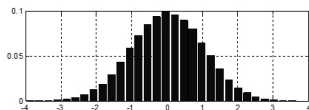


Рис. 2. Гистограмма реализации шума, близкого к нормальному

В докладе приведены результаты статистической обработки напряжения, сформированного моделью источника шума (минимальное значение 0, максимальное значение 1), с помощью программы в системе MatLab. Установлено, что распределение вероятностей шума отличается от равномерного и спадает к границам интервала  $[0, 1]$  (рис. 1). Для моделирования шума с распределением вероятностей, близким к нормальному, предлагается формировать его на основе центральной предельной теоремы как сумму напряжений на выходах шести независимых генераторов шума системы Micro-Cap с последующим центрированием и нормировкой (рис. 2). Оценка в системе MatLab энергетического спектра сформированного таким образом шума показывает, что он отличается от равномерного и спадает в области высоких частот. Для коррекции формы спектра предлагается в модель шума включить корректирующий фильтр высоких частот.

### Литература

1. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10: учеб. пособие. Смоленск: Смоленский филиал НИУ «МЭИ», 2012.

*И.А. Панфилов, студ.; рук-ли Ю.А. Гребенко,  
д.т.н., проф.; А.В. Щукин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПЕРЕДАЧА ДИСКРЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ВОДНОЙ СРЕДЕ**

Передача информации с помощью акустической волны в водной среде сопряжена со значительными трудностями. Мешают следующие факторы: сильная зависимость уровня затухания от частоты, большое количество переотражений от слоев воды с различающейся температурой, отражения от поверхности воды и дна [1]. Для преодоления этих трудностей можно использовать многочастотный сигнал.

Многочастотный гидроакустический сигнал предлагается формировать как совокупность импульсных характеристик цифровых полосовых фильтров (ЦПФ) с одинаковой полосой пропускания и различными центральными частотами, распределенными по полосе частот передачи так, чтобы АЧХ ЦПФ практически не перекрывались. Для передачи информации используется многопозиционная частотная манипуляция [2].

Созданная математическая модель приемника и передатчика гидроакустического сигнала имеет в своем составе две гидроакустические антенны, набор ЦПФ, пороговое решающее устройство, систему тактовой синхронизации.

В докладе приводятся результаты анализа распространения акустической волны в водной среде. Создана математическая модель влияния водной среды на гидроакустический сигнал, позволяющая задавать количество переотражений, коэффициент затухания сигнала и уровень внешних шумов.

В докладе приведены результаты расчета ЦПФ и их моделирования в пакете Micro-Cap, а также результаты расчета и моделирования в пакете MatLab работы приемопередающего устройства с учетом влияния водной среды. Полученные результаты позволили перейти к реализации приемопередатчика на ПЛИС Spartan3E.

### **Литература**

1. **Андреев И.Б.** Физические основы распространения звука в океане. Л.: Гидроиздат, 1975.
2. **Оппенгейм Э.** Применение цифровой обработки сигналов. М.: Мир, 1980.

*Р.И. Поляк, соиск.; рук. Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ФАЗОЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИЛЬТРОВ НИЖНИХ ЧАСТОТ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ПОЛОСОЙ ПРОПУСКАНИЯ**

В докладе рассматривается способ линеаризации фазочастотных характеристик (ФЧХ) аналоговых фильтров нижних частот (ФНЧ) с изменяемой полосой пропускания с помощью линеаризующего КИХ-фильтра. Процедура расчета коэффициентов линеаризующего КИХ-фильтра при фиксированной полосе пропускания ФНЧ описана в [1].

Для обеспечения перестройки полосы пропускания аналоговый ФНЧ строится на идентичных базовых звеньях [2]. В качестве базовых звеньев используются идеальные и неидеальные интеграторы. Для перестройки полосы пропускания линеаризующего КИХ-фильтра предлагается менять частоту дискретизации пропорционально изменению полосы пропускания аналогового фильтра. В этом случае коэффициенты линеаризующего КИХ-фильтра остаются неизменными.

В качестве примера в докладе приводится схема ФНЧ с НЧ-прототипом Баттерворта 3-го порядка. При моделировании аналогового ФНЧ, построенного на неидеальных интеграторах, перестройка полосы пропускания осуществляется либо синхронным изменением величины сопротивления двух резисторов, либо изменением величины емкости конденсатора. В случае использования идеальных интеграторов в качестве базовых звеньев перестройка полосы пропускания осуществляется изменением величины сопротивления резистора или величины емкости конденсатора.

Приводится оценка точности линеаризации для перестраиваемого варианта фильтра. Исследования показали, что при использовании изменения частоты дискретизации эффективность линеаризации сохраняется при перестройке полосы ФНЧ в широком диапазоне.

### **Литература**

1. **Гребенко Ю.А., Поляк Р.И.** Линеаризация фазочастотной характеристики фильтра нижних частот // Вестник МЭИ. 2015. № 3. С. 90—94.
2. **Гребенко Ю.А.** Однородные устройства обработки радиосигналов. М.: Издательский дом МЭИ, 2009. 184 с.

*А.В. Рожкова, студ.; рук-ли Е.А. Богатырёв, к.т.н., проф.;*  
*В.А. Филатов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»);*  
*В.В. Рожков, инж.-иссл. 1 кат. (НПК «СПП»)*

## **СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ЗАДЕРЖКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛА СЕКУНДНОЙ МЕТКИ ПО ОПТОВОЛОКОННОМУ КАБЕЛЮ**

Сигнал секундной метки (PPS), привязанный к шкале времени спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС [1, 2], формируется в навигационном приемнике и представляет собой положительный импульс длительностью 1—2 мс с периодом следования 1 с. При передаче метки по оптической линии связи между навигационным приемником и удаленным потребителем возникает задержка распространения. Каждые 300 м оптического кабеля в зависимости от используемого материала оптоволокна и количества переотражений внутри кабеля дают задержку более 1 мкс, что вызывает ошибку шкалы времени.

Работа посвящена исследованию устройства для измерения и контроля задержки в оптоволоконной линии связи и компенсации ошибки шкалы времени у удаленного потребителя PPS.

В состав аппаратной части рассматриваемой системы входят навигационный приемник, двунаправленная оптоволоконная линия связи длиной 2 км с узлами оптоэлектронных приемопередатчиков на концах линии, узлы усиления и выделения сигнала PPS, импульсный измеритель задержки и микроконтроллер для связи с персональным компьютером (ПК). Специализированное программное обеспечение позволяет компьютеру управлять работой системы и контролировать ее функционирование.

В докладе приводится структурная схема системы и обсуждаются варианты схемотехнической реализации ее узлов: усилителя тока для оптического передатчика, импульсного измерителя задержки PPS, активного фильтра и блока передачи измеренной величины задержки PPS в ПК.

Автором разработаны принципиальные электрические схемы оптических приемопередатчиков, активного фильтра для выделения сигнала секундной метки из собственных шумов оптического приемника и узла измерения задержки распространения PPS с возможностью визуального отображения результата; составлен и отлажен алгоритм программы обработки получаемых данных с помощью ПК.

### **Литература**

1. **Глобальная** навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. М.: РНИИ КП, 2008.

2. **ГЛОНАСС**. Принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. М.: Радиотехника, 2010.

*Б. Рэнцэнмягмар, асп.; рук. М.Ю. Лишак, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ ОБЛАСТИ АНОМАЛЬНЫХ ОШИБОК ПРИ ОПТИМАЛЬНОМ ИЗМЕРЕНИИ ЗАДЕРЖКИ ИМПУЛЬСНОГО СИГНАЛА**

Известно, что при приеме радиоимпульса со случайной начальной фазой на фоне нормального белого шума оптимальная оценка задержки может быть определена по временному положению максимума огибающей колебания на выходе согласованного фильтра [1]. При большом отношении сигнал-шум среднеквадратическое отклонение оценки, которое характеризует точность измерения, определяется выражением [1]

$$\sigma_{\tau} = \frac{1}{\rho \sqrt{-K''(0)}},$$

где  $K''(0)$  — значение в нуле второй производной нормированной автокорреляционной функции сигнала;  $\rho = \sqrt{\frac{2E_c}{G_0}}$  — отношение сигнал-шум;

$E_c$  — энергия сигнала;  $G_0$  — спектральная плотность шума.

При уменьшении отношения сигнал-шум ниже некоторого граничного значения  $\rho_{гр}$  возникают аномальные ошибки измерения, значительно превышающие  $\sigma_{\tau}$ . В известной литературе численные значения  $\rho_{гр}$ , а также анализ зависимости этого параметра от вида сигнала отсутствуют.

В докладе приведены результаты аналитического расчета произведения  $\sigma_{\tau}\rho$ , которое зависит только от вида сигнала, а также полученные с помощью статистического моделирования зависимости этого произведения от отношения сигнал-шум. Расчет и моделирование проводились для следующих сигналов: немодулированный радиоимпульс с гауссовой огибающей и с экспоненциальной огибающей; прямоугольный радиоимпульс с линейной частотной модуляцией. Показано, что граничное значение отношения сигнал-шум, при котором результаты расчета и моделирования совпадают, составляет 15—17 дБ для сигнала с гауссовой огибающей и для сигнала с линейной частотной модуляцией. Для сигнала с экспоненциальной огибающей оно зависит от соотношения между временем нарастания и спада и длительностью импульса и составляет 15—20 дБ (для сигналов с временем нарастания и спада около половины длительности импульса) до 25—30 дБ (для сигналов с почти прямоугольной огибающей).

### **Литература**

1. **Тихонов В.И.** Оптимальный прием сигналов. М.: Радио и связь, 1983.

*Л.В. Савкин, асп. (ПАО «Радиофизика», Москва);  
рук-ли В.М. Новичков, к.т.н., доц. (НИУ МАИ);  
А.Е. Ширшаков, к.т.н., зам. ген. дир. (НПО им. С.А. Лавочкина, г. Химки)*

## **РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ МОДУЛЬ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Современные радиационностойкие программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) открывают перед разработчиками РЭА новые возможности по построению отказоустойчивой (толерантной) аппаратуры цифровой обработки данных (ЦОД) современных космических аппаратов (КА). Помимо того что технология данных типов ПЛИС сама по себе предусматривает реализацию различных методов парирования отказов на уровне коммутируемых логических блоков (КЛБ), их однородная (в значительной степени) архитектура позволяет осуществлять резервирование функциональных элементов не на привычном в космической технике высоком аппаратном уровне (уровне подсистем, блоков или модулей), а на низком — уровне КЛБ. Данный факт позволяет нам говорить о новых типах отказоустойчивых систем — регенеративных электронных системах [1], отличительной чертой которых является возможность низкоуровневого мультирезервирования функциональных архитектур, реализованных на базе ПЛИС.

В докладе рассмотрены различные концепции аппаратно-программного построения высоконадежной и унифицированной аппаратуры ЦОД, базирующиеся на идеях однородных, систолических, реконфигурируемых, кластерных и других типов вычислительных систем [2], позволяющих перейти к практической реализации в бортовой аппаратуре КА регенеративных модулей цифровой обработки данных [1], отличных от классических процессорных модулей.

Представлен вариант структурной схемы регенеративного модуля ЦОД, высокая надежность которого достигается путем использования принципов конвейерности и параллелизма с самоконтролирующимися архитектурами на низком аппаратном уровне ПЛИС класса FPGA.

### **Литература**

1. **Савкин Л.В.** Регенеративные электронные системы в космических системах и комплексах // Вестник кибернетики. 2015. № 2 (18). С. 3—32.
2. **Реконфигурируемые** мультikonвейерные вычислительные структуры / И.А. Каляев, И.И. Левин, Е.А. Семерников, В.И. Шмойлов; под общ. ред. И.А. Каляева. — 2-е изд., перераб., доп. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. 344 с.

А.В. Сенцов, студ.; рук. В.А. Филатов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ КАНАЛА СВЯЗИ РАДИОЧАСТОТНЫХ МЕТОК

Технология радиочастотной идентификации (англ. Radio Frequency Identification — RFID) получила широкое применение в различных приложениях, в которых посредством энергии радиосигналов считываются или записываются данные, хранящиеся в метках. Важным параметром RFID-систем является рабочее расстояние между считывающим устройством и меткой, которое зависит от поля, формируемого антенными устройствами. В работе проводилось сравнение канала связи, формируемого антеннами двух меток в частотном диапазоне 13,56 МГц, с компьютерной моделью этого канала в программе MicroCap. Цель работы — экспериментальная и теоретическая проверки компьютерной модели канала связи двух RFID-меток и уточнение ее параметров.

По топологии печатных проводников антенны метки была построена эквивалентная схема замещения в виде колебательного контура, а также проведен расчет ее параметров в программе Coil32.

Для проведения экспериментов были разработаны два стенда, на которых проводились измерения характеристик затухания энергии поля, формируемого метками на малых расстояниях с использованием прибора для анализа высокочастотных цепей ИККПиО «Обзор-804». Одна из меток выполняла функцию передатчика (считывателя), а другая, отнесенная от первой на небольшое расстояние, функцию приемника (RFID-метки). Были получены зависимости ослабления сигнала по мощности (параметр  $S_{21}$ ) от расстояния между метками. Во втором эксперименте определялось влияние угла поворота меток относительно друг друга. Ослабление сигнала происходит из-за изменения коэффициента связи между антеннами, так как связь индуктивная [1]. Эксперименты проводились на трех частотах: на рабочей частоте метки 13,56 МГц и при отклонении частоты на  $\pm 3,56$  МГц.

Индуктивная связь между антеннами меток возможна только в ближнем поле [1], поэтому для построения компьютерной модели связи была использована схема замещения с индуктивно связанными колебательными контурами. Проведено сравнение полученных при моделировании данных с экспериментальными и теоретическими данными. Показана зависимость ослабления сигнала метки от расстояния и углового положения.

### Литература

1. Дшхунян В.Л., Шаньгин В.Ф. Электронная идентификация. Бесконтактные электронные идентификаторы и смарт-карты. М.: АСТ, 2004.



О.В. Смирнов, асп.; рук. Е.А. Богатырёв, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## **ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ RFID-СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА LABVIEW**

Системы радиочастотной идентификации (англ. *Radio Frequency Identification — RFID*) обычно относят к системам передачи данных, для которых наиболее характерная структура имеет вид передатчик—приемник. Однако *RFID* системы, которые строятся по принципу электромагнитной связи, целесообразно описать иным образом: передатчик—транспондер—приемник. При этом передатчик и приемник — одно устройство, именуемое считывателем. В его основе лежит явление модуляции обратного рассеяния. Считыватель излучает в сторону транспондера (метки) немодулированное колебание. Это колебание отражается антеннами меток и модулируется за счет изменения эффективной площади рассеяния антенны метки. Затем отраженное промодулированное колебание попадает на вход приемника и подвергается дальнейшей обработке.

Согласно мировым и национальным стандартам для таких *RFID*-систем характерно использование простейших видов модуляции: АМ-2 (включая сигнал с подавленной боковой), ФМ-2, ЧМ-2 и др. Простота вызвана тем, что большую часть времени развития *RFID*-систем приоритетными направлениями были миниатюризация, снижение стоимости меток и их энергопотребления. Однако *RFID*-системы обладают большим потенциалом.

В известной автору литературе приводится недостаточно информации о применении сигналов с более сложными видами модуляции и отсутствует информация о реализуемости и целесообразности использования сигналов, отличных от стандартных для *RFID*. Автором предпринята попытка генерировать такую информацию. Для этого при помощи программного пакета LabVIEW была создана модель *RFID*-системы, которая позволяет изучать, как изменяются параметры такой системы в режимах приема-передачи данных и определения координат в зависимости от используемого вида цифровой модуляции.

В качестве первого шага была исследована помехозащищенность стандартных для *RFID*-систем сигналов. Как и следовало ожидать, при низкой скорости передачи наилучшей помехозащищенностью обладает сигнал типа ФМ-2.

В дальнейшем планируется определить показатели качества, характерные для разных режимов работы таких систем, и выбрать другие современные сигналы, позволяющие получить наилучшие характеристики для *RFID*-систем.

## ЦИФРОВЫЕ ЧАСТОТНЫЕ ДИСКРИМИНАТОРЫ НА БАЗЕ КОМПЛЕКСНЫХ БИХ-ФИЛЬТРОВ

В докладе обсуждается вариант построения частотного дискриминатора на базе комплексных полосовых цифровых БИХ-фильтров, реализованных с использованием метода комплексной задержки [1, 2]. Использование комплексных цифровых фильтров позволяет перестраивать их центральную частоту простым способом и позволяет реализовать перестраиваемый по частоте частотный дискриминатор.

В докладе отражены результаты моделирования частотных дискриминаторов, реализованных на комплексных цифровых фильтрах с различающимися частотами. Рассчитаны дискриминационные характеристики (ДХ) для случаев использования фильтров Баттерворта с НЧ-прототипами от второго до пятого порядков. Выявлены соотношения параметров фильтров, при которых ДХ близки к линейным на частотах в окрестности центральной частоты ДХ. Показана возможность сдвига ДХ по частоте без изменения ее формы.

На рис. 1 приведены ДХ частотного дискриминатора на базе цифровых полосовых фильтров Баттерворта с НЧ-прототипом третьего порядка при трех различных центральных частотах.

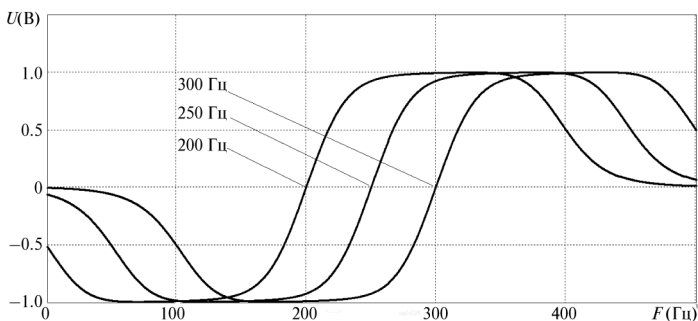


Рис. 1. Дискриминационные характеристики

Проведенные исследования подтвердили перспективность предложенного подхода для создания перестраиваемых частотных дискриминаторов.

### Литература

1. Гребенко Ю.А. Методы цифровой обработки сигналов в радиоприемных устройствах. М.: Издательский дом МЭИ, 2006.
2. Гребенко Ю.А., Сое Минн Тху. Метод расчета комплексных цифровых полосовых фильтров // Вестник МЭИ. 2015. № 3. С. 85—89.

## ЦИФРОВЫЕ ЧАСТОТНЫЕ ДИСКРИМИНАТОРЫ НА БАЗЕ КОМПЛЕКСНЫХ КИХ-ФИЛЬТРОВ

В докладе обсуждается вариант построения частотного дискриминатора на базе комплексных полосовых цифровых КИХ-фильтров, реализованных с использованием метода комплексной задержки [1]. Использование таких комплексных цифровых фильтров позволяет перестраивать их центральную частоту простым способом и реализовать перестраиваемый по частоте частотный дискриминатор.

В докладе отражены результаты моделирования частотных дискриминаторов, реализованных на комплексных цифровых КИХ-фильтрах с различающимися частотами. Рассчитаны дискриминационные характеристики (ДХ) для случаев использования КИХ-фильтров, рассчитанных методом взвешивания при различном числе сохраняемых отсчетов импульсной характеристики и различных полосах пропускания. Выявлены соотношения параметров фильтров, при которых ДХ близки к линейным на частотах в окрестности центральной частоты ДХ. Показана возможность сдвига ДХ по частоте без изменения ее формы.

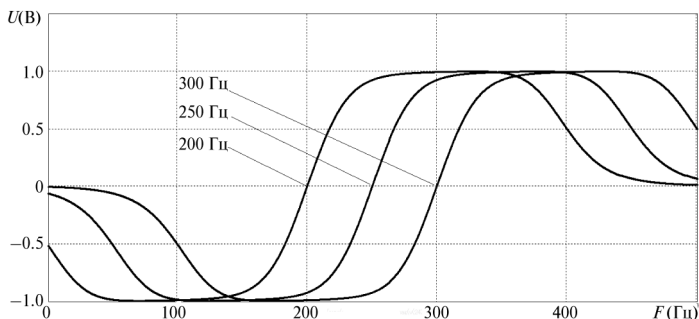


Рис. 1. ДХ частотного дискриминатора на базе цифровых полосовых КИХ-фильтров при трех различных центральных частотах

Проведенные исследования показали перспективность предложенного подхода для создания перестраиваемых частотных дискриминаторов.

### Литература

1. Гребенко Ю.А., Сое Минн Тху. Метод расчета комплексных цифровых полосовых фильтров // Вестник МЭИ. 2015. № 3. С. 85—89.

## АНАЛОГОВЫЕ ЧАСТОТНЫЕ ДИСКРИМИНАТОРЫ НА БАЗЕ КОМПЛЕКСНЫХ ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ

В докладе обсуждается вариант построения частотного дискриминатора на базе комплексных аналоговых полосовых фильтров, реализованных с использованием метода смещения НЧ-прототипа [1]. Использование таких комплексных аналоговых фильтров позволяет перестраивать их центральную частоту простым способом и реализовать перестраиваемый по частоте частотный дискриминатор.

В докладе отражены результаты моделирования частотных дискриминаторов, реализованных на комплексных аналоговых полосовых фильтрах с различающимися частотами. Рассчитаны дискриминационные характеристики (ДХ) для случаев использования фильтров с НЧ-прототипами Баттерворта с различными полосами пропускания. Выявлены соотношения параметров фильтров, при которых ДХ близки к линейным на частотах в окрестности центральной частоты ДХ. Показана возможность сдвига ДХ по частоте без изменения ее формы. На рис. 1 показаны ДХ частотного дискриминатора на базе аналоговых комплексных полосовых фильтров с НЧ-прототипом Баттерворта 3-го порядка при различных вариантах выбора их центральных частот.

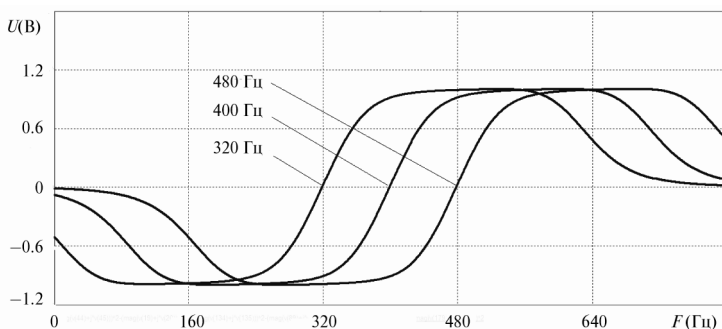


Рис. 1. ДХ частотного дискриминатора на базе комплексных аналоговых полосовых фильтров при трех различных центральных частотах

Проведенные исследования показали перспективность предложенного подхода для создания перестраиваемых аналоговых частотных дискриминаторов.

### Литература

1. Гребенко Ю.А., Чжо Зей Я. Комплексные активные RC-фильтры на идентичных звеньях // Радиотехника. 2008. № 2. С. 61—65.

*Д.С. Торопчин, асп.; рук. Е.А. Богатырёв, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SC-УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ЗЕРКАЛЬНОГО КАНАЛА В ПРИЕМНИКАХ С НИЗКОЙ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТОЙ**

В настоящее время широко распространены приемники с квадратурной обработкой с преобразованием на низкую промежуточную частоту. В таких устройствах весьма актуальна задача подавления зеркального канала. Подавление такого канала осуществляется, как правило, с использованием квадратурной обработки сигналов [1]. Его частотная селекция реализуется с применением комплексного фильтра или комплексного смесителя [1, 2].

В докладе представлены возможности построения квадратурного автогенератора, комплексных фильтров и комплексного смесителя в базе переключаемых конденсаторов (SC-базисе) с последующей физической реализацией этих устройств.

Известно, что основные достоинства SC-устройств — это высокая степень интеграции, достигаемая использованием современной КМОП-технологии; простота сопряжения с чисто цифровыми устройствами; отсутствие дискретизатора в явном виде; возможность практической реализации на основе программируемых аналоговых интегральных схем (ПАИС или англ. FPAА) [3].

Одним из лидеров в производстве ПАИС в SC-базисе является компания Anadigm. Реализация вышеуказанных устройств выполнена на ПАИС компании Anadigm с использованием САПР Anadigm Designer 2.

В докладе приводятся SC-схемы разработанных устройств и соответствующие конфигурации ПАИС в САПР Anadigm Designer 2. Обсуждаются особенности их реализации как аналого-дискретных устройств. Приводятся результаты физической реализации на ПАИС в виде интегральной микросхемы частного применения.

### **Литература**

1. **Коротков А.С.** Устройства приема и обработки сигналов. Микроэлектронные высокочастотные устройства радиоприемников систем связи: учебное пособие для вузов. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2010. 223 с.
2. **Галкин В.А.** Основы программно-конфигурируемого радио. М: Горячая линия. — Телеком, 2013. 372 с.
3. **Торопчин Д.С.** Теоретические и практические аспекты проектирования устройств на переключаемых МОП-конденсаторах // Вестник МЭИ. 2014. № 3. С. 89—97.

*В.Ю. Угольников, студ.; рук-ли Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф.;  
А.В. Щукин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ СВЯЗИ**

В настоящее время широкое распространение получили малогабаритные и энергоэффективные беспроводные цифровые устройства передачи информации. Такие устройства позволяют передавать информацию на ограниченную дальность. Чтобы передать информацию на большую дальность, требуется использовать ретрансляторы или дополнительные базовые станции. Для обеспечения требуемой дальности передачи информации и возможности передавать информацию в условиях сложного рельефа местности (например, город, горы, скалистые острова) предлагается дополнить каждый отдельный узел сети связи не только возможностью работать как ретранслятор, но и возможностью изменять топологию сети в автоматическом режиме на основе алгоритма поиска кратчайшего пути в графе [1, 2].

Разработанная беспроводная сеть связи реализована на основе приемопередатчика JN5148, работающего в диапазоне 2,4 ГГц. Управление приемопередатчиком осуществляется встроенным микроконтроллером, построенным на 32-битном RISC-процессоре, содержащим 128 кб памяти программ и 128 кб памяти данных. Скорость передачи данных между отдельными узлами сети может достигать 667 кбит/с. Дальность передачи данных между двумя отдельными устройствами достигает 4 км. Максимальная дальность связи в рамках сети ограничена только памятью отдельного узла, который хранит топологию сети.

Разработка и отладка программного обеспечения проводилась в среде «Eclipse» с использованием подключаемого программного модуля, предоставляемого производителем приемопередатчика. При разработке программного обеспечения узла использованы стандартные функции системного стека контроллера. Программирование JN5148 осуществлялось через последовательный интерфейс RS232 [2].

Изготовлены макеты узлов для проведения натуральных испытаний разрабатываемой беспроводной сети. Проведены испытания беспроводной сети, состоящей из пяти узлов, в условиях города. Экспериментально подтверждена возможность самоорганизации разработанной сети.

### **Литература**

1. **Зубов В.С.** Структуры и методы обработки данных. М. Физинь, 2004.
2. [http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/JN5148.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/JN5148.pdf)

## Секция 4

# АНТЕННЫЕ УСТРОЙСТВА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Председатель секции — д.ф.-м.н., профессор В.А. Пермяков  
Секретарь секции — ассистент А.Н. Пластиков

А.Ю. Авджибян, студ.; рук. Б.Л. Коган, д.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИФОКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ

В данной работе даны общие сведения о многолучевых антеннах; поднимается вопрос актуальности решения задач проектирования многолучевых антенн, а также сферы их применения. Рассмотрен алгоритм решения задачи поиска оптимальных параметров для обеспечения минимального СКО при заданных параметрах (угол и форма главного зеркала) с целью обеспечения максимальной эффективности работы антенны.

Рассчитаем плоскую двухзеркальную антенну, состоящую из параболического главного зеркала и контррефлектора специальной формы. Антенна точно фокусирует лучи, отклоненные от фокальной оси параболы на углы  $\pm\alpha$  в две фокальные точки, симметрично расположенные относительно оси. Будем предполагать, что для создания каждого из сфокусированных лучей главное зеркало используется полностью, а вспомогательное

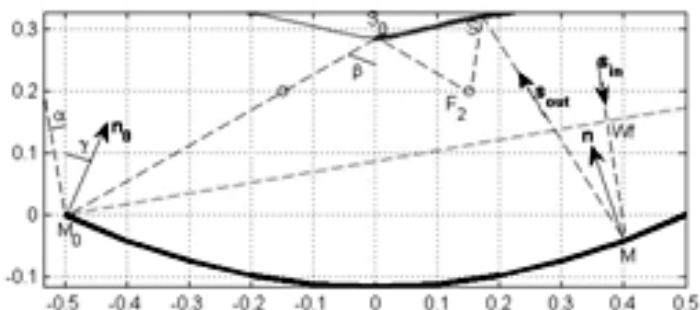


Рис. 1. Иллюстрация к постановке задачи

только наполовину. Будем также считать, что две половинки вспомогательного зеркала на фокальной оси смыкаются между собой и имеют общую касательную, ортогональную фокальной оси.

Очень часто на практике нужна антенна, которая фокусирует не только два луча, но целый сектор лучей. Конечно, точной фокусировки более чем двух лучей в двухзеркальной антенне достичь не удастся, но приближенной фокусировки, при которой диаграммы направленности дополнительных лучей будут не очень сильно искажены, добиться можно (рис. 1).



О.А. Адоньев, Д.В. Котов, соискатели; А.А. Блинников, асп.;  
рук. В.С. Ижуктин, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ», АО «ВНИИРТ», Москва)

## РАЗРАБОТКА ШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩЕГО МОДУЛЯ

Целью исследования является разработка широкополосной антенны S-диапазона для интегрирования в приемопередающий модуль (ППМ) нового поколения.

К проектируемой антенне предъявлены следующие требования: коэффициент усиления не менее 5 дБ, ширина диаграммы направленности в плоскости азимута на менее 120 град., в плоскости угла места не менее 70 град., КСВН не более 1,6. Для уменьшения габаритов и упрощения конструкции ППМ разрабатываемую антенну необходимо реализовать на печатной плате с направлением основного лепестка диаграммы направленности параллельно плоскости ППМ. На основе предварительных расчетов для достижения поставленной задачи выбрана антенна бегущей волны с расширяющейся щелевой линией или, как ее еще называют, антенна Вивальди.

В ходе компьютерного моделирования методом конечных элементов получена модель излучателя, представленная на рис. 1. Характеристики компьютерной модели в рабочей полосе частот: КСВН < 1,6, углы диаграммы направленности в плоскости угла места и азимута соответственно 59 и 125 град, коэффициент усиления не менее 7,2 дБ. Диаграмма направленности модели антенны представлена на рис. 2. По результатам моделирования изготовлен прототип излучателя, КСВН которого согласуется с КСВН компьютерной модели. Проводится подготовка измерительного стенда для тестирования широкополосных излучателей.

В дальнейшем ППМ с интегрированной антенной планируется использовать для создания современных радиолокаторов на основе активной фазированной антенной решетке.

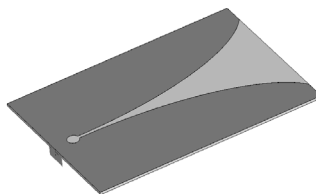


Рис. 1. Модель антенны Вивальди

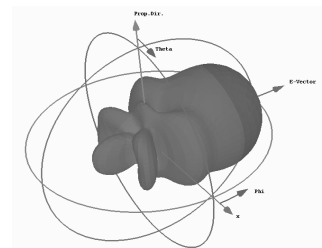


Рис. 2. Диаграмма направленности антенны

Р.С. Зенков, студ.; рук. В.А. Пермяков, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## РАСЧЕТ ДЛИНЫ ЭКСТИНКЦИИ И ЗАТУХАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ В НИЖНЕЙ ТРОПОСФЕРЕ С УЧЕТОМ ФЛУКТУАЦИИ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

В приближении однократного рассеяния в турбулентной среде мощность плоской электромагнитной волны уменьшается по экспоненциальному закону [1]  $P = P_0 \cdot \exp(-\sigma_0 z)$ , где  $\sigma_0$  [1/м] — дифференциальное сечение рассеяния. Ослабление мощности в  $e$  раз происходит на длине  $d = 1/\sigma_0$ , называемой длиной экстинкции. Теория однократного рассеяния справедлива при условии, что длина рассеивающего объема  $L$  мала по сравнению с длиной экстинкции:  $\sigma_0 L \ll 1$ . Оценим длину экстинкции в нижней тропосфере.

После преобразований, изложенных в [1], выражение для сечения рассеяния сводится к виду

$$\sigma_0 = 0,033 \cdot 2^{\frac{2}{3}} \pi^2 C_n^2 \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}} J,$$

где  $C_n$  — структурная постоянная показателя преломления тропосферы, а интеграл  $J \approx 1,2a^{-\frac{5}{3}}$  при условии  $a = \frac{\lambda}{2L_0} \ll 1$ .

Используем полученную формулу для оценки длины экстинкции.

При проведении оценок учтем, что структурная постоянная показателя преломления тропосферы, внешний и внутренний масштабы турбулентности известны со значительной неопределенностью. По разным данным  $C_n$  колеблется в пределах  $8 \cdot 10^{-9} — 3 \cdot 10^{-7} \text{ 1/см}^{1/3}$ . Внутренний масштаб турбулентности примем равным 1 см, внешний масштаб турбулентности — 15 м, полагая, что последний близок к высоте волновода испарения.

При данных условиях и длине электромагнитной волны  $\lambda = 3$  см минимальная длина экстинкции составляет 3500 км. С переходом на  $\lambda = 0,8$  см минимальная длина экстинкции заметно сокращается до 251 км. При уменьшении структурной постоянной длина экстинкции растет, изменяясь в значительных пределах.

### Литература

1. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Часть 2. Случайные поля. М.: Наука, 1978. 403 с.

## ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ИОНОСФЕРНЫХ И ТРОПОСФЕРНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ФАЗЫ ДЛЯ МАЛОБАЗОВЫХ ПЕЛЕНГАТОРОВ

Одним из факторов, вносящих погрешности в определение угловых координат радиисточников, являются флуктуации фазы, вызванные прохождением сигнала через атмосферу Земли. В случае радиолинии Космос—Земля радиоволны, излучаемые источником, расположенным в точке  $B$  (рис. 1), сначала проходят через ионосферные неоднородности (область 1), а затем — через область 2 толщины  $\Delta H_T$ , соответствующую тропосферным неоднородностям коэффициента преломления. Таким образом, флуктуации фазы в общем случае определяются суммарным действием тропосферных и ионосферных неоднородностей. При этом вклад ионосферных неоднородностей в фазу обратно пропорционален частоте волны, а тропосферных — прямо пропорционален частоте волны [1]. На частотах до 3 ГГц необходимо учитывать обе составляющие флуктуации фазы, а при более высоких частотах влиянием ионосферных неоднородностей можно пренебречь.

В докладе проводятся оценка величины тропосферных флуктуаций фазы и анализ влияния размера базы пеленгатора на величину флуктуаций фазы принимаемого сигнала.

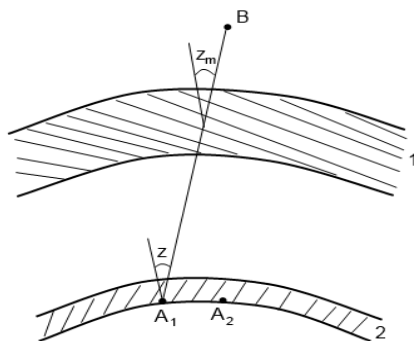


Рис. 1. К оценке флуктуации фаз:

$z, z_m$  — зенитные углы;  $A_1, A_2$  — приемные антенны пеленгатора.

### Литература

1. Яковлев О.И. Распространение радиоволн в космосе. М.: Наука, 1985.

*П.А. Клишин, студ.; А.В. Клементьева, асп.;  
рук. В.И. Гусевский, проф., д.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **О ПРОЕКТИРОВАНИИ АНТЕННЫХ ПОЛЕЙ БОЛЬШОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ**

Рассматриваются проблемы, возникающие при проектировании антенных полей большой протяженности. Их целевое назначение охватывает широкий круг задач, в том числе глобального характера. К ним относятся, например, задачи локации удаленных космических объектов — астероидов, крупных метеороидов, представляющих большую опасность для существования Земли в случаях возможных столкновений, задачи беспроводной передачи электроэнергии от проектируемых в настоящее время в ряде стран будущих солнечно-космических электростанций до проблем управления климатом Земли, не говоря уже о военных аспектах. В известных публикациях в России и за рубежом отсутствуют сведения об особенностях построения антенных полей большой протяженности, хотя в ряде стран также сооружения уже функционируют.

К числу нерешенных задач относятся:

- 1) проблемы расстановки остронаправленных антенн, составляющих неэквидистантную решетку с уменьшенным уровнем дифракционных лепестков;
- 2) проблема совокупного синхронного фазирования множества антенных элементов как путем электронного управления положением главного луча антенной решетки, так и с помощью синхронного механического поворота большого числа антенных элементов;
- 3) вопросы высокоточной юстировки и калибровки антенных элементов.

Особое место в этом перечне занимает задача дистанционного управления положением фазовых центров апертурных антенн, гарантирующего одновременную высокоточную направленность отдельных разнесенных в пространстве остронаправленных антенн в заданном направлении. Одновременно новые алгоритмы фазирования должны обеспечивать пространственную фильтрацию сигналов от помех, приходящих из области апертурных боковых лепестков.

Приводятся примеры численного моделирования некоторых вариантов антенных полей.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ШИРОКОПОЛОСНОГО ВОЛНОВОДНОГО ПОЛЯРИЗАТОРА

Задача данной работы сводится к выбору структуры одного из элементов антенно-волноводного тракта — широкополосного волноводного поляризатора с помощью электродинамического пакета HFSS [1] и математического MatLab [2].

В настоящей работе исследуется виртуальная модель поляризатора (рис. 1), выполненного на основе прямоугольного волновода. Одной из главных характеристик поляризатора является его поляризационная характеристика.

На вход подается линейно поляризованная волна под углом  $45^\circ$ . Волну можно разложить на две составляющие  $E_x$  и  $E_y$ . Если устройство смоделировать таким образом, чтобы векторы разложения испытывали сдвиг фаз  $90^\circ$ , то на выходе поляризатора будет волна с круговой поляризацией. Задача проектирования как раз и состоит в расчете фазового набега, минимально отличающегося от  $90^\circ$ .

Фазовая ошибка не должна превышать  $3^\circ$ , в ином случае кроссполяризационные искажения будут превышать минус 30 дБ, что негативно скажется на работе всей антенной системы.

В настоящей работе написаны и протестированы следующие программы на языке MatLab:

- 1) программа для расчета и построения поляризационной характеристики;
- 2) программа для нахождения максимальной глубины ребра и высоты боковой стенки в горизонтальной плоскости;
- 3) программа для расчета полосы частот, а также нахождения минимальной фазы, минимальной и максимальной частот.

Получили поляризационную характеристику с полосой пропускания 32,76 %. Расчет был проведен на частотах от 10,21 до 14,21 ГГц.

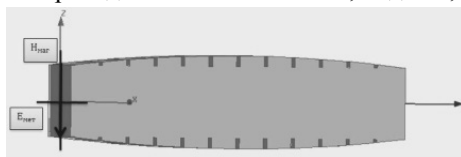


Рис. 1. Модель поляризатора

### Литература

1. Банков С.Е., Курушин А.А., Разевиг В.Д. Анализ и оптимизация структур с помощью HFSS. М., 2004. 283 с.
2. MatLab. Руководство для начинающих / Е. Михайлов, А. Померанцев. Российское хемометрическое общество, 2006.
3. Коган Б.Л. Поляризационные характеристики антенн. М.: Издательский дом МЭИ, 2011. 42 с.

*Е.С. Малевич, асп.; рук-ли В.В. Бодров, к.т.н., доц.;  
В.А. Пермяков, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **О ПРОБЛЕМАХ ЧИСЛЕННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ ИСТОЧНИКОМ ПЛОСКОЙ ГРАНИЦЫ ДВУХ СРЕД**

Практический интерес представляет расчет полей между произвольно ориентированными передающей и приемной антеннами, расположенными вблизи плоской границы раздела двух однородных сред.

Рассмотрено аналитическое решение задачи излучения вертикального вибратора под плоской границей раздела двух сред. С математической точки зрения решение дается интегральными представлениями волнового поля в цилиндрической системе координат. Подынтегральная функция — произведение функции от спектральной переменной поля на функцию Ханкеля, также зависящую от этой переменной. Методика вычисления интегралов подразумевает интегрирование по контуру на плоскости комплексной переменной или по действительной оси [1]. Проблема вычисления интегралов в том, что подынтегральные функции имеют полюса, линии ветвления, а также являются быстро осциллирующими при интегрировании по действительной оси. Предложено выбирать контур интегрирования на комплексной плоскости спектрального параметра, обходящий полюса и линии ветвления, а также уменьшающий быстрые осцилляции подынтегральной функции. С учетом этих факторов контур интегрирования выбирается в зависимости от геометрических параметров задачи. Результаты, полученные по реализованной в среде Matlab программе, согласуются с графической точностью с результатами решения задачи в пакете моделирования COMSOL Multiphysics.

Достоинством рассмотренного подхода является быстрый расчет поля при больших расстояниях между точками передачи и приема сигнала, когда время расчета по программам конечномерного анализа резко возрастает из-за роста числа переменных и нехватки объема оперативной памяти для решения системы линейных алгебраических уравнений.

Предложенная методика подходит для решения задач возбуждения электромагнитных и акустических волн вблизи границы раздела сред.

### **Литература**

1. Бодров В.В., Сурков В.И., Суркова И.В. Волновые процессы: учеб. пособие. М.: Издательство МЭИ, 2002.

*А.М. Махалов, асп.; рук. В.А. Пермяков, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ КВАЗИРЕГУЛЯРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН В ВОЛНОВОДЕ ИСПАРЕНИЯ**

Проведено исследование влияния состояния атмосферы на распространение радиоволн в приводной зоне. Особый интерес заслуживает изучение распространения радиоволн в волноводе испарения. В данной задаче необходим одновременный учет сразу нескольких факторов: рассеяния радиоволн на взволнованной морской поверхности, состояния тропосферы, локальных изменений профиля показателя преломления, перехода между различными типовыми состояниями приземного слоя тропосферы.

При исследовании волновода испарения необходимо уделить существенное внимание состоянию тропосферы. Особенности изменения профиля показателя преломления с ростом дальности могут значительно изменить картину распределения энергии поля и сократить дальность обнаружения цели в волноводе испарения на порядки.

Расчет проводился при помощи метода параболического уравнения, реализованного в программном продукте ПуМа. Применяемая методика расчета энергетического потенциала РЛС изложена в [1].

В докладе оценено влияние вертикальных и горизонтальных неоднородностей профиля показателя преломления, влияние данных возмущений на захват волноводом радиосигнала при плавном переходе от модели нормальной тропосферы к модели волновода испарения с профилем Паулуса—Ешке. Также оценено влияние мелкомасштабных турбулентностей на дальность распространения сигнала в волноводе испарения. При расчетах дальности действия РЛС по методу параболического уравнения учитывались потери в атмосфере и гидрометеорах, потери при рассеянии вперед на профиле морской поверхности, крупномасштабные трансформации показателя преломления. Влияние турбулентности на потери радиоволн оценивалось численно на грубых моделях флуктуаций показателя преломления

### **Литература**

1. Махалов А.М., Михайлов М.С., Пермяков В.А. Излучение остронаправленной антенны над морем в условиях возбуждения волновода испарения / II Всероссийская микроволновая конференция, Москва, ИРЭ РАН, 26–28 ноября 2014 г. С. 238—243.

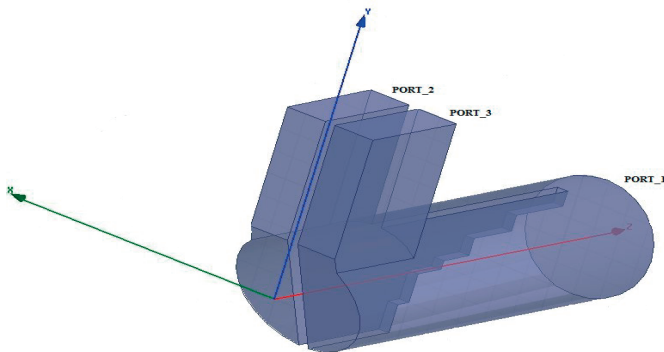
*С.Ю. Пашаев, студ.; рук. Б.Л. Коган, д.т.н., ст.н.с. (НИУ «МЭИ»)*

## **СЕЛЕКТОР КРУГОВЫХ ПОЛЯРИЗАЦИЙ НА КРУГЛОМ ВОЛНОВОДЕ С ВЫХОДАМИ НА ДВА ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ВОЛНОВОДА, РАБОТАЮЩИЙ В ШИРОКОЙ ПОЛОСЕ ЧАСТОТ**

Проектируемое устройство должно преобразовывать электромагнитные сигналы круговой поляризации, поступающие в круглый волновод, в сигналы линейной поляризации на выходе двух прямоугольных волноводов, причем сигналы правой и левой круговых поляризаций должны приходиться на разные прямоугольные волноводы на выходе устройства. Работать устройство должно в широкой полосе частот (от 8 до 10,5 ГГц).

Конструкция устройства выбрана по аналогии с устройством, описанным в работе [1], но коаксиальные выходы устройства заменены на прямоугольные волноводы.

Рассмотрены три разных варианта конструкции выходов на прямоугольные волноводы: один вариант с выходами изгиба в Е-плоскости и два разных варианта с изгибами в Н-плоскостях.



**Рис. 1**

На рис. 1 показан один из вариантов выхода на прямоугольные волноводы. Расчет устройства электродинамического моделирования и оптимизации волноводного устройства проводился с использованием пакета программ HFSS [2].

### **Литература**

1. **Enhancing** the Power Capabilities of the Stepped Septum Using an Optimized Smooth Sigmoid Profile / Ilkyu Kim, Joshua M. Kovitz, and Yahya Rahmat-Samii. Electrical Engineering Department, University of California Los Angeles, Los Angeles CA 90024, USA.

2. **Расчет** антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft v.13 / С.Е. Банков, А.А. Курушин. М., 2009.



## ЛУЧЕВОДНАЯ СИСТЕМА АНТЕННЫ ТНА-32Л

Рассматривается лучеводная система (ЛС) для антенны с диаметром рефлектора 32 м, предназначенной для работы в X и Ka диапазонах частот. При разработке ЛС одними из основных требований являются отсутствие во входном и выходных лучах кроссполяризации и симметричность амплитудных диаграмм направленности. В геометрооптическом приближении эти условия выполняются, если оптическая схема ЛС удовлетворяет условиям Мизусавы. Эти условия относятся к системам из двух зеркал, имеющих один общий фокус. Условия состоят в том, что эксцентриситеты зеркал должны быть либо равны, либо взаимно обратны (их произведение равно единице), кроме того, все три фокуса должны лежать на одной прямой. Примеры выполнения в оптических схемах лучеводов условий Мизусавы показаны на рис. 1. Фигуры всех зеркал, аналитически продолженные в пространство, должны быть симметричны относительно своих осей.

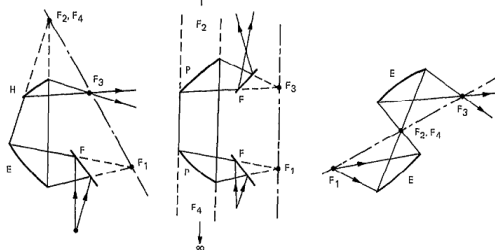


Рис. 1

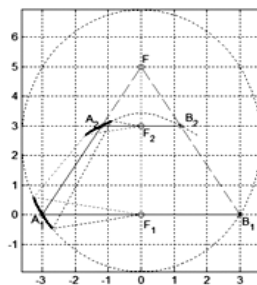


Рис. 2

Если рассмотреть варианты лучеводов, изображенных на рис. 1, и показать оси симметрии входного и выходного лучей, а также виртуальные точки пересечения этих лучей с поверхностями второго порядка, то получим для левого варианта схему, показанную на рис. 2. Условия Мизусавы на рис. 2. выполнены, так как эксцентриситет эллипса равен 0,5, а эксцентриситет гиперболы равен 2, кроме того, фокусы лежат на одной прямой. Мы видим также, что точки  $B_1$  и  $B_2$ , в которых входной и выходной лучи виртуально пересекают соответственно эллипс и гиперболу, также лежат на одной прямой с общим фокусом  $F$ . Однако для отсутствия кроссполяризации не нужно выполнения условий Мизусавы. Достаточно обеспечить выполнения условий, чтобы точки  $B_1$  и  $B_2$  лежали на одной прямой с общим фокусом  $F$ . При этом угловые ширины лучей не обязательно будут совпадать. На этом принципе и построено обобщение условий Мизусавы. Доказательство отсутствия кроссполяризации основано на теореме о преобразовании оси поляризационной диаграммы направленности.

## РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО ПОЛЯ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ

Электромагнитное излучение в различных частотных диапазонах широко используется в современных медицинских технологиях. Одной из таких технологий является СВЧ-нагрев биологических тканей, получивший распространение в лечении онкологических заболеваний. В качестве тестовой задачи расчета теплового поля в биологическом объекте был выполнен расчет электромагнитного поля в трехслойной модели головы пользователя сотового телефона, а также распределение температурного поля, возникающего под действием поглощенной СВЧ мощности. Расчет выполнен с помощью программ CST MWS и COMSOL Multiphysics.

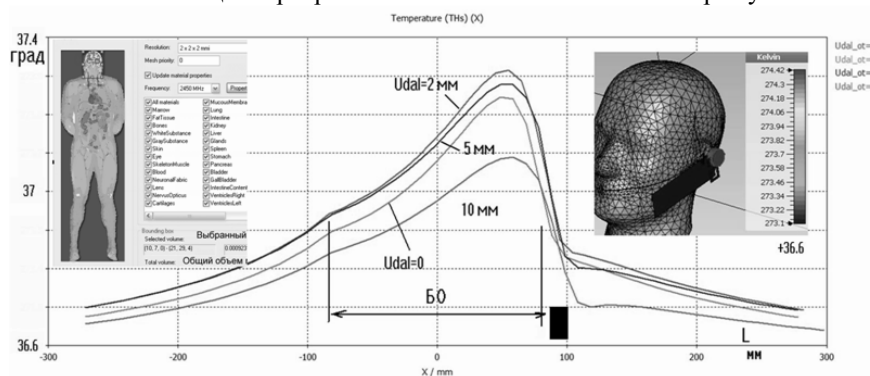


Рис. 1. Температура вдоль сечения модели головы пользователя сотовым телефоном

Показано, что тепловое поле зависит от структуры поля антенны, которая меняется в присутствии биологического объекта, а также от удаления антенны от поверхности головы (рис. 1). Увеличение температуры в самой критической точке доходит до 1 градуса.

Решение таких задач связано с детальным изучением процессов взаимодействия электромагнитных волн с биологическими тканями [1], поиском новых структур излучателей и оптимизацией микроволновых аппликаторов [2].

### Литература

1. Barnes F.S., Greenebaum B. Bioengineering and Biophysical Aspects of Electromagnetic Fields. CRC Press, 2006. Глава 10, SAR.
2. Веснин С.Г., Седанкин М.К. Миниатюрные антенны-аппликаторы для микроволновых радиотермометров медицинского назначения. URL: <http://www.radiometry.ru/>.

*Е.А. Тарасов, студ.; рук. А.С. Кондратьев, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОНИЧЕСКОГО РУПОРА С ГОФРИРОВАННОЙ СЕКЦИЕЙ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ**

В докладе исследуются характеристики конического рупора с гофрированной секцией, предназначенного для работы в полосе частот  $\pm 5\%$  относительно центральной частоты  $f_0$ . Требуется спроектировать измерительную рупорную антенну, диаграмма направленности (ДН) которой близка к осесимметричной, т.е. обеспечивает эффективную работу на круговой поляризации, имеет уровень боковых лепестков (УБЛ) не выше  $-20$  дБ в плоскостях Е и Н и минимально возможный УБЛ в окрестности заданного углового направления  $\theta_0$ .

Известно, что гладкий конический рупор технологичен в изготовлении и работает в относительно широком диапазоне частот. Однако его ДН не является осесимметричной и в плоскости Е имеет более высокий УБЛ, чем в плоскости Н, а при небольших фазовых искажениях (малых углах раствора) максимум УБЛ приближается к  $-17,6$  дБ. Поэтому целесообразно использовать антенну, имеющую осесимметричное спадающее амплитудное распределение в апертуре рупора в рабочем диапазоне частот. Известно, что синфазная круглая апертура со спадающим до нуля к краям апертурным распределением имеет УБЛ не выше  $-24,6$  дБ. Для формирования подобного распределения может использоваться гофрированная рупорная антенна. Такие антенны могут иметь практически осесимметричную ДН в диапазоне частот до  $50\%$ . Однако изготовление рупора с полностью гофрированной стенкой может оказаться технологически затруднительным при габаритах антенн, превышающих несколько десятков длин волн. Поэтому для обеспечения требуемых характеристик излучения в полосе частот  $10\%$  было предложено использовать рупор с гофрированной секцией, канавки которой располагаются в области, где эффективно возбуждаются две низшие собственные волны рупора. Позиции и глубины канавок выбираются из следующих условий: 1) формирование спадающего распределения в области секции; 2) перенос сформированного спадающего распределения в апертуру рупора в заданной полосе частот.

В докладе приводятся результаты сравнения расчетных характеристик рупора с гофрированной секцией, полученных по импедансной модели с характеристиками гладкого рупора и гофрированного рупора с секцией, содержащей канавки, перпендикулярные образующей, а также с секцией, содержащей канавки перпендикулярные оси рупора, рассчитанными с помощью стандартного пакета электродинамического моделирования.

## Секция 5

# РАДИОЛОКАЦИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Председатель секции — к.т.н., доцент Т.С. Жутяева

Секретарь секции — аспирант А.С. Левченко

*О.Б. Бикбулатов, студ.; рук. А.И. Баскаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## СПЕЦИАЛЬНЫЙ ПРОЦЕССОР ОБНАРУЖЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ С ОЦЕНКОЙ ПАРАМЕТРОВ ПОМЕХИ

В современных бортовых радиолокационных станциях (БРЛС), работающих в сложной помеховой обстановке, как правило, применяются несколько специализированных вычислительных машин (СЦВМ), одна из которых обычно предназначена для обработки сигнала [1]. Основной принцип работы СЦВМ заключается в распределении отдельных вычислительных задач между множеством процессоров, входящих в её состав. Такой подход позволяет каждому процессору решать только часть общей задачи обработки сигнала, поставленной перед СЦВМ в целом.

Цифровая обработка радиолокационных сигналов позволяет автоматизировать процесс обнаружения полезных сигналов. На практике обнаружение эхо-сигналов связано с неопределенностью статистических характеристик сигналов и помех. Различают параметрическую и непараметрическую априорную неопределенность. Один из путей преодоления априорной неопределенности состоит в разработке адаптивных алгоритмов, структура и параметры которых могут изменяться в соответствии с результатами анализа наблюдаемого на его входе процесса [2].

В непараметрических обнаружителях оценка закона распределения помехи и ее мощности осуществляется по некоторой выборке из  $N$  отсчетов шума. При этом уровень ложной тревоги определяется выражением

$$F = \sum_{k=K_0}^m C_m^k P_m^k (1 - P_m)^{m-k}, \quad (1)$$

где  $C_m^k = \frac{m!}{k!(m-k)!}$ ;  $K_0 = 1,5\sqrt{m}$  — цифровой порог;  $m$  — количество обрабатываемых периодов повторения;  $P_m$  зависит только от количества шумовых отсчетов ( $N \leq 10$ ) и не зависит от закона распределения и мощности шума [3].

В докладе обсуждается схема СЦВМ обработки сигнала и принцип ее работы.

### Литература

1. **Акимов П.С., Бакут П.А., Богданович В.А.** Теория обнаружения сигналов / под ред. П.А. Бакута. М.: Радио и связь, 1984.
2. **Основы** построения радиолокационных станций радиотехнических войск: учебник / В.Н. Тяпкин, А.Н. Фомин, Е.Н. Гарин и др.; под общ. ред. В.Н. Тяпкина. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2011.
3. **Левин Б.Р.** Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Сов. радио, 1969. Кн. 1.

## ОПТИМАЛЬНЫЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ СИГНАЛА ДЛЯ ГРУППЫ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ПОИСКА И СЛЕЖЕНИЯ ЗА ОБЪЕКТАМИ

Основная задача, возлагаемая на комплексы БПЛА, — проведение разведки в труднодоступных районах, в которых получение информации обычными средствами затруднено или подвергает опасности здоровье и жизнь людей.

Есть множество алгоритмов, позволяющих выполнять задачи позиционирования БПЛА без средств визуального наблюдения. Один из таких алгоритмов основан на расположении БПЛА вокруг цели и оценке разности времен прихода сигналов с цели [1, 2].

Данный алгоритм позволяет синтезировать новый метод позиционирования, заключающийся в вычислении перекрестной корреляционной функции в виде

$$R_{x1,x2}(\tau) = \sum_{i=1}^N a_i \cdot R_{ss}(\tau - \tau_{3,i}) + R_{n1,n2}(\tau). \quad (1)$$

С учетом оптимизации, выражение для оценки коэффициента корреляции будет иметь вид

$$\hat{\rho} = \frac{R_{x1,x2}(\tau_{3,i})}{R_{x1,x1}(0) \cdot R_{x2,x2}(0)}. \quad (2)$$

Малая величина коэффициента корреляции будет означать, что либо приемник находится вдали от искомого объекта [3], либо на пути электромагнитного сигнала имеются препятствия. Таким образом, данную информацию можно использовать для коррекции траектории полета БПЛА.

### Литература

1. **Cooperative** tracking of moving targets by a team of autonomus UAVS / M. Wheeler, B. Schrick, W. Whitacre et al. // 25<sup>th</sup> Digital Avionics System Conference, 2006.
2. **Representing** Substantial Heading Uncertainty for Accurate Geolocation by Small UAVs / S. Nuske, M. Dille, B. Grochovsky, S. Singh // AIAA Guidance, Navigation and Control Conference, Toronto, Ontario Canada, 2—5 August 2010.
3. **Вопросы** оптимизации применения БПЛА для поиска и слежения за объектами / Р.Н. Абдулов, Н.А. Абдуллаев, Х.Г. Асадов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. СПб., 2013.

А.В. Ефимов, студ.;  
рук. А.П. Брюховецкий, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## **РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ И ТЕСТИРОВАНИЮ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ**

В настоящее время в российском телевидении происходит переход от аналогового телевидения к цифровому [1]. В результате увеличения доли цифрового телевидения (ЦТВ) все более возрастает необходимость в детальном изучении его характеристик. Одним из главных составляющих цифрового ТВ является транспортный поток (ТП) [2]. Изучение его особенностей является одним из основных составляющих курса по цифровому ТВ. Для закрепления знаний по этому вопросу необходима разработка лабораторной работы.

В лабораторной работе используется программа анализа ТП ЦТВ MPEG-2 TS — 4T2 Content Analyser [3], позволяющая анализировать, тестировать, изучать параметры ТП ЦТВ. Для лабораторной работы разработаны описание, методика проведения работы и порядок выполнения, подготовлены контрольные вопросы и материалы, необходимые при домашней подготовке. При проведении лабораторной работы студент получит наглядное представление о самом ТП ЦТВ, его составе, сможет легко освоить структуру и характеристики ТП ЦТВ, научится понимать содержимое служебных таблиц. Данная лабораторная работа станет частью цикла лабораторных работ, посвященных изучению ЦТВ.

### **Литература**

1. **Дворкович В.П., Дворкович А.В.** Мир цифровой обработки. М.: Техносфера, 2012.
2. **Серов А.В.** Эфирное цифровое телевидение DVB-T/H. СПб.: БХВ-Петербург, 2010.
3. <http://www.4t2.eu/4T2-Content--Analyser/4t2-content--analyser.html>

*А.В. Зенина, студ.; рук. А.И. Баскаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ВЫСОКОТОЧНОГО ГИДРОЛОКАЦИОННОГО ПРОФИЛОГРАФА**

Одной из актуальнейших задач сегодняшнего дня является поиск затонувших объектов. Вследствие особенностей распространения акустических волн в твердых средах и на их границах, в донный грунт могут проникать только низкочастотные акустические колебания. При этом для эффективного проникновения в грунт на заданную глубину требуется высокая мощность излучаемого сигнала.

Поэтому для исследования толщи дна наиболее эффективным средством является акустический профилограф, работающий на частотах от единиц до первых десятков килогерц.

Широко распространенный линейный профилограф, удовлетворяющий жестким массогабаритным требованиям к современным гидроакустическим системам, не позволяет эффективно решать данную задачу в связи с низкой разрешающей способностью по углу из-за широкой диаграммы направленности излучающей антенны ( $20^\circ$  —  $30^\circ$ ) [1].

Поэтому имеет смысл рассмотреть возможность использования для решения данной задачи параметрического профилографа, принцип действия которого основан на эффекте нелинейного взаимодействия акустических волн в среде, что позволяет получить ширину диаграммы направленности около  $3^\circ$  и в результате повысить разрешающую способность гидролокатора по углу при сохранении его конкурентных массогабаритных показателей [2]. Кроме того, в параметрическом профилографе возможно использование сверхширокополосных зондирующих сигналов, что дает возможность повысить разрешающую способность гидролокатора по дальности и получать дополнительную информацию об объектах в толще дна.

В настоящее время только гидролокационный параметрический профилограф удовлетворяет высоким тактико-техническим требованиям, предъявляемым к гидроакустическим системам, устанавливаемым на буксируемые и телеуправляемые подводные аппараты, а также на автономные обитаемые подводные аппараты.

### **Литература**

1. **Новиков Б.К., Тимошенко В.И.** Параметрические антенны в гидролокации. Л.: Судостроение, 1989.

2. **Воронин В.А., Тарасов С.П., Тимошенко В.И.** Гидроакустические параметрические системы. Ростов н/Д: Ростиздат, 2004.



*А.А. Крылов, студ.; рук. А.В. Дворкович, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА НАСТРОЙКИ ПРИЕМНИКА НА СТАНЦИЮ ЦИФРОВОГО ВЕЩАНИЯ**

Цифровизация информационных систем подразумевает увеличение как объема передаваемой информации, так и быстродействия этих систем [1]. Совершенствование отдельных этапов работы системы позволяет поднимать качество работы системы в целом.

В работе рассмотрен реализованный в среде программирования MatLab алгоритм нахождения сигнала с известными параметрами спектра. Синхронизация цифрового сигнала является вычислительно сложным процессом, поэтому предварительная селекция сигнала позволяет снизить требования к производительности приемного оборудования.

Разработанный алгоритм базируется на оценке формы спектра принятого сигнала и его ширины. Кроме того, исследуется взаимная корреляция формы спектра принятого сигнала с формой эталонного спектра. Исследована работоспособность алгоритма на сигналах, спектр которых отличается по ширине и форме от эталонного. Примером такого сигнала является ЧМ-сигнал с пилот-тоном [3], имеющий треугольную форму спектра. Вещание таких сигналов осуществляется в интересующем нас диапазоне ОВЧ.

Работоспособность алгоритма исследована на модели системы РА-ВИС [2], позволяющей задавать различные искажения сигнала при распространении и приеме (многолучевость, частотные и временные замирания, гауссовский шум).

Исследуемый алгоритм дополнен алгоритмом обнаружения сигналов на фоне шумов [4], рассмотренный ранее на XXI ежегодной международной научно-технической конференции.

### **Литература**

1. **Дворкович В.П., Дворкович А.В.** Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика). М.: Техносфера, 2012.
2. **ГОСТ Р 55686–2013.** Аудиовизуальная информационная система реального времени (РАВИС). Цифровой модулятор. Основные параметры и технические требования.
3. **Электроакустика** и звуковое вещание / И.А. Алдошина, Э.И. Вологдини др. М.: Горячая линия — Телеком, Радио и связь, 2007.
4. **Yonghong Zeng, Ying-Chang Liang.** Spectrum-Sensing Algorithms for Cognitive Radio Based on Statistical Covariances // IEEE Transactions on vehicular technology. May 2009. Vol. 58. No. 4.

*П.С. Кузнецов, асп.; рук. А.В. Суетенко, д.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)*

## **О ПРОБЛЕМЕ РАСКРЫТИЯ НЕОДНОЗНАЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕЛИ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ СВЧ-ДИАПАЗОНА НА БАЗЕ КОРРЕЛЯЦИОННО-ФАЗОВЫХ ПЕЛЕНГАТОРОВ**

Измерительные комплексы сантиметрового диапазона радиоволн на основе корреляционно-фазовых пеленгаторов (ИК КФП) находят применение в решении широкого круга задач в народном хозяйстве и военном деле. Они являются эффективным инструментом измерения как координатных, так и некоординатных [1] параметров принимаемых радиосигналов от орбитальных объектов (ИСЗ и др.) и могут обеспечить потенциально высокую точность таких измерений.

Однако при работе ИК КФП неизменно приходится решать задачу раскрытия неоднозначности полученных результатов измерения, проистекающей из самого принципа работы приборов данного класса. Известно, что в ИК КФП, работающих по схеме разнесенного приема, для вычисления координат цели (азимут и угол места) проводится измерение времени задержки сигнала как разности фаз в точках приема [2] в виде

$$\Phi_{\Pi} = 2\pi N + \varphi, \quad (1)$$

где  $N$  — целое число (причем  $N_{\text{макс}} = \text{целое от деления } [B/\lambda]$ );  $\varphi$  — дробная часть (округляемая до целого числа фазовых циклов);  $B$  — база пеленгатора;  $\lambda$  — длина волны принимаемого радиосигнала. В таких ИК КФП возникает неоднозначность измерений.

Задача раскрытия данной неоднозначности не нова, существуют и применяются отработанные методики ее разрешения. В то же время использование современной элементной базы и доступных вычислительных средств с высокой производительностью позволяет добиться значительного упрощения реализации ИК КФП, приблизить точность измерения к потенциально возможной.

В настоящем докладе рассмотрены подходы к решению данной проблемы, использованные при разработке и проектировании перспективного ИК КФП, а также оригинальные современные методики, созданные коллективом НПЦ «КБ РПС» НИУ МЭИ, в работе над которыми активное участие принимал автор.

### **Литература**

1. **Кузнецов П.С.** Контрольно-измерительный комплекс на базе фазового корреляционного пеленгатора для диапазона 1,0...18,0 ГГц // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: XX МНТК студентов и аспирантов: тезисы докладов. М.: Изд. дом МЭИ, 2013 .
2. **Денисов В.П., Дубинин Д.В.** Фазовые радиопеленгаторы. Томск: ТГУ управления и радиоэлектроники, 2002.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНИКИ ПОВОРОТА СОЗВЕЗДИЯ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ, ОСНОВАННЫХ НА МОДУЛЯЦИИ COFDM

В настоящее время актуальна задача обеспечения высокого качества и устойчивости приема в системах передачи данных, основанных на модуляции COFDM. В данной работе исследована техника поворота сигнального созвездия, применяемая в [1], которая заключается в том, что при повороте сигнального созвездия каждый символ проецируется на квадратурные компоненты Re и Im уникальным образом. Квадратурные компоненты Im точек сигнального созвездия смещаются таким образом, чтобы компоненты Re и Im, соответствующие одной точке созвездия, передавались на разных частотах и в разных символах OFDM.

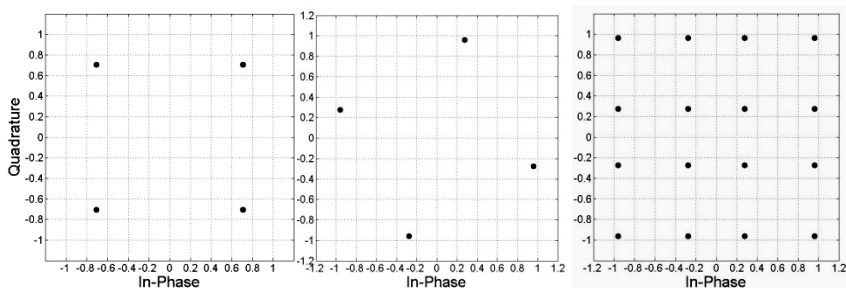


Рис. 1. Сигнальное созвездие QPSK до поворота (слева), после поворота (в центре), после сдвига компоненты Im (справа)

За счет уникальности компонент даже при глубоком амплитудном замирании на частоте, переносящей одну из компонент (т.е. при потере одной компоненты), при приеме сигнала возможно полностью восстановить переданный символ из второй компоненты.

Основным результатом данной работы является демодулятор сигнала COFDM с повернутым созвездием. Автором получено аналитическое выражение логарифма отношения правдоподобия и предложена удобная с точки зрения реализации структура демодулятора. Проведено моделирование работы демодулятора в составе системы РАВИС [2] для оценки его эффективности.

### Литература

1. Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). ETSI TS 102 831 V1.2.1 (2012-08).
2. Дворкович В.П., Дворкович А.В. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика). М.: Техносфера, 2012.

С.В. Литвинов, Ю.А. Гусева, студенты;  
рук. О.В. Чернойров, д.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕГАУССОВСКИХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Проблема определения статистических характеристик негауссовских случайных процессов имеет широкие приложения в статистической радиофизике и радиотехнике. Так, при анализе предельных отклонений и устойчивости сложных технических систем, в теории надежности и строительной механике, в теории локации и связи необходимо знать распределение абсолютного (наибольшего) максимума реализации стационарной случайной функции [1]. Одной из достаточно распространенных негауссовских случайных функций является релеевский случайный процесс и его обобщения, которые в общем виде можно представить как [1,2]

$$\eta(t) = \sqrt{[N_1(t) + a_1]^2 + [N_2(t) + a_2]^2}, \quad t \in [0, T]. \quad (1)$$

Здесь  $a_i$ ,  $i = 1, 2$  — некоторые постоянные величины, а  $N_i(t)$  — независимые центрированные гауссовские случайные процессы с дисперсиями  $\sigma_i^2$  и коэффициентами корреляции  $R(\tau)$ . При  $a_1 = a_2 = 0$ ,  $\sigma_1 = \sigma_2$  одномерная плотность вероятности процесса  $\eta(t)$  описывается релеевским законом распределения [1], при  $a_1 \neq a_2$ ,  $\sigma_1 = \sigma_2$  — распределением Релея—Райса [1], при  $a_1 = a_2 = 0$ ,  $\sigma_1 \neq \sigma_2$  — распределением Хойта [2], при  $a_1 = 0$ ,  $a_2 \neq 0$ ,  $\sigma_1 \neq \sigma_2$  — распределением Беркмана [2], при  $a_1 \neq a_2 \neq 0$ ,  $\sigma_1 \neq \sigma_2$  — четырехпараметрическим распределением [1,2].

В работе на примере процесса (1) предложена методика определения функций распределения наибольшего максимума негауссовских случайных процессов. Проиллюстрировано получение предельных законов распределения наибольших максимумов гладких (дифференцируемых) и кусочно-гладких (недифференцируемых) процессов Релея, Релея—Райса, Хойта, Беркмана. Методами статистического моделирования установлено, что найденные асимптотические аппроксимации удовлетворительно описывают истинные распределения в широком диапазоне значений параметров случайных процессов.

### Литература

1. Тихонов В.И., Хименко В.И. Выбросы траекторий случайных процессов. М.: Наука, 1987.
2. Кловский Д.Д. Передача дискретных сообщений по радиоканалам. М.: Радио и связь, 1982.

*А.А. Макаров, А.Н. Фаульгабер, студенты;  
рук. О.В. Чернояров, д.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **БЫСТРЫЕ АЛГОРИТМЫ КОГЕРЕНТНОЙ ДЕМОДУЛЯЦИИ ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫХ РАДИОСИГНАЛОВ**

Когерентная демодуляция радиосигналов с фазовой манипуляцией (ФМ) или квадратурной амплитудной модуляцией (КАМ) обеспечивает высокую скорость и помехоустойчивость передачи дискретной информации, но требует фазовой синхронизации опорного (тактового) сигнала приемника с принимаемым сигналом. Оптимальные алгоритмы их корреляционной обработки [1, 2] требуют значительных вычислительных затрат, вследствие чего возникает необходимость поиска быстрых цифровых алгоритмов, допускающих программную или аппаратную реализацию с минимальным числом простых арифметических операций.

В работе предложены структурные схемы быстрых алгоритмов (и реализующих их устройств) цифровой когерентной демодуляции двоичных ФМ сигналов, сигналов с относительной ФМ, сигналов с многопозиционной амплитудной модуляцией, сигналов с многопозиционной КАМ в виде последовательно-параллельного соединения сумматоров (вычитающих устройств) и многоразрядных регистров сдвига. Показано, что предложенные демодуляторы являются эффективными с точки зрения требуемых вычислительных операций, допускают простую реализацию на базе сигнальных процессоров и программируемых логических интегральных схем и обеспечивают потенциальную помехоустойчивость в белом шуме (т.е. являются оптимальными).

Полученные теоретические результаты подтверждены экспериментально методами программного и аппаратного статистического моделирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект № 1729).

### **Литература**

1. **Финк Л.М.** Теория передачи дискретных сообщений. М.: Советское радио, 1970.
2. **Скляр Б.** Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.

## ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МОБИЛЬНОГО ПРИЕМА СИСТЕМЫ НАЗЕМНОГО ВЕЩАНИЯ С ПОМОЩЬЮ СИНХРОСИМВОЛА



Рис. 1. Структура синхросимвола

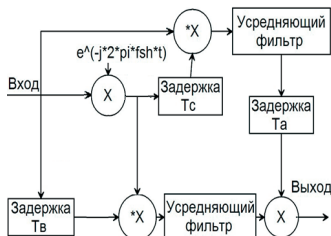


Рис. 2. Схема обнаружения

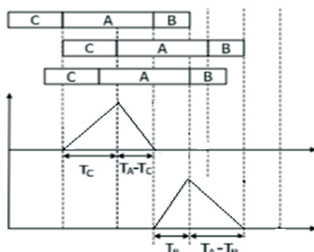


Рис. 3. Диаграммы обнаружения

В настоящее время актуальна задача обеспечения высокого качества и устойчивости приема. Реализованный в данной работе дополнительный синхросимвол позволяет проводить с высокой точностью временную и частотную синхронизации, а также распознавание и идентификацию сигнала.

Для формирования синхросимвола для системы RABIC [1], аналогичного символу P1 системы DVB-T2, необходимо сопоставить передаваемые параметры ортогональным наборам, промодулировать их с помощью DBPSK модуляции, проскремблировать, расположить сигнал по несущим частотам, перейти во временную область и сформировать «С-А-В» структуру, в которой части С и В являются частотно смещенными копиями части А, которые можно различать, несмотря на присутствие большого сдвига частоты.

Процесс обнаружения заключается в поиске максимального сходства между частотно сдвинутыми копиями и оригиналом с учетом задержек.

Аргумент выхода коррелятора в максимальной точке оказывается пропорциональным компоненте точного смещения частоты:

$$\delta f = \frac{\Delta f \arg(G(j_{\max}))}{2\pi}. \quad (1)$$

В результате моделирования и последующего анализа синхросимвола показано, что этот символ справляется с возложенными на него функциями.

### Литература

1. **Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2).** ETSI TS 102 831 V1.2.1 (2012-08).

*А.С. Пескун, студ.; рук. А.И. Баскаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ КРУГОВОГО СКАНИРОВАНИЯ X-ДИАПАЗОНА**

В настоящее время достаточно широко распространены антенные системы, построенные по принципу активных фазированных антенных решеток (АФАР).

В данном докладе рассмотрены наиболее распространенные реализации кругового сканирования в АФАР.

Выявлены основные достоинства и недостатки, связанные со временем обзора пространства, компактностью размещения на объекте и т.д.

В качестве образца, лишенного выявленных недостатков, предложено использовать малогабаритную активную фазированную решетку кругового сканирования (АФАР-КС) [1,2], у которой форма ДН и коэффициент усиления практически неизменны при любом положении луча, так как его перемещение в азимутальной плоскости осуществляется путем коммутационного перемещения активной зоны по апертуре цилиндрической излучающей системы.

Рассмотрен один из ключевых устройств в составе АФАР — многоканальный приемно-передающий модуль (МПП) [3], его состав и выполняемые функции.

Приведен метод предварительной настройки модулей МПП.

Описана система управления приемно-передающими каналами в составе блока управления лучом (БУЛ), согласующего устройства (УС) и устройства управления (УУ).

Для обеспечения выполнения требуемых задач был проведен расчет основных характеристик АФАР-КС, а также сравнительный анализ с измененными на макетном образце характеристиками.

### **Литература**

1. **Радиолокационные системы специального и гражданского назначения** / под ред. Ю.И. Белого. М.: Радиотехника, 2011.
2. **Вендик О.Г., Парнес М.Д.** Антенны с электрическим сканированием / под ред. Бахраха. М., 2001.
3. **Гостюхин В.Л., Трусов В.Н., Гостюхин А.В.** Активные фазированные антенные решетки. — Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Радиотехника, 2011.

А.В. Рубан, студ.; рук. А.И. Баскаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## АНАЛИЗ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ВЫСОКОТОЧНОГО АВИАЦИОННОГО РАДИОВЫСОТОМЕРА НА МАЛЫХ ВЫСОТАХ НАД МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

При работе высокоточного радиовысотомера (ВРВ) на малых высотах в режиме измерения профиля поверхности характеристикой отражающих свойств морской поверхности (МП) является функция  $G_{OP}\left(S, \frac{d\xi_{кр}}{ds}, t\right)$  —

локальная диаграмма обратного рассеяния (ДОР). Она, в отличие от известных представлений ДОР, зависит от времени и взаимного положения летательного аппарата (ЛА) относительно МП [1].

Профиль МП задается в виде суперпозиции крупных  $\xi_{кр}$  и мелких  $\xi_{м}$  неровностей, моделирующих крупные ветровые морские волны и мелкие ветровые или рябь на поверхности крупных волн. Эффективная ширина локальной ДОР определяется статистическими характеристиками мелких неровностей: на вершине крупных ветровых волн ширина локальной ДОР растет, во впадине — наоборот, падает.

Положение максимума локальной ДОР зависит от производной крупных неровностей МП и смещается пропорционально их наклонам в сторону падения склона на величину  $H\xi'$ , где  $H$  — высота от ЛА до среднего уровня спокойной водной поверхности. В то же время при широкой ДОР на склонах рельефа нарушается симметрия локальной ДОР.

Оценка высоты на выходе следящей системы ВРВ представляет собой сумму трех слагаемых: первое — высота до среднего уровня; второе — смещение оценки высоты, изменяющееся во времени в зависимости от наклонов крупных неровностей; третье — составляющая, связанная с рельефом поверхности.

Для количественного расчета текущей методической погрешности оценки высоты авиационного ВРВ на малых высотах необходима обоснованная аппроксимация крупных неровностей морской поверхности детерминированной функцией  $\xi_{кр}(x, y)$ . В простейшем случае для этого может быть использована гармоническая функция, но также были использованы и другие, более сложные функции. Кроме того, рассмотрен случай полета ВРВ не параллельно среднему уровню, а под некоторым углом.

### Литература

1. Баскаков А.И. Влияние диаграммы обратного рассеяния морской поверхности на отраженный сигнал высокоточного авиационного высотомера на малых высотах // Радиотехнические тетради. 2015. № 54. С. 55—59.



## ОБНАРУЖЕНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ РАЗЛАДКИ ДИСПЕРСИИ ГАУССОВСКОГО СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА С НЕИЗВЕСТНОЙ ПОЛОСОЙ ЧАСТОТ

В работе предложен технически простой способ определения скачкообразного изменения дисперсии полосового гауссовского случайного процесса  $\xi(t)$  с неизвестной шириной полосы частот и измерения его параметров до и после разладки. Аналитически такой процесс может быть описан как

$$\xi(t) = [\sigma_1 + (\sigma_2 - \sigma_1)\theta(t - \lambda_0)]v(t).$$

Здесь обозначено:  $\theta(t) = 0$  при  $t < 0$  и  $\theta(t) = 1$  при  $t \geq 0$ ;  $\lambda_0$  — момент возможной разладки;  $\sigma_1^2$ ,  $\sigma_2^2$  — дисперсии процесса  $\xi(t)$  при  $t < \lambda_0$  и  $t \geq \lambda_0$  соответственно, а  $v(t)$  — стационарный центрированный гауссовский случайный процесс, обладающий спектральной плотностью (СП)  $G(\omega) = \pi/\Omega_0$ ,  $\omega \in [-\vartheta - \Omega_0/2, -\vartheta + \Omega_0/2] \cup [\vartheta - \Omega_0/2, \vartheta + \Omega_0/2]$ . Здесь  $\vartheta$  — центральная частота;  $\Omega_0$  — ширина полосы частот процесса  $v(t)$ .

Полагаем, что процесс  $\xi(t)$  наблюдается на фоне аддитивного гауссовского белого шума  $n(t)$  с односторонней СП  $N_0$ . В результате наблюдению доступна смесь  $x(t) = \xi(t) + n(t)$ ,  $t \in [0, T]$ . Флуктуации процесса  $\xi(t)$  будем считать «быстрыми», так что выполняется условие  $T_{\min} \gg 2\pi/\Omega_0$ , где  $T_{\min} = \min(\lambda_0, T - \lambda_0)$ . По реализации  $x(t)$  необходимо обнаружить момент разладки процесса  $\xi(t)$  и оценить параметры  $\lambda_0$ ,  $\Omega_0$ ,  $\sigma'$ ,  $\sigma''$ .

На основе метода максимального правдоподобия синтезированы существенно технически более простые по сравнению с известными аналогами [1, 2] алгоритмы обнаружения разладки процесса  $\xi(t)$  и измерения его неизвестных параметров. Предложены возможности их аппаратурной реализации. Найдены асимптотически точные выражения для характеристик обнаружения/оценивания. Методами статистического моделирования на ЭВМ установлено удовлетворительное совпадение теоретических и экспериментальных данных при выходных отношениях сигнал/шум, больших 1—2.

### Литература

1. Клигене Н., Телькснис Л. Методы обнаружения моментов изменения свойств случайных процессов // Автоматика и телемеханика. 1983. Т. 44. № 10.
2. Basseville M., Nikiforov I.V. Detection of Abrupt Changes: Theory and Application. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993.

*О.Ю. Творогов, студ.; Р.И. Зарипов, инж.;  
рук. В.Н. Третьяков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ДИСТАНЦИОННОЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИЛОВЫМИ ЩИТАМИ 380 В 60 А ОТ КОМПЬЮТЕРА**

Силовые щиты устанавливаются в самых разнообразных помещениях, где требуется обеспечить поставку электроэнергии для различных приборов и обеспечить их безопасное функционирование. Щиты устанавливаются на промышленных объектах, на объектах повышенной опасности или в труднодоступные места. Удаленное управление такими распределительными устройствами является очень актуальным [1, 2].

Предлагаемая система дистанционного управления силовыми щитами отличается тем, что позволяет надежно выполнять частые переключения сети и управлять устройствами, даже если возникают локальные отказы в каналах связи. Один оператор имеет возможность управлять одновременно несколькими силовыми щитами, где каждый щит питает свой пост. Имеется обратная связь, которая своевременно уведомляет о неисправности того или иного силового щита.

Способ организации канала связи — важнейший вопрос обеспечения надежности управления. Для эффективного и помехоустойчивого управления силовыми щитами (в том числе и одним щитом) предлагается использовать беспроводную технологию стандарта IEEE 802.15.4 ZigBee. Отличительной чертой этого стандарта является возможность самовосстановления дееспособности сети в случае выхода из строя отдельных ее узлов. Это свойство основано на том, что каждый узел следит за своими соседями, постоянно обновляя маршрутные таблицы на основе оценки мощности принятых от них сигналов. В результате при изменении пространственного расположения соседей или выходе из сети одного из устройств вычисляется новый маршрут следования сообщения [3].

Использование беспроводных технологий в системе дистанционного управления силовыми щитами позволяет проводить мониторинг состояния сети и узлов оператором с использованием персонального компьютера в режиме реального времени. Специальное программное обеспечение и наличие приемопередающего модема, работающего в стандарте ZigBee, позволяют оператору войти в сеть и провести необходимые работы по настройке, включению/выключению силовых щитов и их диагностике.

### **Литература**

1. **Рожкова Л.Д., Козулин В.С.** Электрооборудование станций и подстанций: учебник для техникумов. М.: Энергоатомиздат, 1987.
2. **МИФТ.641357 РЭ.** Щит силовой (ЩС). Руководство по эксплуатации.
3. **Пушкарев О.** ZigBee-модули XBee: новые возможности. М., 2012.

## ЭФФЕКТИВНЫЙ АЛГОРИТМ МНОГОАЛЬТЕРНАТИВНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ В ИЗОБРАЖЕНИИ

В работе рассматривается задача приема и обработки поля  $s(\mathbf{r}, t_i)$ , представляющего собой фрагмент  $u(\mathbf{r})I_{\Omega}(\mathbf{r})\delta(t-t_i)$  пространственно-временного сигнала в дискретный момент времени  $t_i$ ,  $i=0, 1, \dots$ , наблюдаемого в подобласти  $\mathbf{r}=(x, y) \in \Omega$  совместно с центрированным гауссовским белым шумом  $\eta(\mathbf{r})$ , обладающим корреляционной функцией  $\langle \eta(\mathbf{r}_1)\eta(\mathbf{r}_2) \rangle = (N_0/2)\delta(\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1)$ . Здесь  $I_{\Omega}(\mathbf{r})$  — индикаторная функция подобласти. Полагается, что имеет место следующая группа гипотез [1]:

$$H_1: \xi(\mathbf{r}) = s_1(\mathbf{r}) + \eta(\mathbf{r}), \quad s_1(\mathbf{r}) = s^{(i-1)}(\mathbf{r}) \text{ — изменений нет;}$$

$H_2: \xi(\mathbf{r}) = s_2(\mathbf{r}, \tau) + \eta(\mathbf{r}), \quad s_2(\mathbf{r}) = s^{(i-1)}(\mathbf{r}, \tau) + s_f(\mathbf{r}, \tau)$  — сдвиг фрагмента на вектор  $\tau$  с возможным появлением фонового изображения  $s_f(\mathbf{r}, \tau)$ ;

$$H_3: \xi(\mathbf{r}) = s_3(\mathbf{r}) + \eta(\mathbf{r}), \quad s_3(\mathbf{r}) = s^{(i)}(\mathbf{r}) \text{ — смена сюжета в кадре;}$$

$$H_0: \xi(\mathbf{r}) = \eta(\mathbf{r}), \quad s_0(\mathbf{r}) = 0 \text{ — пропадание сигнала.}$$

На основе метода максимального правдоподобия и представления полезного сигнала в виде разложения в ряд по той или иной системе ортого-

нальных функций  $\{\varphi_{mn}(x, y)\}$ :  $s_k(\mathbf{r}) = \sum_{m,n=0}^M C_{mn}^{(k)} \varphi_{mn}(\mathbf{r})$ ,  $k = \overline{1,3}$  предложен

эффективный алгоритм совместного обнаружения, различения и оценки вектора сдвига по наблюдаемому полю  $\xi(\mathbf{r})$ . Найдены его потенциальные точностные характеристики. Исследованы случаи полного ( $M = \infty$ ) и неполного приема полезного сигнала. При неполном приеме выделены два случая: а) ограничение по числу коэффициентов принимаемого сигнала; б) ограничение по числу коэффициентов опорного сигнала приемника. Показано, что случай неполного приема при ограничениях по числу коэффициентов опорного сигнала приемника более выгоден с точки зрения характеристик помехоустойчивости, чем аналогичные ограничения в принятом сигнале. Полученные теоретические результаты подтверждены экспериментально с помощью программного и аппаратного моделирования.

### Литература

1. Радченко Ю.С. Исследование алгоритмов сжатия, обработки и восстановления изображений при полиномиальных преобразованиях // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2002. № 2.

Д.О. Тугарина, студ.; рук. А.П. Брюховецкий, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В настоящий момент весьма актуальным является развитие диагностической аппаратуры медицинского назначения. Особенно важно появление аппаратуры, решающей задачи в масштабе реального времени.

В работе представлены методики экспресс-диагностики биологических объектов (БО), их возможности и сравнительные характеристики. Показана актуальность дальнейшего развития лазерной бесконтактной диагностики для экспресс-анализа состояния БО. Подчеркнута перспективность данного направления для контроля качественных и временных изменений биологических тканей.

Для проведения исследований БО разработан стенд лазерной диагностики [1]. Он представляет собой информационно-измерительную систему на базе платформы National Instruments, состоящую из трех измерительных каналов: канала КР, канала ЛИФ и канала временного анализа спектров ЛИФ. В установке используются три лазера на АИГ:

- 1)  $Nd^{3+}$ , импульсный, с длиной волны 532 нм;
- 2) п/п непрерывный, с длиной волны 532 нм;
- 3) п/п непрерывный, с длиной волны 407 нм.

На разработанном стенде проводится отладка методик лазерной экспресс-диагностики, отрабатываются алгоритмы и программы для проведения эксперимента, алгоритмы формирования баз данных (БД), позволяющих проводить идентификацию БО и в дальнейшем решать задачи диагностики.

### Литература

1. Брюховецкий А.П., Суетенко А.В. Патент РФ на изобретение: «Устройство дистанционного обнаружения и идентификации объектов органического и биологического происхождения». Полезная модель №100269 20.06.2010.

*У.А. Шабалин, студ.; рук. А.И. Баскаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НА ЛАВИННЫХ ДИОДАХ**

В последние годы все большее развитие получают дистанционные неразрушающие методы интроскопии материальных сред, предполагающие использование силовой субнаносекундной импульсной техники. До сих пор существует также проблема возбуждения СВЧ-приборов, полупроводниковых лазеров и светодиодов, управления электрооптическими затворами, модуляторами, формирователями линейных разверток скоростных осциллографов и т.д. Решение вышеперечисленных задач требует развития силовой субнаносекундной техники в сторону обеспечения большей пиковой и средней мощности, пикосекундного быстродействия, и все это при улучшении массогабаритных показателей и достижении более высокой эффективности устройств [1, 2].

В настоящей работе автор предлагает вниманию исследования, связанные с созданием импульсных устройств на основе достаточно нового класса полупроводниковых импульсных лавинных диодов (ДПИЛ или S-диоды), обеспечивающих большие перепады тока при переходе из режима «выключено» в режим «включено». По совокупности параметров быстродействия и мощности ДПИЛ превосходят традиционно используемые полупроводниковые приборы. Отличительной особенностью ДПИЛ является наличие в обратной ветви вольт-амперной характеристики участка отрицательного дифференциального сопротивления S-типа, разделяющего два устойчивых состояния: высокоомное с  $R \sim 10^9$  Ом и проводящее с  $R \sim 10$  Ом.

В докладе рассмотрены особенности работы генератора на S-диоде, предложены варианты по увеличению стабильности его работы [2, 3].

### **Литература**

1. **Белкин В.С., Шульженко Г.И.** Формирователи мощных наносекундных и пикосекундных импульсов на полупроводниковой элементной базе. Новосибирск: Институт ядерной физики, 1991.
2. **Белкин В.С., Шульженко Г.И.** Генератор высоковольтных двуполярных наносекундных импульсов // ПТЭ. 1994 .
3. **Белкин В.С., Шульженко Г.И.** Формирователи высоковольтных наносекундных импульсов с низковольтным питанием // ПТЭ. 1994

*П.Е. Шимкин, асп.; рук. А.И. Баскаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РАДИОГОЛОГРАММ АВИАЦИОННОГО РСА ПРИ ПЕРЕДНЕБОКОВОМ ОБЗОРЕ**

В последнее время повышение информативности средств дистанционного зондирования Земли можно связать с развитием теории и техники радиолокационной интерферометрии. Она позволяет решать такие задачи, как получение высокоточных топографических карт и цифровых моделей местности, определение сдвигов, уклонов земной поверхности, мониторинг приграничных территорий и др. Кроме того, немаловажным фактором является оперативность получаемой интерферометрической информации. На сегодняшний день одной из наиболее перспективных схем построения интерферометра является однопроходный интерферометрический однопозиционный РСА при переднебоковом обзоре [1—3].

Данная работа посвящена реализации алгоритмов интерферометрической обработки сигналов в пакете прикладных программ MatLab и демонстрации работоспособности предлагаемой схемы построения интерферометра в целях оценки рельефа местности. Проверка и отладка осуществлялись по реальным радиоголограммам, записанным на борту авиационного носителя в ходе испытательных полетов. Кроме того, проводятся визуальное сравнение и анализ полученных трехмерных изображений местности с достоверными топографическими данными.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 13-0800375а, 13-08-97538), Российского научного фонда (проект № 14-49-00079) и Государственного задания в сфере научной деятельности в проектной части № 8.152.2014/К.

### **Литература**

1. **Баскаков А.И., Шимкин П.Е.** Исследование потенциальной точности определения местного рельефа авиационным интерферометрическим РСА при переднебоковом обзоре // Радиотехника. 2013. № 10. С. 71—74.
2. **Бабокин М.И.** Авиационный переднебоковой РСА интерферометр для детальной оценки рельефа местности // Вопросы радиоэлектроники. Серия РЛТ. № 5. 2012.
3. **Однопроходный** интерферометр при переднебоковом обзоре / М.И. Бабокин, А.В. Ефимов, О.А. Карпов, М.П. Титов. М.: Радиотехника. № 7. 2014.

## Секция 6

# **СИСТЕМЫ РАДИОАВТОМАТИКИ И РАДИОУПРАВЛЕНИЯ**

*Председатель секции — к.т.н., доцент Р.С. Куликов  
Секретарь секции — ассистент Е.В. Захарова*

*В.В. Днепров, асп.; рук. И.В. Корогодин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛОВОГО ДИСКРИМИНАТОРА В ОДНОЭТАПНОМ АЛГОРИТМЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВОЙ ОРИЕНТАЦИИ ПО СИГНАЛАМ СРНС**

Навигационная аппаратура потребителей (НАП) спутниковых радионавигационных систем (СРНС) находит множество применений. Так, известно [1], что с помощью СРНС можно определять угловую ориентацию объекта. Для этого используются относительные измерения фаз сигналов, принимаемых несколькими разнесенными антеннами. Как правило, задача определения ориентации решается в два этапа [1, 2]. На первом этапе определяются разности фаз, разрешается фазовая неоднозначность. На втором этапе проводится расчет параметров, характеризующих ориентацию антенн относительно опорной системы координат. В статье [3] предложен одноэтапный алгоритм, непосредственно формирующий оценки углов ориентации по сигналам трех разнесенных антенн. Одноэтапная обработка сигналов позволяет повысить точность и помехоустойчивость аппаратуры по сравнению с аппаратурой с двухэтапной обработкой [1].

В работе проведено обобщение алгоритма углового дискриминатора, приведенного в [3], на произвольное число приемных точек и анализ характеристик дискриминаторов, входящих в состав системы. Представлены выражения, позволяющие рассчитать отклик дискриминатора в общем случае, т.е. при приеме произвольного числа сигналов произвольным числом антенн. Получены аналитические выражения для дискриминационной характеристики и ее крутизны. Показано, что угловой дискриминатор состоит из суммы частных дискриминаторов, каждый из которых осуществляет обработку для одной базы и одного навигационного спутника.

## Литература

1. **ГЛОНАСС**. Принципы построения и функционирования / под. ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. — Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Радиотехника, 2010.
2. **Фатеев Ю.Л.** Определение пространственной ориентации объектов по сигналам радионавигационных систем ГЛОНАСС/GPS // Электронный журнал «Исследовано в России». 2004. С. 792—801.  
URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/071.pdf>
3. **Перов А.И.** Одноэтапный когерентно-некогерентный алгоритм определения угловой ориентации объекта по сигналам спутниковой радионавигационной системы // Радиотехника. 2014. № 9. С. 97—105.



Д.В. Днепров, асп; рук. Е.Н. Болденков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИГНАЛОВ ГЛОНАСС С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ

В настоящее время в соответствии с программой модернизации и развития системы ГЛОНАСС вводятся новые перспективные сигналы с кодовым разделением, а также с квадратурным мультиплексированием и временным разуплотнением. В докладе приведены результаты экспериментального исследования алгоритмов поиска перспективных сигналов ГЛОНАСС с кодовым разделением. В рамках исследования в макете НАП, состоящем из РЧБ, АЦП, ПЛИС, ПМ, реализованы алгоритмы поиска direct, bpsk-like, SSB. С помощью имитатора навигационных сигналов сформированы сигналы L1OCp, L1OCd, L1SCp, L1SCd. На рис. 1 приведены кривые помехоустойчивости, пересчитанной из вероятности правильного обнаружения.

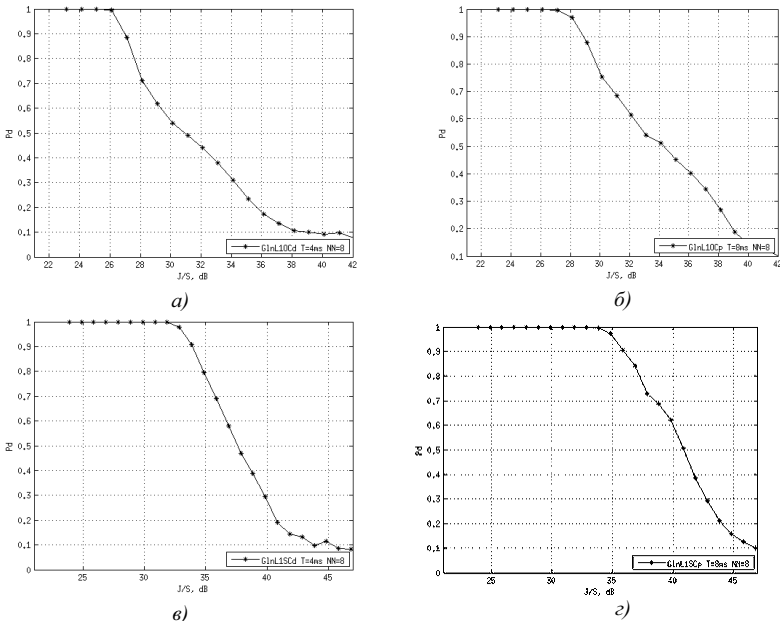


Рис. 1. Помехоустойчивость поиска: а — L1OCd; б — L1OCp; в — L1SCd; г — L1SCp

### Литература

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. — Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Радиотехника, 2010. 800 с.

*Е.В. Захарова, асп.; рук. А.И. Перов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ СЛЕЖЕНИЯ ЗА ПИЛОТНОЙ КОМПОНЕНТОЙ СИГНАЛА L10С ГЛОНАСС С ОБРАБОТКОЙ НА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЕ И ПОДНЕСУЩИХ ЧАСТОТАХ**

Отличительной особенностью новых сигналов с кодовым разделением L10С на несущей частоте 1600,995 МГц является то, что они двухкомпонентны: включают пилотную компоненту с модуляцией ВОС(1,1) и информационную компоненту с модуляцией ВРСК(1), объединение которых в единый сигнал осуществляется путем побитного временного мультиплексирования [1].

Алгоритмы слежения за сигналом с модуляцией ВРСК(1) хорошо известны и достаточно полно исследованы [2]. Для сигналов с модуляцией ВОС(1,1) опубликованы различные алгоритмы слежения [3]. Однако данные по характеристикам этих алгоритмов достаточно противоречивы. Поэтому представляет интерес проведение сравнительного анализа характеристик описанных алгоритмов в идентичных условиях и по одинаковым показателям качества. Алгоритмы слежения за сигналом с ВОС модуляцией различаются прежде всего тем, что в них после переноса в приемнике на промежуточную частоту возможно использование обработки или на единой промежуточной частоте, или на поднесущих частотах (относительно промежуточной частоты).

Методом имитационного моделирования в работе проведен сравнительный анализ алгоритмов слежения за пилотной компонентой сигнала L10С ГЛОНАСС с обработкой на несущей частоте и на поднесущих частотах. В качестве критериев сравнения использованы среднеквадратические ошибки слежения за задержкой, фазой, доплеровским смещением частоты, помехоустойчивость приема. Даны рекомендации по наиболее эффективным алгоритмам.

Показано, что при использовании алгоритмов слежения с обработкой на поднесущих частотах среднеквадратическая ошибка (СКО) слежения за фазой сигнала примерно в 1,3 раза больше, а СКО слежения за задержкой сигнала примерно в 2 раза больше, чем при использовании алгоритмов слежения с опорными сигналами на единой промежуточной частоте.

### **Литература**

1. **Перов А.И.** Основы построения спутниковых радионавигационных систем. М.: Радиотехника, 2012.
2. **ГЛОНАСС.** Принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. М.: Радиотехника, 2010.
3. **Wendel J., Schubert F.M, Hager S.** A robust technique for unambiguous ВОС tracking // Navigation journal of Institute of Navigation. 2014. Vol. 61. No 3.

## **АЛГОРИТМ ПЕШЕХОДНОГО СЧИСЛЕНИЯ ПУТИ ПО ИНЕРЦИАЛЬНЫМ ДАТЧИКАМ В УСЛОВИЯХ ПРОПАДАНИЯ СИГНАЛА СРНС**

Использование сигналов спутниковых радионавигационных систем (СРНС) не всегда возможно для решения навигационной задачи. Например, в плотной городской застройке (из-за недостаточного количества навигационных спутников, переотражения сигналов СРНС) или внутри зданий, тоннелей (где сигналы СРНС недоступны).

Для решения задачи навигации в подобных ситуациях необходимо использовать алгоритмы автономного счисления пути, позволяющие извлекать навигационную информацию из инерциальных датчиков — акселерометров, гироскопов и магнитометров. В процессе разработки алгоритма необходимо решить задачи определения курса движения пешехода, количества сделанных шагов, длины шага.

По измерениям гироскопов и магнитометров производится оценка изменения угла курса потребителя [1]. По измерениям акселерометров производится фиксация и подсчет количества совершенных шагов.

Для проверки алгоритма был создан макет, включающий в себя микроконтроллер, инерциальные датчики (три акселерометра, три гироскопа и три магнитометра), а также модуль приемника СРНС. Данные от СРНС используются в качестве эталонных и инициализирующих данных для алгоритма автономной навигации.

В ходе работы был разработан алгоритм автономной навигации, включающий в себя алгоритм определения и подсчета шагов и алгоритм вычисления угла курса потребителя. В результате работы алгоритма автономной навигации формируются координаты и вектор скорости потребителя. В качестве траекторий для испытаний алгоритмов использовались:

- хождение по кругу и по квадрату;
- траектория длительностью 15 минут под открытым небом;
- траектория длительностью 15 минут под открытым небом, но с городскими каньонами;
- траектория длительностью 15 минут под открытым небом с заходами в здания;
- траектория длительностью 5 минут в здании.

### **Литература**

1. **Перов А.И., Харисов А.Н.** ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. М.: Радиотехника, 2010.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕИДЕНТИЧНОСТИ ПРИЕМНЫХ ТРАКТОВ НА КОЭФФИЦИЕНТ ПОДАВЛЕНИЯ АНТЕННОГО ПОДАВИТЕЛЯ ПОМЕХ НАП СРНС

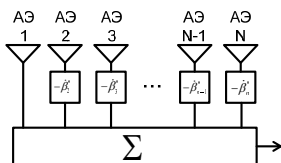


Рис. 1. Структурная схема АПП

Одним из наиболее эффективных методов подавления помех в НАП СРНС является применение антенных подавителей помех (АПП, nullformer). Структурная схема АПП представлена на рис. 1.

Для такой структуры АПП разработан алгоритм компенсации [1], основанный на непосредственном обращении ковариационной матрицы входных отсчетов. Согласно этому алгоритму вектор весовых коэффициентов находится из соотношения

$$\hat{\beta} = R_{xx}^{-1} r_{xd}, \quad (1)$$

где  $R_{xx}$  — ковариационная матрица входных отсчетов компенсационных каналов (рис. 1, АЭ 2 — АЭ N);  $r_{xd}$  — вектор взаимной корреляции между основным (рис. 1, АЭ 1) и компенсационными каналами.

Для исследования влияния различных факторов на характеристики АПП выбрано имитационное моделирование в среде Matlab. В программе реализована возможность изменения параметров модели радиочастотных трактов, АЦП, типа помехи и ее параметров.

Одним из существенных декоррелирующих факторов, ухудшающих коэффициент подавления помехи, является неидентичность приемных трактов. В докладе рассмотрен пространственно-временной алгоритм, который подразумевает включение в компенсационные каналы КИХ-фильтров, коэффициенты которых рассчитываются в соответствии с (1). Такой подход позволяет частично скомпенсировать неидентичность частотных характеристик каналов и улучшить условия приема при многолучевом распространении сигнала.

### Литература

1. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. Введение в теорию: пер. с англ. М.: Радио и связь, 1986. 448 с.

*Б.В. Калитенко, студ.; рук. И.В. Корогодин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНЕНИЕ ОШИБОК ОЦЕНИВАНИЯ ОРИЕНТАЦИИ И ПОЛОЖЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ МЭМС**

Использование спутниковых радионавигационных систем (СРНС) на подвижных объектах позволяет решать задачи навигации, ориентации и управления [1]. Но бывают ситуации, когда предоставление сервиса СРНС затруднено. Инерциальные навигационные системы (ИНС) могут работать автономно, но с момента начала работы ИНС накапливают ошибку в определении местоположения и ориентации [2]. Величина этой ошибки для различных датчиков и является предметом исследования.

Методом исследования выбрано моделирование. Моделируется движение потребителя по спиральной траектории, при этом сам потребитель вращается вокруг своей оси. Радиус траектории равен 500 м, время оборота — 20 с, угол наклона —  $10^\circ$ , скорость вращения потребителя — 60 %/с.

Объектом исследования являются инерциальные блоки разных производителей. Эти блоки относятся к классу микроэлектромеханических сенсоров (МЭМС). Стоимость данных блоков лежит в диапазоне от 5 до 950 долларов за шт.

В модели учитываются шумы датчиков и смещения их осей. Эти характеристики заданы в технической документации к приборам.

В докладе рассматривается моделирование работы нескольких инерциальных блоков, а также сравнивается отклонение от идеальной траектории по достижению времени моделирования, равного 1 мин.

Результаты моделирования приведены в табл. 1.

Таблица 1

### **Ошибки при моделировании в течение 1 мин**

Модель блока	Отклонение от идеальной траектории, м
MPU 6050	44.3133
MPU 9250	44.9998
ADIS16405	0.0221
Pololu MinIMU-9	14.3760
BOSCH BMX055	15.8507

### **Литература**

1. **ГЛОНАСС.** Принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. М.: Радиотехника, 2010.
2. **Галкин В.И.** Перспективные гироскопы летательных аппаратов. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕШЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ПРИ РАЗЛИЧНОМ ВЗАИМНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ АНТЕНН**

Сегодня спутниковые радионавигационные системы (СРНС) получают все большее развитие. Это связано с тем, что в настоящее время СРНС используются для решения широкого спектра задач. Эти задачи часто относятся к совсем не похожим друг на друга сферам деятельности, таким как наведение ракет на цель, поиск и спасение людей, мониторинг предприятий для сокращения издержек производства и т.д.

Основным содержанием навигационной задачи в СРНС является определение пространственно-временных координат потребителя [1].

Для определения координат в плоскости возможно использовать псевдоспутники. Псевдоспутник — это станция, излучающая сигнал, схожий по параметрам с навигационными сигналами GPS/ГЛОНАСС. Данный сигнал может быть принят обычным навигационным приемником.

Для достижения наибольшей точности при решении навигационной задачи необходимо учитывать геометрический фактор, названный Geometric Dilution of Precision — GDOP (геометрический фактор снижения точности). Суть в том, что в зависимости от взаимного расположения псевдоспутников геометрические соотношения, которыми характеризуется это расположение, могут многократно увеличивать или уменьшать точность определения координат потребителя.

В работе рассматривается задача определения координат потребителя, движущегося на плоскости. Необходимо найти такое взаимное расположение псевдоспутников, которое позволит максимально увеличить точность определения координат.

В работе также рассматривается разработанная на языке Matlab модель определения координат потребителя при различном взаимном расположении псевдоспутников.

Данная модель позволяет оценить взаимное расположение псевдоспутников при решении навигационной задачи, что позволит уменьшить погрешность определения координат потребителя.

### **Литература**

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. М.: Радиотехника, 2010.

А.Ю. Устинов, асп.; рук. А.И. Перов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ЭФЕМЕРИД НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПОТРЕБИТЕЛЯ

В СРНС для решения навигационной задачи, т.е. для определения координат потребителя, необходимо знать координаты навигационных спутников (НС), что обуславливает необходимость эфемеридного обеспечения. Эфемеридное обеспечение поддерживается комплексом технических и программных средств [1, 2].

Погрешность эфемеридного обеспечения напрямую влияет на погрешность определяемых координат потребителя. Таким образом, при искажении эфемеридной информации, вносится погрешность в решение навигационной задачи, т.е. увеличивается ошибка определения координат потребителя.

Для расчета ошибки определения координат потребителя при внесении погрешности в эфемеридное обеспечение написана имитационная модель на языке Matlab. В модели описано движение НС по орбитам вокруг Земли. В координаты НС вносилась погрешность, значение которой определялось случайным образом в диапазоне  $-x$  м,  $x$  м. Имитировалось движение потребителя (НАП) из точки А в точку В 200 раз. По результатам отклонения траектории потребителя в точке В, рассчитывалось математическое ожидание погрешности определения координат потребителя. Результаты моделирования приведены в табл. 1.

Таблица 1

Погрешность эфемерид, $-x$ м, $x$ м	Погрешность определения координат потребителя, м		
	без шума наблюдений	с шумом наблюдений	с шумом наблюдений в диф. режиме
[0,0]	$10^{-6}$	0.155	-
[-1, 1]	0.533	0.553	0.220
[-5, 5]	2.845	2.914	0.217
[-15, 15]	8.253	8.447	0.224
[-50, 50]	28.014	25.860	0.220

### Литература

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. М.: Радиотехника, 2010.
2. **Understanding GPS**: Principles and Applications / Elliott D. Kaplan. Artech House, 2005.

## Секция 7

# СЕТИ И СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Председатель секции — д.т.н., профессор Н.С. Губонин

Секретарь секции — к.т.н., доцент А.Ю. Сизякова

А.С. Белянушкин, студ.; рук. И.В. Когородин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ОРГАНИЗАЦИЯ РАДИОКАНАЛА МЕЖДУ РОВЕРОМ И БАЗОЙ ПО СЕТИ WI-FI

Для получения данных от навигационной аппаратуры потребителя необходимо организовать связь между приемником и персональным компьютером. Чаще всего используется проводной способ передачи данных по протоколу UART. Однако данный способ не всегда удобен. Для тестирования навигационных модулей может быть необходима его автономная от компьютера работа, но в то же время мы должны получать с него различные данные. Для этого и решено использовать беспроводной Wi-Fi канал.

В данной работе решается основная задача построения радиотехнической системы связи между навигационным приемником и персональным компьютером посредством беспроводной сети Wi-Fi для реализации RTK [1].

В канале данные передаются с навигационного приемника. Этот приемник связан с Wi-Fi модулем ESP8266 через плату Arduino Uno R3. На другой стороне канала находится ПК, на котором с помощью RTKlib реализовывается RTK.

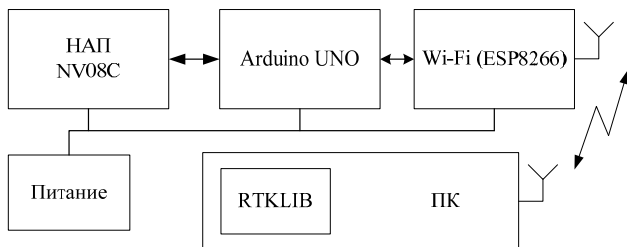


Рис. 1. Схема работы системы

### Литература

1. **Описание** протокола обмена BINR приемника NV08C ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/COMPAS/SBAS. Версия 1.3.



## ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБКИ ДЕМОДУЛЯЦИИ КВАЗИОПТИМАЛЬНОГО ПРИЕМНИКА СИГНАЛА ММС

Одним из методов ослабления внеполосного излучения радиопередатчика является сглаживание закона изменения модулирующей функции. Для ФМ-сигналов это означает замену скачкообразного изменения фазы несущего колебания плавным переходом. Из множества ФМ-сигналов сигнал ММС обеспечивает постоянство огибающей и непрерывность фазы в момент смены символьного интервала.

Для расчета вероятности  $P_b$  ошибки приема бита оптимального приемника (демодулятора) сигнала ММС в [1, 2] приведена формула

$$P_b = \Phi \left( \sqrt{\frac{2E_b}{N_0}} \right), \quad (1)$$

где  $\Phi$  — функция ошибок [1, ф-ла (1.40)];  $2E_b$  — энергия сигнала ММС;  $N_0$  — односторонняя спектральная плотность мощности шума на входе приемника сигнала ММС.

Известно также и другое соотношение для расчета вероятности  $P_b$  ошибки оптимального демодулятора сигнала ММС [3]:

$$P_b \approx \Phi \left( \sqrt{\frac{2\gamma E_b}{N_0}} \right), \quad (2)$$

где  $\gamma = 0,85$  для сигнала ММС.

При проведении статистического эксперимента на цифровой модели приемника сигнала ММС получено, что результаты моделирования не совпадают с зависимостями, рассчитанными по формулам (1) и (2). Показано, что результаты моделирования можно аппроксимировать формулой (2) при  $\gamma = 0,6$ .

### Литература

1. Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. Системы цифровой радиосвязи. Базовые методы и характеристики: учебное пособие. М.: Эко Трендз, 2005.
2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.
3. Rapaport T.S. Wireless Communications: Principles & Practice. 2nd Ed. Prentice-Hall: Upper Saddle River, NJ, 2002.

## АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК КВАЗИОПТИМАЛЬНЫХ ПРИЕМНИКОВ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ 4ФМ/4ФМС

Изучены характеристики сигналов 4ФМ и 4ФМС с постоянной огибающей. Для анализа спектральных, временных характеристик и помехоустойчивости построены цифровые модели передающей и приемной частей РСПИ с использованием программы SystemView. Проведен подробный анализ работы полученных схем, для всех блоков, входящих в состав цифровых моделей, получены характерные эпюры. Для каждого сигнала представлены энергетические спектры и диаграммы переходов. Полученные результаты совпадают с теоретическими.

С использованием данных моделей получены зависимости вероятности битовой ошибки  $P_b$  от отношения сигнал/шум  $E_b/N_0$  и проведено сравнение с теоретическими результатами. Для многопозиционных равновероятных сигналов, в частности для сигналов 4ФМ (4ФМС), при большом отношении сигнал/шум вероятность символьной ошибки  $P_E$  можно рассчитать по приближенной формуле [1, 2]

$$P_E(M) \approx 2\Phi \left[ \sqrt{\frac{2E_s}{N_0}} \sin \frac{\pi}{M} \right], \quad (1)$$

где  $E_s = E_b \log_2 M$  — энергия, приходящаяся на символ;

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp \frac{-t^2}{2} dt \quad \text{— интеграл вероятности.}$$

Вероятность битовой ошибки  $P_b$  рассчитывается по формуле [1] при использовании кодирования по Грейу:

$$P_b \approx \frac{P_E}{\log_2 M} \quad (\text{для } P_E \ll 1). \quad (2)$$

Результаты моделирования квазиоптимального приемника многопозиционных сигналов с инженерной точностью совпадают с расчетом по (1) и (2).

Следующим этапом моделирования является включение схемы восстановления несущей сигналов 4ФМ и 4ФМС и анализ влияния динамики изменения параметров сигнала на характеристики приема.

### Литература

1. **Гаранин М.В., Журавлев В.И., Кунегин С.В.** Системы и сети передачи информации: учеб. пособие для вузов. М.: Радио и связь, 2001.
2. **Галкин В.А.** Цифровая мобильная радиосвязь: учеб. пособие для вузов. М.: Горячая линия - Телеком, 2007.

О.А. Гончаров, студ.; Д.А. Астахов, асп.;  
рук. А.И. Перов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ МЕЖСПУТНИКОВОЙ РАДИОЛИНИИ

Бортовая аппаратура межспутниковых измерений (БАМИ) предназначена для измерения взаимных расстояний и скоростей между навигационными спутниками (НС) системы ГЛОНАСС. В БАМИ используются сигналы с кодовременным разделением, а излучаемые сигналы имеют модуляцию BPSK с индивидуальными дальномерными кодами. При движении НС взаимная дальность между ними меняется, что приводит к изменению отношения сигнал/шум на входе приемника НС. Для анализа характеристик точности измерений взаимных расстояний и скоростей между НС необходимо знать энергетику принимаемых сигналов. С этой целью в докладе приводится энергетический расчет модернизированной межспутниковой радиолинии БАМИ.

Антенна БАМИ имеет диаграмму направленности (ДН), равномерную в азимутальной плоскости, в угломестной плоскости ДН имеет вид конуса, ось которого направлена на центр Земли. Зависимость коэффициента усиления  $K_A(\alpha)$  антенны в угломестной плоскости от угла  $\alpha$  отклонения от оси антенны представлена в [1]. Расстояние между НС может быть представлено как функция  $\alpha$ :  $R = 40695 \cdot 10^3 \cos \alpha$ , м. Затухание сигнала на максимальной дальности равно  $-191,5$  дБ [1]. Тогда затухание сигнала от произвольного НС:  $K_{\text{зат}, i} = -191,5 \text{ дБ} + 2K_A(\alpha) \text{ дБ} - 20 \lg(\cos \alpha)$ . В диапазоне углов  $37\text{—}85^\circ$  минимальное значение  $K_{\text{зат}, i}$  равно минус  $181,71$  дБ.

Мощность передатчика БАМИ на входе антенны  $+19,0$  дБВт. Шумовая температура приемника составляет  $260$  К при наличии на входе схемы защиты от перегрузки и  $150$  К без схемы защиты. Соответственно спектральная плотность входного шума приемника составит  $-204$  дБВт/Гц или  $-206$  дБВт/Гц. Потери в тракте АФУ не превышают  $1,8$  дБ. Следовательно, энергопотенциал радиолинии в диапазоне углов  $37\text{—}85^\circ$  будет равен  $H = 37,7$  дБ/Гц со схемой защиты и  $H = 39,7$  дБ/Гц без схемы защиты. Если принять запас на неучтенные потери равным  $2,7$  дБ, то расчетное значение энергопотенциала межспутниковой радиолинии составит  $35$  дБ/Гц с защитой приемника от перегрузки и  $37$  дБ/Гц без нее.

Таким образом, при проектировании устройств обнаружения и слежения в аппаратуре БАМИ необходимо исходить из энергопотенциала радиолинии  $35\text{—}37$  дБ/Гц.

### Литература

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. М.: Радиотехника, 2010.

## ЦИФРОВОЙ ПРЕДЫСКАЖАЮЩИЙ ЛИНЕАРИЗАТОР НА ОСНОВЕ РЯДОВ ВОЛЬТЕРРА ДЛЯ НЕЛИНЕЙНОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

Современные требования к системам спутниковой связи по скорости передачи информации заставляют применять сигналы со сложными видами модуляции и высокой спектральной эффективностью. Изучение состояния проблемы показывает, что необходима разработка цифровых методов линеаризации усилителей мощности (УМ) радиосигналов диапазона СВЧ, способных улучшить энергетические характеристики УМ спутниковых ретрансляторов в широком интервале дестабилизирующих воздействий при допустимом уровне искажений выходного сигнала. Цифровой предыскажающий линеаризатор (ЦПЛ) используется для линеаризации характеристик нелинейного УМ. Характеристика идеального ЦПЛ должна быть обратной характеристике используемого нелинейного УМ, такой, чтобы после прохождения ЦПЛ и УМ сигнал был усилен во всем диапазоне мощностей и во всей полосе частот. При этом амплитудная характеристика блока (ЦПЛ + УМ) должна стать линейной.

Рассмотрена модель нелинейного УМ в виде  $f(z_1, z_2, \dots, z_k)$ . Выходной сигнал  $y$  записан в виде

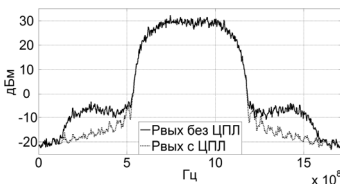
$$y_{\text{УМ}}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} \hat{a}_{nm} z(k-m) |z(k-m)|^n, \quad (1)$$

где  $z_1, z_2, \dots, z_k$  — отсчеты входного сигнала УМ;  $a_{nm}$  — коэффициенты полиномиальной модели УМ степени  $N$ ;  $M$  — длина памяти модели УМ.

Тогда модель характеристики ЦПЛ такова:

$$z_{\text{УМ}}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} \hat{a}_{nm} y_{ss}(k-m) |y_{ss}(k-m)|^n,$$

где  $\hat{a}_{nm}$  — полиномиальные коэффициенты ЦПЛ.



**Рис. 1.** Спектры колебаний на выходе УМ

На рис. 1 построены спектры сигнала на выходе УМ без ЦПЛ и с ЦПЛ, когда используется входной сигнал 4ФМ с предыскажением в фильтре Найквиста. ЦПЛ линеаризует характеристику, при этом уменьшается спектральная плотность сигнала вне главного лепестка (около 12—15 дБ).

Ю.В. Сёмина, асп.; рук. А.Ю. Сизякова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ПСП ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ

В настоящее время широко используются системы связи с многостанционным доступом и кодовым разделением (МДКР), использующие шумоподобные фазоманипулированные сигналы (ШПС). Для устранения внутрисистемных помех множественного доступа Р-ПСП (последовательности, расширяющие спектр радиосигнала) должны быть ортогональными.

Обычно Р-ПСП не являются ортогональными. Для снижения уровня помех множественного доступа в системе МДКР необходимо использовать такие реализации Р-ПСП, боковые выбросы взаимнокорреляционных функций (ВКФ) которых минимальны.

Автором разработаны программы, позволяющие формировать [1] полные наборы двоичных линейных Р-ПСП. Количество ПСП в полных наборах Р-ПСП длиной  $N = 1023$ :  $K_{\Pi}$  (М-ПСП) = 60,  $K_{\Pi}$  (Голда) = 1025,  $K_{\Pi}$  (Касами) = 32,  $K_{\Pi}$  (Лежандра) = 1031,  $K_{\Pi}$  (Холла) = 1051.

Рассчитаны все АКФ и ВКФ для ПСП длиной  $N$  для указанных подклассов, наибольшие значения выбросов (в дБ) этих функций приведены в табл. 1.

Таблица 1

Максимум выбросов	Тип Р-ПСП				
	М	Голда	Касами	Лежандра	Холла
$(R_{\Pi\text{АКФ}}^i)_{\max}$	-30	-12,1	-14,9	-10,8...-7,2	-10,8...-7,2
$(R_{\text{АКФ}}^i)_{\max}$	-15,2...-13,7	-12...-10	-12,7...-11,5	-12,7...-8,4	-12,5...-8,0
$(R_{\text{ВКФ}}^i)_{\max}$	-14,9...-4,3	-12,1	-15,2	-11,8...-7,4	-11,8...-7,5

Показано, что для снижения уровня помех множественного доступа в системе МДКР предпочтительно использовать Р-ПСП Касами. Для них значение выбросов ВКФ фиксировано и минимально среди всех рассмотренных Р-ПСП и составляет  $R_{\text{ВКФ}}^i = -15,2$  дБ.

На этом основании сделан вывод, что для применения в системах МДКР рекомендуется использовать Р-ПСП Касами.

Полученные результаты полезны при разработке перспективных многоканальных систем связи и также для использования в уже разработанных системах.

### Литература

1. Сизякова А.Ю., Сёмина Ю.В. Алгоритмы формирования ПСП для МДКР //Ежемесячный научный журнал Межотраслевого института «Наука и образование». 2015. № 6 (13). С. 17—21.

С.А. Чеченя, асп.; рук-ли Л.А. Белов, к.т.н., проф.;  
А.В. Хандурин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## СИНТЕЗ МНОГОКАНАЛЬНОГО ОБНАРУЖИТЕЛЯ СИГНАЛОВ С АДДИТИВНОЙ ФРАКТАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ

В [1] рассмотрена схема приемника фрактальных сигналов, модулированных по частотному параметру  $\lambda$ . Принцип самоподобия таких сигналов позволяет накапливать их энергию с помощью нескольких «окон» обработки, что определяет актуальность задачи.

В докладе рассмотрена процедура синтеза многоканального (многооконного) обнаружителя сигналов с аддитивной фрактальной структурой (САФС) на фоне аддитивного белого гауссовского шума оптимального по критерию [2] максимума отношения правдоподобия  $l$ . Логарифм указанной величины представлен выражением

$$\ln l = \frac{2}{N_0} \Delta t \sum_{k=1}^n \left( \frac{\mu}{\lambda} \right)^{k-1} \sum_{i=1}^m y_{k,i} f_{k,i},$$

где  $N_0$  — спектральная плотность аддитивного белого гауссовского шума;  $\Delta t$  — шаг дискретизации сигнала;  $y_{k,i}$  —  $i$ -я выборка для  $k$ -го «окна» обработки сигнала на входе обнаружителя;  $f_{k,i}$  —  $i$ -я выборка опорного сигнала для  $k$ -го «окна» обработки, при САФС с параметрами  $\mu = \lambda^{D-2}$ , где  $D$  — фрактальная размерность. Для САФС с количеством частотных составляющих  $k$  число каналов  $n$  не может превышать число частотных составляющих сигнала  $n < k$ .

Полученный алгоритм хорошо согласуется с принципом самоподобного накопления. Единственным отличием является появление весовых коэффициентов вида  $\left( \frac{\mu}{\lambda} \right)^{k-1}$  для оптимального учета влияния  $k$ -го канала обработки на результат накопления.

При дальнейшем исследовании подобная процедура будет применена к решению задачи различения символов и помехоустойчивого приема информации при манипуляции параметра  $\lambda$  в сообщении, передаваемом на фоне аддитивного белого гауссовского шума.

### Литература

1. Белов Л.А., Хандурин А.В., Чеченя С.А. // Вестник МЭИ. 2015. № 2. С. 87—91.
2. Ширман Я.Д. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория: Справочник. М.: ЗАО «МАКВИС», 1998.

## Секция 8

# КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Председатель секции — д.ф.-м.н., профессор

Б.С. Ринкевичюс

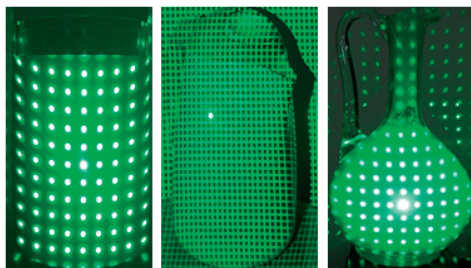
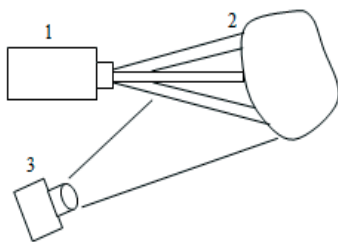
Секретарь секции — к.т.н., доцент Н.М. Скорнякова

Аунг Мьо Вин, асп.; рук. Б.С. Ринкевичюс, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ОПТИЧЕСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Принцип визуализации основан на использовании структурированного оптического излучения, получаемого с помощью дифракционных элементов и цифрового фотоаппарата [1, 2]. Для визуализации трехмерных непрозрачных объектов создаются измерительные сетки на экспериментальной установке, показанной на рис. 1. На выходе лазера с дифракционным элементом 1 получается совокупность параллельных узких пучков, которые направляются на объект 2 и фотографируются с помощью цифрового фотоаппарата 3.

В установке используется полупроводниковый лазер с мощностью 5 мВт. Длина волны излучения 0,532 мкм. В результате эксперимента получены изображения дифракционных картин на поверхности различных объектов: цилиндра, чайника и кувшина, показанные на рис. 2, а, б и в соответственно.



(а)

(б)

(в)

Рис. 1. Принципиальная схема оптического комплекса

Рис. 2. Изображение трехмерных объектов

В дальнейшем планируется исследовать данным методом динамику изменения формы различных объектов.

### **Литература**

1. **Евтихиева О.А., Расковская И.Л., Ринкевичюс Б.С.** Лазерная рефрактография. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 176 с.
2. **Карпов А.В., Вин А.М., Ринкевичюс Б.С.** Оптический метод визуализации и измерения смещения трехмерных объектов // 13-я МНТК «Оптические методы исследования потоков». 2015. С. 502—511.



## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ МЕТОДОМ МУЛЬТИЦВЕТНОЙ АНЕМОМЕТРИИ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ЧАСТИЦ**

Для изучения потоковых явлений в жидкостях и газах в настоящее время может быть использован метод анемометрии по изображению частиц [1]. Этим методом можно получить визуализацию распределения скорости потока в плоскости в некотором сечении исследуемого объема. Наиболее полную информацию о потоке дает трехмерная визуализация исследуемого потока. Так, существует несколько модификаций метода АИЧ [2], в частности метод стерео-АИЧ, позволяющий проводить измерения всех трех компонент скорости в пределах исследуемой области.

В работе представлено исследование теплового потока частиц методом мультицветной анемометрии по изображению частиц (МАИЧ), основанное на одновременном освещении исследуемого потока лазерными плоскостями разных цветов. Для проведения исследований был разработан макет установки, состоящий из криптон-аргонового лазера, оптической системы, создающей три лазерные плоскости, генератора аэрозоля, цифровой видеокамеры. Оптическая система включает в себя поворотную и спектральную призмы, а также цилиндрическую линзу. Спектральная призма используется для разложения в спектр излучения лазера, после устанавливается цилиндрическая линза и таким образом получают три плоскости с максимумами интенсивности красного, синего и зеленого цветов. Эти три плоскости располагаются на одинаковых расстояниях друг от друга, порядка 0,015 м. В качестве объекта исследования используется генератор аэрозоли LaVision FlowMaster PIV, подогреваемый тепловой горелкой. После регистрации производится разложение изображения на цветовые составляющие в RGB-палитре и кросскорреляционная обработка каждой из компонент.

В результате проведенной работы получены распределения скоростей в тепловом потоке частиц одновременно в трех параллельных плоскостях. Это позволяет при разработке соответствующего программного обеспечения получать распределение скоростей во всем исследуемом объеме.

### **Литература**

1. **Raffel M., Willert C.E., Kompenhans J.** Particle image velocimetry. A practical guide. Corrected 3rd printing. Springer, Germany, Berlin. 1998.
2. **Дубнищев Ю.Н., Ринкевичюс Б.С., Фомин Н.А.** Новые методы лазерной анемометрии в исследованиях сложных газодинамических течений // Инженерно-физический журнал. Т. 76. № 6. 2004. С. 3—12.

*С.Ю. Белов, студ.; рук. Н.М. Скорнякова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ЛАБОРАТОРНОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ**

Явление турбулентности в аэродинамике заключается в том, что атмосферные процессы, например трение воздушного потока о какую-либо поверхность и образование вследствие этого градиента скоростей потока, приводят к образованию вихрей [1]. Таким образом, среда приобретает неоднородности по температуре, коэффициенту преломления и т.п., что не всегда является положительным фактором. Например, если возникает задача измерить температуру окружающей среды, то измерительный прибор при возникновении этого явления может дать некорректные значения.

Получение турбулентности возможно в эксперименте, сутью которого является протекание воздушного потока через трубу, в которую помещается испытуемый объект. При обтекании потоком создается неоднородность направления скоростей, также называемая воздушным вихрем.

Чтобы увидеть незримые человеческим глазом процессы, имеется несколько способов визуализации завихренностей оптическими методами [2]. В современном мире измерительные технологии все больше опираются на изображения. Основанные на получении и обработке изображений измерительные технологии могут дать на порядок больше информации по одному изображению, чем длительные измерения с одним сенсором. Развитие цифровых технологий обработки изображений вызвало резкий всплеск в разработке новых измерительных оптических методов.

Одним из таких методов является теневой фоновый метод, который и был реализован автором в данной работе. Эксперимент проводился при помощи лабораторной аэродинамической трубы, создающей воздушные потоки со скоростями до 50 м/с. В рабочую камеру помещались разнообразные объекты, при наличии которых визуализировалось распределение давления и температуры теневым фоновым методом.

Данное исследование поможет разработать системы обнаружения турбулентностей в различных средах.

### **Литература**

1. **Зуев В.Е., Банах В.А., Покасов В.В.** Оптика турбулентной атмосферы. Л.: Гидрометеониздат, 1988.
2. **Современные** оптические методы исследования потоков / под ред. Б.С. Ринкевичюса. М.: Оверлей, 2011.

## **NO<sup>3+</sup>:SrMoO<sub>4</sub> — АКТИВНАЯ СРЕДА ДВУХМИКРОННЫХ ЛАЗЕРОВ**

В настоящее время широкое использование лазерных систем для решения научных и практических задач требует разработки и создания источников лазерного излучения, работающих в новых спектральных диапазонах. На сегодняшний день большой интерес представляет создание двухмикронных лазеров на кристаллах и стеклах, активированных Ho<sup>3+</sup> (переход <sup>5</sup>I<sub>7</sub> → <sup>5</sup>I<sub>8</sub>). Введение ионов гольмия в кристаллы, обладающие высокими коэффициентами ВКР-преобразования, позволяет расширить спектральный диапазон получаемого лазерного излучения за счет стоковых компонент генерации. Молибдат стронция обладает высоким коэффициентом ВКР-усиления, поэтому Ho<sup>3+</sup>:SrMoO<sub>4</sub> может одновременно работать как активная лазерная среда и как нелинейная ВКР-активная среда [1].

В настоящей работе проведены исследования спектрально-люминесцентных свойств кристалла Ho<sup>3+</sup>:SrMoO<sub>4</sub>. Исследуемый образец толщиной 3 мм был изготовлен из кристалла, выращенного в ИОФ РАН методом Чохральского на воздухе. Концентрация примесных ионов Ho<sup>3+</sup> составляла 8,04·10<sup>19</sup> см<sup>-3</sup>. С помощью двухканального спектрометра Cary-5000 были измерены поляризованные спектры поглощения кристалла в области 350—2300 нм.

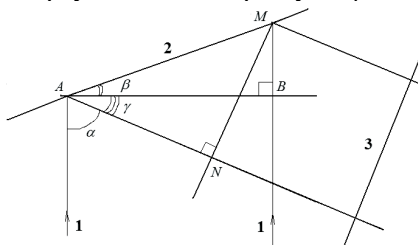
Из значений интегральных коэффициентов поглощения были определены силы осцилляторов электронных переходов иона Ho<sup>3+</sup>. С помощью метода Джадда—Офельта были определены параметры интенсивности Ω<sub>*t*</sub> (*t* = 2, 4, 6) в этом кристалле, которые составили Ω<sub>2</sub> = 7,27·10<sup>-20</sup> см<sup>2</sup>, Ω<sub>4</sub> = 1,9·10<sup>-20</sup> см<sup>2</sup>, Ω<sub>6</sub> = 0,2·10<sup>-20</sup> см<sup>2</sup>. На основе полученных значений параметров интенсивности была определена вероятность спонтанного излучательного перехода с уровня <sup>5</sup>I<sub>7</sub> в ионе Ho<sup>3+</sup>. Рассчитанное значение времени жизни уровня <sup>5</sup>I<sub>7</sub> составило 13 мс, что оказалось несколько больше экспериментально измеренного времени, которое составило 6 мс. Большое время жизни указывает на возможность получения эффективной лазерной генерации на переходе <sup>5</sup>I<sub>7</sub> → <sup>5</sup>I<sub>8</sub> в ионах Ho<sup>3+</sup> в кристалле SrMoO<sub>4</sub>.

### **Литература**

1. Ivleva L.I., Basiev T.T., Zverev P.G. et al. // Optical Materials. 2002. Vol. 23. P. 439.

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПОВОРОТА ПЛОСКОСТИ ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

На исследуемый объект направляется структурированное лазерное излучение (СЛИ) [1]. С помощью цифровой фотокамеры получают изображение плоскости при перпендикулярном наблюдении, а также при наблюдении плоскости, повернутой на некоторый угол  $\beta$ .

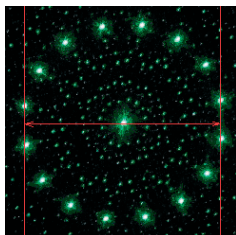


**Рис. 1. Графическое изображение измерений:**

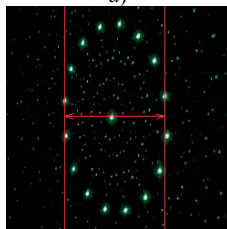
1 — СЛИ; 2 — повернутая на угол  $\beta$  плоскость; 3 — плоскость регистрации изображения

На полученных изображениях (рис. 1) определяется расстояние между одними и теми же элементами на поверхности визуализируемого объекта, далее с помощью расчетных формул находится угол поворота плоскости:

$$\beta = \arctg \frac{MN - AB \cos \alpha}{AB \sin \alpha}.$$



a)



b)

**Рис. 2**

На рис. 2, *a* и *б* приведены экспериментальные изображения соответственно плоскости, перпендикулярной направлению наблюдения и плоскости, повернутой на некоторый угол  $\beta$ . По полученным фотографиям находится угол поворота экрана. Расстояние между одними и теми же элементами в случае *a*  $AB = 206$  пикселей, в случае *б*  $MN = 108$  пикселей, угол поворота плоскости регистрации изображения  $\alpha = 70^\circ$  находится по формуле

$$\beta = \arctg \frac{MN - AB \cos \alpha}{AB \sin \alpha} = 11^\circ.$$

### Литература

1. Дифракционная оптика и нанопотоника / под ред. В.А. Сойфера. М.: Физматлит, 2014. 608 с.

Д.А. Макашов, студ.; рук. С.Н. Горчаковский;  
конс. О.В. Печинская, асп. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ ШИРОКОПОЛЬНЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТИВОВ И МАТЕМАТИЧЕСКИ СМОДЕЛИРОВАННОГО ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА

Важными задачами астрономии являются изучение проблем, связанных с астероидно-кометной опасностью, а также приблизительная оценка последствий таких событий. Для предотвращения подобных угроз актуальной становится задача создания глобальной сети квантово-оптических систем обзора космического пространства. Такие системы реализуются на основе широкопольных астрономических объективов.

Исследование проводилось для двух широкопольных объективов, технические характеристики которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

	Угловое поле, град	Фокусное расстояние, мм	Относительное отверстие
Объектив 1	10	412,8	1:1,65
Объектив 2	40	100,0	1:2,05

Автором была выбрана схема контроля качества широкопольных объективов, созданная на базе фотографического объектива Телегоир-12 (рис. 1).

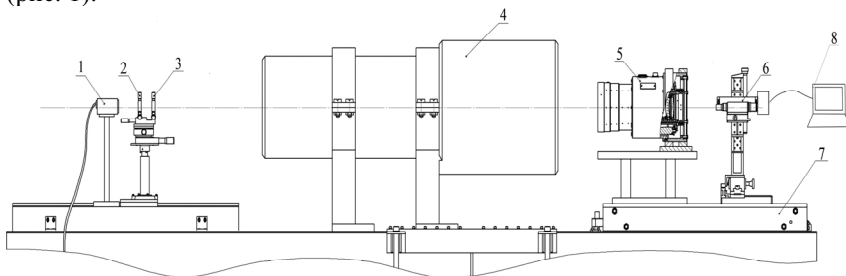


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 — источник; 2 — коллектор; 3 — тест-объект; 4 — коллиматор; 5 — тестируемый объектив; 6 — система регистрации; 7 — поворотное основание; 8 — компьютер

В докладе представлены результаты анализа, проведенного путем сравнения полученных результатов на экспериментальной установке и результатов моделирования системы в среде ZEMAX, выдвинуты предложения по совершенствованию системы контроля качества.

К.А. Мартынова, студ. (НИУ «МЭИ»);  
рук. М.Е. Дорошенко, к.ф.-м.н. (ИОФ РАН)

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ И ГЕНЕРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТУЛИЯ В КРИСТАЛЛАХ ПРОСТЫХ ФТОРИДОВ

Задачи, решаемые при создании твердотельного лазера, всегда являются комплексными. Решение таких задач должно основываться на результатах фундаментальных исследований особенностей структуры твердотельной матрицы, ее спектрально-люминесцентных характеристик, процессов безызлучательного переноса энергии между примесными оптическими центрами.

Фторидные материалы, активированные ионами тулия, представляют большой интерес для разработки твердотельных лазеров среднего ИК-диапазона благодаря эффективному процессу кросс-релаксации при диодной накачке с длиной волны 790 нм в электронный уровень  $^3\text{H}_4$  [1, 2]. Большое разнообразие фторидных матриц и возможность образовывать широкий спектр твердых растворов позволяет получать лазерную генерацию редкоземельных ( $\text{PZ}^{3+}$ ) ионов на новых длинах волн. Состав и тип оптических центров, динамика их формирования, положение, ширина и интенсивность линий поглощения и люминесценции могут существенно изменяться при достаточно малых вариациях параметров матрицы.

Мы исследовали спектроскопические, кинетические и генерационные свойства ионов тулия во фторидных кристаллах при накачке стандартным лазерным диодом с длиной волны 795 нм. Как известно, спектроскопические свойства редкоземельных ионов в значительной мере зависят от локального кристаллического окружения, формирующего локальное кристаллическое поле. Для установления общих закономерностей особый интерес представляет изучение как оптических центров, образованных РЗИ в одной и той же основе, но с разной концентрацией, так и центров, образованных одним ионом в различных кристаллах гомологического ряда флюорита.

### Литература

1. **Investigation** of  $\text{Nd}^{3+}$  ions spectroscopic and laser properties in  $\text{SrF}_2$  fluoride single crystal / О.К. Alimov, Т.Т. Basiev, М.Е. Doroshenko et al.// Optical Materials. 2012. Vol. 34. P. 799—802.
2. **Bouffard M., Jouart J.P., Joubert M.-F.** Red-to-blue up-conversion spectroscopy of  $\text{Tm}^{3+}$  in  $\text{SrF}_2$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{BaF}_2$  and  $\text{CdF}_2$  // Optical Materials. 2000. № 14. P. 73—79.

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОДНОМОДОВОГО РЕЖИМА ГЕНЕРАЦИИ ЛД

Для установления одномодового режима мы предлагаем аналитический метод исследования диаграммы направленности излучения одномодового ЛД в плоскости, перпендикулярной  $p$ - $n$ -переходу (далее — вертикальной плоскости). Суть этого метода заключается в том, что функция  $f(x)$ , описывающая поведение гауссова пучка в точках, равноудаленных от ЛД, в диапазоне ее значений от 0,40 до 0,85 может быть аппроксимирована с погрешностью, не превышающей 2 %, линейной функцией

$$f_{\text{апп}}(x) = C(x_0) - \left( \frac{df}{dx} \Big|_{x=x_0} \right) x, \quad (1)$$

где  $C(x_0)$  — координата точки пересечения с осью ординат касательной к кривой  $f(x)$  в точке  $x = x_0$ , а  $x_0$  — абсцисса точки, в которой производная функции  $f(x)$  максимальна;  $\frac{df}{dx} \Big|_{x=x_0}$  — максимальное значение производ-

ной функции  $f(x)$ ;  $x$  — параметр, определяемый как  $\text{tg}\theta = x$ , где  $\theta$  — текущее значение угловой координаты в вертикальной плоскости.

Из зависимости  $C(x_0)$  от параметра  $a$  [1] видно, что при  $a \geq 7$  значение  $C(x_0)$  практически постоянно и равно 1,213, то есть не зависит от расходимости пучка. Это существенно упрощает аппроксимацию функции  $f(x)$  линейной функцией  $f_{\text{апп}}(x)$ , и нахождение границ интервала значений  $x - x_{\text{max}}^{\text{гаус}}$  и  $x_{\text{min}}^{\text{гаус}}$ , а значит, и углов  $\theta_{\text{max}}$  и  $\theta_{\text{min}}$ , при которых измеренный лазерный пучок имеет расходимость, близкую к дифракционному пределу:

$$\begin{aligned} C(x_0) - \left( \frac{df}{dx} \Big|_{x=x_0} \right) x_{\text{max}} &= 0,98 f_{\text{эксп}}(x_{\text{max}}), \\ C(x_0) - \left( \frac{df}{dx} \Big|_{x=x_0} \right) x_{\text{min}} &= 1,02 f_{\text{эксп}}(x_{\text{min}}), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $f_{\text{эксп}}(x)$  — экспериментально измеренная диаграмма направленности излучения ЛД. С помощью (2) рассчитано, что при расходимости излучения  $19,6^\circ$   $x_{\text{max}}^{\text{гаус}} = 14,8^\circ$ , а  $x_{\text{min}}^{\text{гаус}} = 21,6^\circ$ . Следует заметить, что интервал

[14,8°; 21,6°], найденный при рассмотрении функции  $f_{\text{эксн}}(x)$ , уже того интервала, в пределах которого расчетная функция  $f(x)$  соответствует гауссовой функции: [11,3°; 23,75°].

### Литература

1. **Комплексное** исследование характеристик лазерных диодов с целью прогнозирования их срока службы / В.В. Близнюк и др. // Сборник докладов 24-й Межд. конф. «Лазеры. Измерения. Информация — 2014». Т. 3. СПб.: Издательство политехн. ун-та, 2014. С. 135—146.



## ОПИСАНИЕ УГЛОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕ- И ТМ-КОМПОНЕНТ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ В ОТКРЫТОЕ ПРОСТРАНСТВО

В лазерных диодах (далее — ЛД) роль резонатора играет сам волновод, через выходное окно которого проходит излучение. Диаграмма направленности излучения ЛД в свободное пространство в волновой зоне ( $kr \gg 1$ ) определяется классически через скалярный интеграл Кирхгофа, который описывает дифракцию лазерного излучения на прямоугольной апертуре выходного зеркала ЛД. Однако данный метод имеет существенный недостаток, так как не учитывает векторный характер падающего на него излучения. Таким образом, интеграл Кирхгофа не позволяет теоретически рассчитать угловую зависимость ТЕ- и ТМ-компонент интенсивности лазерного излучения, а следовательно, и угловую зависимость контраста мощности, который определяется, в соответствии с [1], по следующей формуле:

$$K(\theta) = \frac{J_{\text{ТЕ}}(\theta) - J_{\text{ТМ}}(\theta)}{J_{\text{ТЕ}}(\theta) + J_{\text{ТМ}}(\theta) + J_{\text{доп}}(\theta)}, \quad (1)$$

где  $J_{\text{ТЕ}}$  и  $J_{\text{ТМ}}$  — интенсивности ТЕ- и ТМ-компоненты;  $J_{\text{доп}}$  — дополнительная интенсивность, обусловленная наличием естественной составляющей;  $\theta$  — азимут пучка, а именно угол между центральной осью пучка и осью измеряемого пучка, заключенного в некотором малом телесном угле в плоскости, перпендикулярной  $p$ - $n$ -переходу.

Для рассмотрения дифракции на апертуре выходного зеркала с учетом поляризации в [2] предлагается использовать дипольно-волновую теорию дифракции. Данная теория позволяет теоретически определить угловую зависимость контраста мощности в поперечном сечении пучка в плоскостях, проходящих через ось пучка и лежащих под любым углом к плоскости  $p$ - $n$ -перехода. Отклонение экспериментальных кривых угловой зависимости контраста мощности от теоретических с учетом погрешности измерений характеризует деградацию ЛД; чем существеннее отклонение, тем выше степень деградации лазера. Настоящая работа посвящена исследованию зависимости степени деградации и качества ЛД от поляризационных характеристик его излучения.

### Литература

1. ГОСТ Р ИСО 12005—2013. Лазеры и лазерные установки (системы). Методы измерений параметров лазерных пучков. Поляризация. М.: Стандартинформ, 2014.
2. Низьев В.Г. Дипольно-волновая теория дифракции электромагнитного излучения // Успехи физических наук. 2002. Т. 172. №5. С. 601—607.

Пью Ту Кхант, асп.; рук. Н.М. Скорнякова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## КОМПЛЕКС ТЕНЕВОЙ АНЕМОМЕТРИИ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ ЧАСТИЦ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ СКОРОСТЕЙ

В методе ТАИЧ — теневой анемометрии по изображению частиц (в англоязычной литературе PSV — Particle Shadow Velocimetry) — используются источники света с мощностью значительно ниже, чем у лазеров, этот метод вводится как разновидность анемометрии по изображению частиц. В ТАИЧ используется нерассеянное излучение от импульсного источника, такого как светоизлучающий диод (LED), направленное по прямой линии на матрицу камеры.

ТАИЧ использует принципиально новый подход, который не основывается на таких принципах, как флуоресценция, рассеяние, когерентность, доплеровское излучение или расфокусировка; он основан на получении простой тени, отбрасываемой частицей на яркий фон. Это происходит вследствие расположения в линию с нулевой степенью отклонения установки и источника направленного излучения. Изменения контраста вызывают вариации частица—тень—диаметр и позволяют регулировать диаметр тени путем изменения интенсивности падающего света. Яркий свет создает меньшую тень частиц и, как следствие, приводит к более узкой зоне резкости.

Схема экспериментальной установки для записи картин приведена на рис. 1. Она состоит из следующих функциональных элементов: 1 — светодиод; 2 — аквариум с водой, в которую опускается исследуемая частица; 3 — цифровая видеокамера, изображение с которой передается на компьютер.

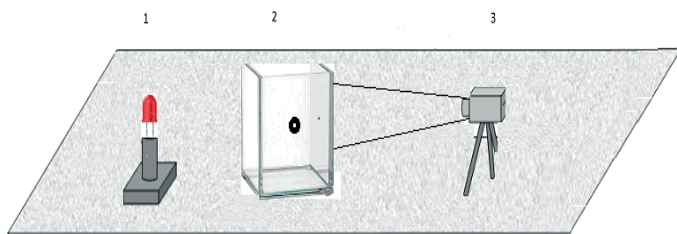


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

*М.В. Сапронов, студ.; рук. Б.С. Ринкевичюс, д.ф.-м.н. (НИУ «МЭИ»)*

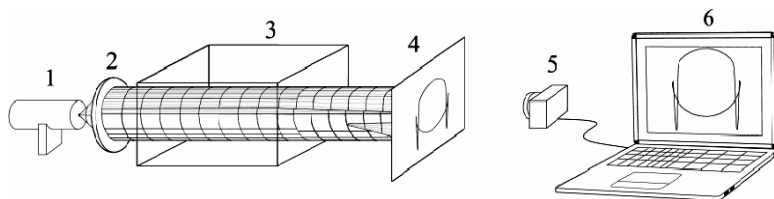
## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФФУЗИОННОГО СЛОЯ ЖИДКОСТИ С ПОМОЩЬЮ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА**

В работе представлено применение метода лазерной рефрактографии [1] для исследования диффузионного слоя в жидкости с помощью цилиндрического лазерного пучка (ЦЛП). Разработана программа компьютерного моделирования эксперимента, а также создана экспериментальная установка для наблюдения 2D-рефрактограмм, схема которой представлена на рис. 1 [2].

Необходимым этапом в методе лазерной рефрактографии является сравнение расчетных рефрактограмм с экспериментальными. Для этого разработана программа обработки изображения ЦЛП, которая позволяет представить экспериментальную рефрактограмму в виде массива координат точек искаженного ЦЛП в плоскости регистрации.

Проведено компьютерное моделирование с целью определения факторов, искажающих результат эксперимента, и степени их влияния.

Полученные результаты позволяют проводить сравнение экспериментальных и расчетных рефрактограмм, получать наиболее значимые параметры диффузионного слоя и подбирать математическую модель слоя, наиболее совпадающую с экспериментом, а также оптимизировать установку для повышения точности.



**Рис. 1. Схема установки для исследования диффузионного слоя:**

1 — система формирования конусного пучка; 2 — коллимирующая линзовая система; 3 — кювета с диффузионным слоем жидкости; 4 — экран; 5 — фотокамера; 6 — компьютер

### **Литература**

1. **Евтихиева О.А., Расковская И.Л., Ринкевичюс Б.С.** Лазерная рефрактография. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 176 с.

2. **Сапронов М.В., Ринкевичюс Б.С.** Рефракция цилиндрического лазерного пучка в диффузионном слое стратифицированной жидкости // Оптические методы исследования потоков: XIII Межд. науч.-технич. конференция [Электронный ресурс]: труды конференции. — Электрон. дан. — М.: НИУ «МЭИ», 2015. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). С. 56—65.

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЖИДКОСТИ

Оптическая система визуализации динамики тепловых процессов в жидкости основана на использовании структурированного излучения, проходящего снизу нагретого тела, помещенного в жидкость. Она создает на экране рефрактограмму, параметры которой зависят от градиента температуры жидкости в пограничном слое около нагретого тела. Рефрактограмма представляет собой изображение пространственно-модулированного источника излучения, созданное оптической неоднородностью в жидкости [1].

Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Излучение от лазерного модуля 1 проходит через объектив 2, в результате кювета с водой 3 зондируется плоским лазерным пучком, направляемым снизу от нагретого цилиндра 4, установленного на юстировочном столике 5. На экране 6 наблюдается рефрактограмма, которая фотографируется цифровым фотоаппаратом 7.

В установке используется полупроводниковый лазер с мощностью излучения 5 мВт. Длина волны излучения равна 0,53 мкм. Расстояние от цилиндра до экрана 18 см. Цилиндр нагревался до температуры 50 °С и опускался в кювету с водой. Температура цилиндра измеряется термопарой. На рис. 2 показаны экспериментальные рефрактограммы лазерной плоскости, полученные на экране 6 в различные моменты времени  $t_1 < t_2 < t_3$ .

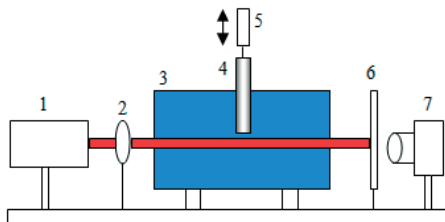


Рис. 1. Схема лазерной рефрактографической системы

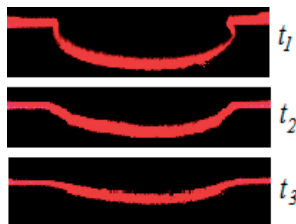


Рис. 2. Изображение рефрактограмм снизу нагретого цилиндра

### Литература

1. Евтихиева О.А., Расковская И.Л., Ринкевичюс Б.С. Основы лазерной рефрактографии: учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2012. 84 с.

*Д.Г. Сычёв, студ.; рук. Н.М. Скорнякова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНЫХ РЕГИСТРИРУЕМЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА ТЕНЕВЫМ ФОНОВЫМ МЕТОДОМ**

Экспериментальные исследования, проводимые в аэродинамических трубах, являются весомой составляющей развития современной техники, в частности авиации. Однако во многих случаях подобные исследования сопряжены с рядом проблем, затрудняющих изучение различных процессов движения потока около исследуемой модели. Разработка новых методик и внедрение их в экспериментальный процесс является весьма важной задачей для дальнейшего успешного развития современной науки и техники.

Одним из перспективных средств решения данной задачи является теневой фоновый метод [1], преимущество которого перед ныне применяемыми методами диагностики состоит в простоте его реализации и большем, в сравнении с аналогами, масштабом исследуемого объекта.

На данном этапе работы была выполнена оценка возможностей теневого фонового метода при определении градиента температуры потока. В качестве исследуемого потока рассматривалась струя воздуха, создаваемая промышленным феном. При эксперименте температура нагревательного элемента устанавливалась равной 300 °С, температура окружающей среды составляла 25 °С. Регистрация потока проводилась при разных расстояниях между объектом и фоновым экраном для определения параметров схемы, при которых регистрируемый при помощи ТФМ градиент температуры минимален.

При анализе численных результатов получено, что с помощью экспериментальной установки на основе теневого фонового метода возможно визуализировать градиент температуры порядка 1 °С при оптимальных параметрах установки (нахождение исследуемого объекта примерно посередине между фоновым экраном и регистрирующей аппаратурой).

### **Литература**

1. **Скорнякова Н.М.** Теневой фоновый метод и его применения // Современные оптические методы исследования потоков / под ред. Б.С. Ринкевичюса. М.: Оверлей, 2011. С. 93—107.

## Секция 9

### ФОТОНИКА

*Председатель секции — д.т.н., профессор В.П. БудаК*

*Секретарь секции — аспирант О.В. Шагалов*

*С.А. Александров, соиск.; рук. С.М. ЛебеДкова, к.т.н., проф.  
(НИУ «МЭИ»)*

#### **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПРЕСС-ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ГОРНОЛЫЖНЫХ ТРАСС**

В настоящее время в России активно развивается горнолыжный спорт, многие виды которого еще недавно были в нашей стране экзотикой. С появлением новых современных трасс становится возможным проведение соревнований международного уровня с телевизионной трансляцией. Таким образом, появляется спрос и на качественное спортивное освещение горнолыжных склонов, которое удовлетворяло бы требованиям мировых стандартов, в частности стандартам освещения для HDTV-трансляций. Учитывая высокую отражающую способность снежного покрова (от 60 % до почти 100 % в зависимости от состояния снега), учет отраженной составляющей освещенности позволяет значительно сократить количество световых приборов. Однако современные светотехнические программы не позволяют достаточно быстро обСчитывать сцены с многократными отражениями для того, чтобы позволить проектировщику оперативно отслеживать результат внесенных им изменений. Специфика расчета спортивного освещения такова, что для достижения нужного результата необходимо производить многократные итерации по изменению углов нацеливания и типов светораспределения каждого из десятков и даже сотен прожекторов в сцене [1]. В данной работе автором предложена новая методика экспресс-проектирования освещения горнолыжных трасс, позволяющая значительно сократить время расчета отраженного света по сравнению с существующими программами.

В основу методики положено определение коэффициентов взаимодействия (форм-факторов) элементарных плоскостей в сцене, учитывающих влияние многократных отражений. Эти коэффициенты рассчитываются однократно и в последующем используются для быстрого пересчета освещенности. При этом время расчета сокращается в десятки раз и позволяет при

внесении изменений в осветительную установку отслеживать изменения в распределении освещенности буквально «в режиме реального времени».

Разработанная методика экспресс-проектирования может быть использована для расчета освещения как горнолыжных трасс, так и любых других спортивных сооружений для зимних видов спорта, имеющих снеговое или ледовое покрытие.

### **Литература**

1. **Таблицы** для расчета природной освещенности и видимости. М.: Издательство Академии наук СССР, 1945.

А.Ю. Басов, студ.; рук-ли О.А. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»);  
 Ю.Е. Шунков, к.т.н., инженер (ООО ПК «ЛИТ», Москва)

## ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ И СИЛЫ РАЗРЯДНОГО ТОКА НА ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РТУТНЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ ЛАМП НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Проведены экспериментальные исследования мощности и КПД ультрафиолетового (УФ) излучения на длинах волн 185 и 254 нм амальгамных ртутных ламп с внутренними электродами. Разрядные трубки диаметром  $d = 15$  и  $19$  мм и длиной  $L = 42, 54$  и  $57$  мм заполнялись парами ртути ( $\sim 7 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст.) и инертным газом (Ar, Ne, Kr) или их смесью (Ar/Ne, Ar/Ne/Kr) давлением  $p_{и.г.} = 1$  и  $2$  мм рт.ст. Частота разрядного тока  $f = 10—80$  кГц, сила тока  $I = 1,0—2,6$  А. Измерения показали, что увеличение тока и его плотности  $j$  сопровождается ростом поглощаемой плазмой мощности  $P$ , увеличением мощности потока вакуумного УФ-излучения  $\Phi_{185}$  и снижением КПД плазмы  $\eta_{185} = \Phi_{185}/P$  от 13,6 до 11,5 % (рис. 1).

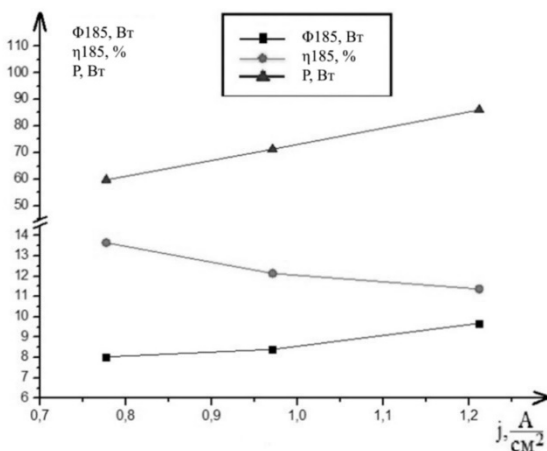


Рис. 1. Зависимость мощности плазмы  $P$ , потока излучения  $\Phi_{185}$  и КПД  $\eta_{185}$  от плотности разрядного тока  $j$ :

$d = 15$  мм;  $p_{и.г.} = 1$  мм рт. ст. Ar/Ne/Kr (98,5/1,0/0,5)

В диапазоне частот разрядного тока  $f = 20—80$  кГц мощность потока УФ-излучения  $\Phi_{254}$  и его КПД  $\eta_{254} = \Phi_{254}/P$  возрастают с увеличением частоты тока  $f$ , в то время как мощность потока и КПД плазмы вакуумного УФ-излучения ( $\Phi_{185}$  и  $\eta_{185}$ ) не обнаруживают зависимости от  $f$ .



Р.Р. Гарипов, Р.Р. Фатыхов, студенты;  
рук. Р.Х. Тукшаитов, д.б.н., проф. (КГЭУ, Казань)

## КРИВАЯ СИЛЫ СВЕТА ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И ВОПРОСЫ ОПТИМАЛЬНОГО ЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НА ДИАГРАММАХ

Анализ содержания многих каталогов и технической документации осветительных приборов позволяет выявить более 10 типов форм представления кривых силы света (КСС) на диаграммах и графиках. Это в определенной степени затрудняет не только быстрое ознакомление с представленной информацией на диаграммах КСС, но и снижает достоверность ее интерпретации. К недостаткам следует отнести отсутствие в ряде случаев размерности силы света, представление КСС только в плоскости СО в полярных или прямоугольных координатах, представление значений силы света на 2—3 порядка точнее, чем точность ее измерения, отсутствие КСС в плоскости максимального излучения. Отсутствуют значения углового шага координат, а диаметры освещаемых плоскостей на графике распределения освещенности приводятся в сантиметрах с точностью до сотой при высоте подвеса светильника до 12 м и т.п.

В связи с этим в работе проведена систематизация выявленных форм и разновидностей представления КСС на диаграммах и графиках распределения освещенности на основе изучения их достоинств и недостатков. На этой основе предлагается оптимальная форма представления КСС в сочетании с графиком распределения освещенности.

В качестве унифицированной формы совместного представления КСС и графика распределения освещенности может быть предложена диаграмма, приведенная на рис. 1 [1]. Вместе с тем к ее недостаткам следует отнести отсутствие размерности силы света, отсутствие шкалы силы света, большой угловой шаг и представление КСС в одной плоскости.

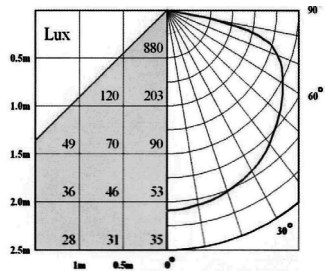
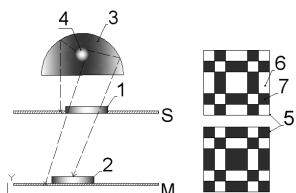


Рис. 1. Одна из наиболее информативных диаграмм

### Литература

1. Каталог фирмы Ledel. Казань, 2012.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СВЕТОВОГО ПОЛЯ ПРОЖЕКТОРА В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ



**Рис. 1.** Принципиальная схема измерения СВП СП:

1 — S-фильтр; 2 — M-фильтр; 3 — отражатель; 4 — ИС; 5 — S-фильтры; 6 — прозрачная область; 7 — непрозрачная область

Для проведения светотехнических расчетов осветительных установок на любом расстоянии от светового прибора (СП) необходимо иметь его математическую модель излучения (ММИ) как в дальней, так и в ближней зоне (БЗ). Цель работы — предложить установку для измерения светового поля и создания ММИ СП.

Принцип построения установки для измерения светового поля СП в БЗ (рис. 1) изложен в [1]. В плоскости выборки  $S$ , расположенной на близком расстоянии от СП, помещается экран с отверстием, через которое лучи света проецируются на плоскость измерения  $M$ . Для ускорения процесса измерения применяются S-фильтры с прозрачными и непрозрачными областями, такие, что один является негативом другого. Эти фильтры моделируют большее число отверстий при проведении одного измерения. Полученные результаты далее используются при реконструкции светового поля СП.

В программе TracePro была смоделирована установка и проведен анализ распределения освещенностей на плоскости  $M$  для ИС с гауссовым светораспределением с углами излучения:  $10^\circ$ ,  $30^\circ$  и  $60^\circ$ , полученных с использованием S-фильтров и без них. Отклонение результата  $\Delta E$  в каждом пикселе  $(i, j)$  на плоскости  $M$  оценивалось по формуле

$$\Delta E(i, j) = E_{\text{полн}}(i, j) - (E_{\text{поз}}(i, j) + E_{\text{нег}}(i, j)), \quad (1)$$

где  $E_{\text{полн}}$ ,  $E_{\text{поз}}$ ,  $E_{\text{нег}}$  — освещенности от СП без фильтра и с фильтрами соответственно; величина ошибки  $\delta E$  — по формуле

$$\delta E = \max(\Delta E(i, j) / \max(\Delta E(i, j))). \quad (2)$$

В результате было выявлено, что  $\delta E$  зависит от толщины экрана, от количества лучей при трассировке, от выбора размера области измерения (M-фильтра), при этом способ формирования пучка не оказывает сильного влияния на результат. Полученные результаты будут использованы при дальнейшем моделировании СП.

### Литература

1. Goesele M., Granier X., Heidrich W., Siedel H. Accuratelightsourceacquisition-andrendering // ACMTrans. Graph. 2003. №22(3). P. 621—630.

## **РЕШЕНИЕ АКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ**

Применение геоинформационных систем в электроэнергетике — важнейшее инновационное направление повышения эффективности информационных технологий и принятия на их основе управленческих решений.

Важным слагаемым бесперебойного функционирования энергетических сетей от производителя к потребителю является поддержание в рабочем состоянии светильников в городе. В случае использования технологий ГИС эта задача заметно упрощается и становится наиболее наглядной.

В этом случае комплексное применение программ и геоинформационных систем позволяет оперативно и, главное, с минимизацией затрат проводить мониторинг состояния энергетических сетей [1]. Это осуществляется путем сравнительного анализа характеристик и параметров состояния светотехнического оборудования.

Пакет ArcGIS является универсальным программным обеспечением, позволяющим выполнять разносторонние задачи в области ГИС [2]. Тем не менее для выполнения важных для специалистов узконаправленных задач не всегда предусмотрены специализированные модули. Но ArcGIS представляет возможность формирования новых модулей для решения поставленных задач и внедрения этих решений в основной модуль.

При разработке использовалась векторная карта-схема конкретного микрорайона города Йошкар-Олы. В качестве базового программного обеспечения применялось программное обеспечение ArcGIS 9.1 компании ESRI с дополнительным модулем ArcGIS Schematics, обеспечивающее автоматизированное создание связанных между собой схематических сетевых объектов, хранящихся в единой базе данных ГИС.

Таким образом, по результатам оценки технического состояния и соответствия нормативным требованиям составляется ведомость отклонения характеристик и параметров состояния светотехнического оборудования от нормативных требований. Полученные результаты позволяют проводить планово-предупредительный ремонт светильников с определением перечня необходимых работ.

### **Литература**

1. **Идельчик В.И.** Интеграция геоинформационных систем для электрических сетей, баз данных и режимно-технологических программных комплексов как задачи теории графов / СевКавГТУ. Ставрополь, 2005. 13 с. Деп. в ВИНТИ 13.01.2005, № 17-В2005.

2. **Дорофеев В.В., Макаров А.А.** Активно-адаптивная сеть — новое качество ЭЭС России // Энергоэксперт. 2009. № 4.

## КОНСТРУКЦИИ РЕЗОНАТОРОВ И ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ БЕЗЭЛЕКТРОДНЫХ СЕРНЫХ ЛАМП

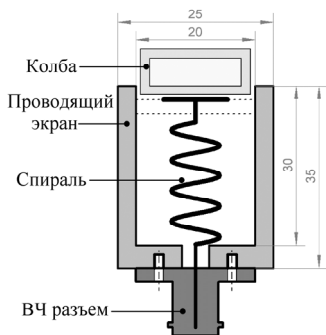


Рис. 1. Устройство спирального резонатора,  $f = 915$  МГц

Безэлектродные разрядные источники оптического излучения, возбужденные в ВЧ-диапазоне, используют стандартные магнетроны мощностью 0,6—1,0 кВт либо полупроводниковые генераторы на промышленной частоте 915 МГц. Для возбуждения разряда на этих частотах применяют объемные, полосковые, тороидальные резонаторы, разряд в которых является емкостным [1]. С целью повышения КПД, массогабаритных показателей и понижения себестоимости ВЧ-источника целесообразно уменьшать рабочую частоту задающего генератора. Однако слишком низкая

рабочая частота ограничивает емкостной ток, протекающий через лампу. Так, в разрядных колбах малых размеров (~2 см) невозможно поддерживать ВЧ-разряд на значительной мощности  $P > 100$  Вт, работая на частоте  $f < 400$  МГц при допустимых на электродах напряжениях менее 1 кВ [2].

Использование индукционного разряда позволяет возбудить и поддерживать ВЧ-разряд на сравнительно высоких мощностях и сравнительно низких частотах, в частности на «разрешенной» частоте 13,56 МГц. В работе описаны различные типы резонаторов и устройств связи для эффективной передачи высокочастотной мощности в плазму безэлектродной лампы. Один из них приведен на рис. 1. Получены излучательные характеристики в процессе разгорания и в установившемся режиме трех типов ламп, работавших на разных уровнях мощности на частотах 13,56, 915 и 2450 МГц.

### Литература

1. **Low frequency electrodeless plasma lamp.** Pat. 8294382 US. Luxim Corporation. Sunnyvale. CA. USA. Oct. 23. 2012.
2. **High density plasma sources: design, physics and performance** / Ed. by O.A. Popov. — Park Ridge, NJ, USA: Noyes publication, 1995. 446 p.

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕШЕХОДА

Пешеходы сегодня являются наименее защищенной категорией участников дорожного движения. По данным ГИБДД доля пешеходов среди пострадавших во всех ДТП составляет около 40 % (в городах — до 60 %), причем на пешеходов приходится 80 % всех смертельных случаев в ДТП.

В этих условиях актуальна проблема обеспечения безопасности пешеходов на переходах. Существующие способы предотвращения наездов на пешеходов, такие как одежда со светоотражателями, оснащение пешеходных переходов подсветкой, установка на автомобилях подушек безопасности пешехода, инфракрасные камеры для распознавания человека и отправка предупреждающих пучков света, установка амортизирующих бамперов, смягчающих удар для пешехода, не могут обеспечить надежную защиту пешехода на дорогах.

Разработано техническое устройство, устанавливаемое на автомобиль и позволяющее оповестить пешехода в любое время суток о тормозном пути в виде визуально наблюдаемой светодиодной сетки, разворачиваемой на асфальте перед тормозящим автомобилем (рис. 1).

При нажатии водителем педали тормоза, сигнал от датчиков торможения и скорости поступает в контроллер, управляющий включением лазерного светодиода с соответствующей насадкой для отображения сетки и широкой стоп-линии. Угол наклона светодиода регулируется сервоприводом и зависит от тормозного усилия и скорости движения автомобиля. Контроллер, получая сигналы о торможении и скорости, будет управлять питанием лазерного диода и углом наклона луча через сервопривод. Источником работы системы является электрогенератор машины. Стоп-линия в конце сетки визуально отображает место, где остановится автомобиль, закончив торможение. Пешеход заранее будет знать, намерен ли водитель остановить машину, а если намерен, то где окажется автомобиль после остановки и можно ли переходить дорогу без опасности быть сбитым.

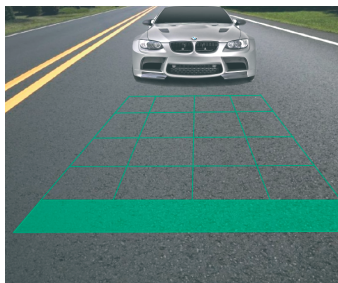


Рис. 1. 3D-модель работы устройства визуализации тормозного пути автомобиля

Ю.А. Лузина, студ.; рук. С.М. Лебедкова, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПРИУКРАШИВАНИЯ ЦВЕТА РАЗНОСПЕКТРАЛЬНЫМИ СВЕТОДИОДНЫМИ ИЗЛУЧЕНИЯМИ**

В современном мире свет стал не столько частью быта людей, сколько инструментом для создания и преобразования пространства, как внутреннего, так и внешнего. Так, существуют методы усиления цвета при помощи традиционных источников света. А с появлением и широким использованием светодиодов стало возможным создание таких излучений, которые делали бы объекты более красивыми, притягательными, яркими. Такая способность искусственных источников света была известна еще в 70-е годы и названа эффектом «приукрашивания» цвета.

Для экспериментальной части работы была создана осветительная установка на базе красного, зеленого, синего и желтого светодиодов, управление которыми осуществлялось при помощи программы Python. Субъективная оценка проводилась при сравнении исследуемых излучений с «эталонным», в качестве которого выступало светодиодное излучение с цветовой температурой 2800 К. Объектами служили образцы, выполненные в красных, зеленых, синих и желтых тональностях. Во время эксперимента спектр осветителя менялся оператором, при этом цвет каждой из групп образцов то становился ярче, то тускнел. По результатам экспериментов были проведены измерения спектров излучений осветителя, вызвавших эффект «приукрашивания» цветных образцов. Проведены расчеты цветовых характеристик объектов в равноконтрастных системах CIELAB и  $v_k v_3 v_c$  [1].

В результате проведенных исследований и расчетов было установлено, что для оценки эффекта «приукрашивания» цвета оказалось невозможным использовать систему CIELAB из-за отсутствия однозначной связи светлоты и яркости цветных объектов. Согласно системе  $v_k v_3 v_c$  при использовании «приукрашивающего» излучения у цветных образцов изменялась цветовая тональность, уменьшалась насыщенность и возрастала светлота. Таким образом, при эффекте «приукрашивания» наш зрительный аппарат реагирует именно на увеличение светлоты. Также были получены излучения, при помощи которых мы добились увеличения привлекательности разных групп цветных объектов.

### **Литература**

1. Мешков В.В, Матвеев А.Б. Основы светотехники. Ч.2. М.: Энергоатомиздат, 1989.

## ДИСКОМФОРТ ОТ БОЛЬШИХ ЯРКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В современной светотехнике становится актуальным понятие дискомфорта. Введение в повседневную практику такого понятия требует проведения эксперимента, в котором исходя из физического смысла явлений будут разработаны шкала критериев дискомфорта и методика распознавания каждого из делений шкалы для испытуемых.

Цель данной работы — сформулировать четкое понятие дискомфорта.

Для каждого человека чувство дискомфорта наступает в разные моменты времени. Дискомфорт зависит от силы света источника, а значит, от яркости источника, его положения, размера и адаптации глаза. Для того чтобы узнать среднее значение дискомфорта, проводят несколько экспериментов.

Большие поверхности можно подразделить на светящиеся потолки. Для больших источников невозможно вывести точную формулу ощущения дискомфорта. МКО предложило выразить ощущение дискомфорта через UGR [1]. Из документации МКО неясно, где рассчитывается освещенность, но из анализа работы Хопкинсона следует, что максимальная средняя освещенность относится к рабочей плоскости [1]. Хопкинсон проводил эксперимент с наблюдателями, в котором на основе полученных данных, была найдена средняя освещенность рабочей поверхности. Для источников промежуточной формы рекомендуется другая модификация UGR, но она дает тот же результат, что и для светящихся потолков.

На данный момент нет установки необходимой точности для проведения экспериментов, поэтому мы воспользуемся экспериментом Лекиша и Гута [2]. Он основан на том, что на стене в черной комнате монтируется установка со светодиодными источниками света, каждый из источников при этом управляется с помощью отдельного диммера. По результатам эксперимента строится усредненная кривая дискомфорта. Сравнивая наши результаты с результатами Лекиша и Гута, проверяется корректность полученных результатов и постановки задачи.

Существует много определений дискомфорта. Полученные нами результаты могут лечь в основу нового определения или уточнить одно из существующих.

### Литература

1. **Clear R.D.** Discomfort Glare: What Do We Actually Know? // *Lighting Research and Technology*. 2013. Vol. 45. P. 141—158.
2. **Luckiesh M., Guth S.K.** Brightnesses in Visual Field at Borderline between Comfort and Discomfort (BCD) // *Illuminating Engineering*. 1949. Vol. 44. P. 650—670.

*Т.В. Мешкова, асп.; рук. В.П. Будаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЩУЩЕНИЯ ДИСКОМФОРТА В УСЛОВИЯХ НЕРАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЯРКОСТИ В ПОЛЕ ЗРЕНИЯ**

Все современные оценки ощущения дискомфорта от блеского источника в поле зрения наблюдателя основаны на экспериментах с блестящими источниками равномерной яркости и являются субъективными.

Экспериментальная установка моделирует неравномерное распределение яркости в поле зрения наблюдателя, а разработанная методика позволяет оценить ощущение дискомфорта.

Экспериментальная установка состоит из металлической пластины, покрашенной белой порошковой краской, на которой монтированы светодиодные платы различной конфигурации (по количеству, мощности и расположению светодиодов). Каждая из плат независимо включается и диммируется. Установка располагается в классной комнате, общее освещение в которой также регулируется.

В первой части эксперимента установка калибруется посредством повторения эксперимента Лекиша и Гута 1949 года с некоторыми изменениями [1]. Испытуемый помещается на расстоянии 1 м от установки, экспериментатор увеличивает яркость светодиодов на плате до достижения испытуемым ощущения дискомфорта.

За основу шкалы оценки дискомфорта берутся четыре основных критерия шкалы Хопкинсона [2].

Далее исследуются зависимости яркости фона, позиции и количества источников от яркости блеского источника. Эксперименты являются кратковременными, чтобы оценить ощущение дискомфорта до наступления световой адаптации.

Во второй части эксперимента исследуются различные комбинации включенных светодиодных плат, моделирующих неравномерное распределение яркости в поле зрения наблюдателя. Испытуемому предлагается пройти тест с кольцами Ландольта, таким образом моделируется стандартная офисная работа, при этом исследуются все основные зависимости между компонентами формулы. Эксперимент проходит в условиях световой адаптации.

### **Литература**

1. **Luekiesh M., Guth S.K.** Brightnesses in Visual Field at Borderline Between Comfort and Discomfort (BCD) // *Illuminating Engineering*. 1949. Vol. 44. P. 650—670.
2. **Hopkinson R.G.** The multiple criterion technique of subjective appraisal // *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 1950. No 2. P. 124—131.



*Е.А. Моисеева, асп.; рук. М.А. Дубов, к.т.н., асс.  
(ЯрГУ им. П.Г. Демидова, г. Ярославль)*

## **РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ВИДИМОМ СВЕТОВОМ ДИАПАЗОНЕ**

На сегодняшний день большое развитие в области передачи данных получили беспроводные сети. Для передачи информации могут использоваться радиоволны, инфракрасное, оптическое или лазерное излучения.

Передача данных посредством видимого света (спектр 400—800 ТГц) может осуществляться при помощи светодиодных ламп. Следовательно, в помещении можно совместить как освещение, так и передачу информации. Некоторые исследователи предлагают совмещение технологий передачи данных посредством видимого света и по электрическим сетям (Power-Line Communication) [1].

Прототип системы состоит из передатчика и приемника со светодиодом на передающей стороне и фотодиодом на приемной, а также драйвера светодиода, трансимпедансного усилителя и микроконтроллеров, обрабатывающих сигналы. Передача информации осуществляется за счет мерцаний светодиода. Частота мерцаний значительно выше порога восприимчивости человеческого глаза и составляет от 100 Гц до 16 кГц. При этом используются два вида модуляции — широко-импульсная и импульсно-кодовая.

За счет более широкого частотного спектра и возможности современных фотодиодов воспринимать быстрые изменения светового потока могут быть достигнуты довольно высокие скорости передачи данных (500—1000 Мбит/с и выше [2]). На разработанном прототипе удалось реализовать основной цифровой канал 64 кбит/с при использовании недорогой и общедоступной элементной базы.

Для данной системы основным источником помех являются другие источники света (солнечный свет, лампы накаливания, люминесцентные лампы). Наибольшее влияние имеет естественное дневное освещение, так как его спектр включает весь диапазон видимого света. Поэтому применение данной технологии пока ограничено местами, в которых единственным источником освещения являются светодиодные лампы.

### **Литература**

1. **Toshihiko Komine, Masao Nakagawa.** Integrated System of White LED Visible-Light Communication and Power-Line Communication // IEEE Transactions on Consumer Electronics. 2003. Vol. 49. No. 1. P. 71—79.
2. **Sridhar Rajagopal, Richard D. Roberts, Sang-Kyu Lim.** IEEE 802.15.7 Visible Light Communication: Modulation Schemes and Dimming Support // IEEE Communications Magazine. March, 2012. P. 72—82.

*Р.Ш. Нотфумин, студ.; рук. В.П. Будаk, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СФЕРИЧЕСКИЕ ГАРМОНИКИ В ЛОКАЛЬНЫХ ОЦЕНКАХ МЕТОДА СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Используемые в компьютерной графике при расчете освещенности и яркости локальные оценки метода статистического моделирования обладают рядом недостатков, в числе которых низкая скорость сходимости этих методов в точке. Стоит задача повышения эффективности метода.

Среднеквадратичный поток в точке  $r$  имеет несходящееся распределение вида

$$\bar{\Phi}^2 \equiv \psi(r') \int r^2 dr \left( \frac{1}{4\pi r^2} \right)^2. \quad (1)$$

При большом количестве итераций среднее значение потока сходится к истинному. Но скорость сходимости ниже, чем при конечной дисперсии.

Применение сферических гармоник в компьютерной графике привлекательно тем, что в теории переноса излучения многие величины определены в сферических и полусферических объемах [1], что делает сферические гармоники подходящим базисом для представления функций.

Процесс разложения функции по полиномам Лежандра представляет собой многократное интегрирование исходной функции. Интегрирование позволяет устранить случайные всплески функции, которые могут возникать в методе локальной оценки, и устранить бесконечную дисперсию. В качестве важной меры оптимизации можно рассматривать переход к нормированным полиномам Лежандра — полиномам Шмидта.

Алгоритм вычисления коэффициентов разложения основан на стохастической аппроксимации функции по системе базисных функций [2]. При реализации алгоритма решения уравнения глобального освещения методом локальной оценки [3] вклад луча умножается на значение сферической гармоники.

Результатом работы стало увеличение производительности алгоритма решения задач, в которых присутствует уравнение глобального освещения.

### **Литература**

1. **Wojciech J.** Efficient Monte Carlo Methods for Light Transport in Scattering Media // PhD Thesis in Computer Science: University of California, San Diego, 2008.
2. **Ченцов Н.Н.** Статистические решающие правила и оптимальные выводы. М.: Физматлит, 1972.
3. **Budak V., Zheltov V.** Local Monte Carlo estimation methods in the solution of global illumination equation // WSCG 2014 Communication Papers Pro-ceedings, 2014. P. 25—1.

Е.А. Пухова, студ.; рук. С.М. Лебедева, проф. (НИУ «МЭИ»)

## ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНЫХ КОНТРАСТОВ В ТОРГОВЫХ ЗАЛАХ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ МАГАЗИНОВ

На основе аудитов 12 сетевых продовольственных магазинов различных ценовых сегментов рынка было выявлено, что акцентное освещение в большинстве магазинов не согласуется с нормами освещения и принципами визуального мерчандайзинга. Для выявления оптимальных контрастов в магазинах с акцентной системой освещения были смоделированы различные комбинации яркостей стеллажа с продуктами и фона (рис. 1). Численные значения контрастов были получены по фотографиям с помощью программы ImageJ, разработанной сотрудниками National Institutes of Health. Фотографии были скоррелированы с реальным восприятием сцены. На их основе был проведен опрос методом парных сравнений. Оценка результатов показала, что наиболее привлекательно товар выглядит при  $K = 0,4—0,5$ , что соответствует оптимальному контрасту для обеспечения видимости товара в зависимости от условий природного освещения при освещенности 100—1000 лк. Поэтому данные соотношения яркостей рекомендуется применять при освещении сетевых продовольственных магазинов для создания акцентов и выявления приоритета зон.



Рис. 1. Освещение стеллажей при различных яркостных контрастах

А.Г. Савицкая, А.А. Делян, студенты; Р.А. Делян, асп.;  
рук. Н.П. Елисеев, доц. (НИУ «МЭИ»)

## ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА В ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ ДИНАМИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Осветительные установки динамического освещения (ОУ ДО) наряду с решением проблемы энергосбережения позволяют обеспечить комфортные условия освещения для человека, влияющие непосредственно на работоспособность и самочувствие. Для реализации динамического освещения необходим соответствующий ИС с возможностью варьирования светового потока от 10 до 100 %, а  $T_{\text{цв}}$  — от 2700 до 6500 К, причем независимо друг от друга. Этим условиям в наибольшей степени удовлетворяют светильники на основе СИД. Следует отметить, что при этом должно обеспечиваться высокое качество цветопередачи во всем диапазоне цветовых температур. Поэтому представляется целесообразным выбор типа белых СИД для применения их в ОУ ДО.

Проведенные исследования показали, что требованиям по качеству цветопередачи в наибольшей степени отвечают следующие типы многокристалльных СИД: *RGBW*, *RGBA* и люминофорные двухкристалльные. Из проведенных расчетов  $R_a$  и  $Q_a$  следует, что в ОУ ДО с требованиями по качеству цветопередачи 1В ( $R_a > 80$ ) целесообразно использовать светильники на основе СИД *RGBW*. Излучение этих источников имеет сходную с естественным светом динамику изменения циркадной эффективности.

Одна из особенностей СИД — увеличенная доля синего излучения. Поэтому была проведена оценка показателя опасности синего света, определяемого по описанной в [1] методике. При этом оцененная опасность синего света не должна превышать  $100 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1}$  при  $t > 10^4$  с.

Расчеты показали, что с ростом  $T_{\text{цв}}$  для всех СИД степень опасности синего света растет. С увеличением  $T_{\text{цв}}$  от 2700 до 6500 К значение показателя опасности увеличивается: для люминофорного СИД в 2,18 раз, для *RGBA* в 3,5 раз, а для *RGBW* в 3,6 раза. Однако все значения были меньше указанного выше. Поэтому ни один из исследуемых СИД не является опасным для здоровья человека.

### Литература

1. Сарычев Г.С., Гаврилкина Г.Н. «Синяя опасность» и осветительные установки // Полупроводниковая светотехника. 2014. № 26. С. 66—68.

Ю.А. Скорик, асп.; рук-ли Н.П. Елисеев, доц.;  
А.А. Григорьев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ОБ УТОЧНЕНИИ КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ ЗРИТЕЛЬНОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ В СОВРЕМЕННЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Современные осветительные установки все чаще представляют собой сложные системы, где не просто применяются современные технические средства (источники света, осветительные приборы, системы управления освещением), но и используется принципиально новый подход к созданию условий освещения. Наиболее наглядным примером могут служить осветительные установки динамичного освещения. Поскольку действие видимого света зависит от освещенности, спектра излучения и времени суток, то в последнее десятилетие были разработаны принципиально новые подходы к созданию осветительных установок [1, 2]. Это определяет актуальность уточнения критериев оценки современных осветительных установок.

Одним из таких критериев может являться зрительная работоспособность. Среди параметров оценки зрительной работоспособности следует выделить коэффициент точности и темп выполнения зрительной работы [3]. Первый — отражает количество ошибок и правильно определенных символов при выполнении тестовых заданий, второй — отвечает за оценку устойчивости внимания каждые 60 с проведения эксперимента.

Проведенные на кафедре светотехники НИУ «МЭИ» исследования показали, что в 60 % случаев более высокий, по сравнению с прочими значениями, коэффициент точности соответствует максимальному разбросу значений темпа выполнения работ. Это свидетельствует о том, что наблюдателем выполнялась более энергозатратная зрительная работа при выполнении именно тестовых заданий вне зависимости от времени их проведения. Следовательно, оценка ЗР может оказаться не совсем достоверной и необходимо уточнение этого критерия.

### Литература

1. Бельд ван ден Г. Свет и здоровье // Светотехника. 2003. № 1. С. 4—8.
2. Бельд ван ден Г. Освещение и самочувствие человека // Светотехника. 2004. № 6. С. 11—14.
3. Гальцова Е.М., Войнова О.С. Методы оценки зрительной работоспособности в установках со светодиодами // Тр. XI Межд. НТК: Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики. — Саранск, 2013. С. 91—95.

П.В. Старшинов, асп.; рук-ли О.А. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»);  
С.А. Свитнев, к.т.н., с.н.с.; В.А. Левченко, инж.  
(ООО ПК «ЛИТ», Москва)

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАМП ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА С РАЗРЯДНОЙ ТРУБКОЙ ДИАМЕТРОМ 16,5 мм

В работе представлены результаты экспериментальных исследований характеристик лампы трансформаторного типа (ЛТТ) с замкнутой разрядной трубкой внутренним диаметром  $d_{тр} = 16,5$  мм и длиной  $L_{тр} = 815$  мм, работающей в смеси паров ртути (0,007 мм рт. ст.) и инертных газов (0,1—1,0 мм рт. ст.) на частоте  $f = 265$  кГц с поглощаемой плазмой мощностью  $P_{пл} = 180$  Вт. На рис. 1 приведены экспериментальные зависимости КПД генерации УФ-излучения ртутной плазмы  $\eta_{254} = \Phi_{254}/P_{пл}$  от давления инертного газа  $p_{и.г.}$ . Видно, что максимум КПД достигается при  $p_{и.г.} = 0,3$  мм рт. ст., а максимальное значение КПД  $\eta_{254} = 0,4$  близко к таковым в электродных лампах, работающих на такой же мощности, но имеющих значительно более короткий срок службы [1].

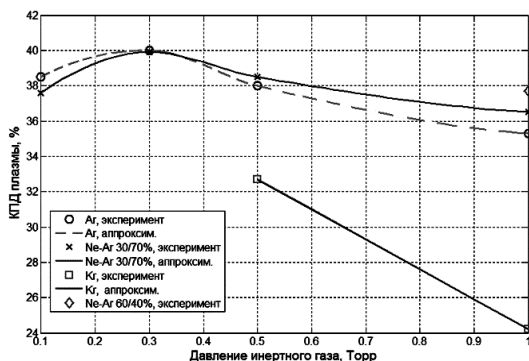


Рис. 1. Зависимость КПД генерации УФ-излучения на длине волны 254 нм от давления инертного газа

Зависимость напряженности ВЧ электрического поля в плазме  $E_{пл}$  от давления инертного газа имеет максимум при  $p_{и.г.} = 0,2—0,3$  мм рт. ст., а ее значение близко к таковым в плазме трубчатых ламп с внутренними электродами, имеющих такие же конструктивные параметры.

### Литература

1. **Ультрафиолетовые технологии в современном мире** / Ф.В. Кармазинов, С.В. Костюченко, Н.Н. Кудрявцев; под ред. С.В. Храменкова. Долгопрудный: Интеллект, 2012. 392 с.

*Н. Р. Фасхутдинов, Д.Н. Сабиров, С.А. Вафина, студенты;  
рук. Р.Х. Тукшаитов, д.б.н., проф. (КГЭУ, г. Казань)*

## **МЕТОДИКА ДЕШИФРОВКИ РАЗМЕРНОСТИ СИЛЫ СВЕТА, ПРИВОДИМОЙ НА ДИАГРАММАХ КСС ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ**

При специальном изучении характера представления кривых силы света на диаграммах КСС в приводимой технической документации установлено, что в одних материалах сила света приводится в канделах (кд) [1], а во многих других — в канделах, приведенных к килолюменам (кд/кЛм) [2]. При этом нередко использованная размерность вообще не приводится на диаграммах. Все это не позволяет провести объективное сопоставление значений силы света разных осветительных приборов даже в пределах каталога одной фирмы.

Для устранения этой неопределенности и ошибочности результатов сравнительного анализа КСС разных осветительных приборов необходима методика дешифровки размерности силы света, приводимой на диаграммах КСС. Она заключается в сопоставлении соотношений значений силы света и световых потоков, представленных в перечне технических параметров осветительных приборов, с одновременным учетом соотношения их углов излучения. При представлении на диаграммах КСС единой размерности силы света отношение световых потоков двух осветительных приборов равно отношению значений их силы света, выраженных в кд. При использовании на одном графике силы света, выраженной в кд, а на другом — в кд/кЛм, это равенство выполняться не будет.

В работе [3] показано, что в дальнейшем необходимо в светотехнической литературе размерность силы света на диаграммах КСС представлять только в канделах. Это поможет устранить разночтение информации, приводимой на сравниваемых диаграммах КСС двух осветительных приборов.

### **Литература**

1. **Рейтинг** светильников для потолков типа «Армстронг» и «Грильято» // Современная светотехника. 2014. № 1.
2. **Светильники**. Каталог Ардатовского светотехнического завода. 2014.
3. **Тукшаитов Р.Х., Нигматуллин Р.М.** Об ошибочности приведения силы света к килолюменам на диаграммах КСС осветительных приборов // Мат. Поволжской научно-практической конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве». Казань: КГЭУ, 2015.

*К.С. Фрейдлин, студ.; рук. В.П. Будаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ В МАЛОУГЛОВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ**

Интеграл, описывающий рассеяние, — это свертка по телесному углу на сфере двух функций: индикатрисы рассеяния и углового распределения яркости (УРЯ). Чтобы упростить решение и избавиться от сингулярности, УРЯ расписывается как сумма анизотропной части, которая определяется аналитически, и изотропной части. Для представления анизотропной части используется малоугловая модификация метода сферических гармоник (МСГ).

Главная проблема в МСГ — это вычисление многомерной свертки в полном телесном угле по сфере. Существуют три пути решения этой проблемы [1]. Первый основан на разложении светового поля в расширенную форму ряда Тейлора (Боте, 1929). Второй способ базируется на теореме сложения полиномов Лежандра (Гоудсмит и Сандерсон, 1940). И третий (Компанеев, 1947, Мольер, 1948, Снайдер и Скот, 1949) — это способ, в котором было предложено заменить свертку по сфере на свертку по плоскости, касательной к этой сфере. Решение первым способом имеет вид гауссоиды в визированном угле. Такое решение сглаживает все сингулярности решения, что действительно только для малых углов в глубоких слоях рассеивающей среды. Во втором способе делается предположение только о пути рассеяния фотонов, что делает его наиболее точным. Однако обобщить этот метод для других источников, кроме плоского мононаправленного (ПМИ), нельзя. Третий способ можно получить из второго для малых углов при условии, что вращение по сфере можно заменить на перемещение по плоскости. Это делает данный метод наиболее гибким, так как в его пределах возможно сделать обобщение для всех элементарных источников с учетом поляризации (Мюльшлеггер и Коппе, 1958). Таким образом, мы получаем три метода решения проблемы многомерной свертки со своими плюсами и минусами.

В данной работе проводится сравнительный анализ этих методов. С этой целью решается задача для плоского мононаправленного источника на границе рассеивающей среды в малоугловом приближении.

### **Литература**

1. **Budakov V.P., Klyuykov D.A., Korkin S.V.** Convergence acceleration of radiative transfer equation solution at strongly anisotropic scattering // In Light Scattering Reviews 5: Single Light Scattering and Radiative Transfer / Ed. A.A. Kokhanovskiy. — Springer Praxis Books, 2010. P. 147—160.



*В.Д. Чембаев, асп.; рук. В.П. Будаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ АЛГОРИТМОВ РАЗЛОЖЕНИЯ ТЕЛА ЯРКОСТИ ПО СФЕРИЧЕСКИМ ГАРМОНИКАМ**

Применение метода локальных оценок метода Монте-Карло при расчете осветительных установок позволяет получать пространственно-угловое распределение яркости в каждой точке рассчитываемой сцены, что делает возможным обзор рассчитанной сцены под любым углом [1]. Однако исследования показали, что метод двойной локальной оценки имеет два существенных недостатка: бесконечную дисперсию и проблему представления тела яркости в каждой точке. В результате исследований, проведенных В.С. Желтовым, были получены результаты, демонстрирующие высокую эффективность применения метода аналитического описания предметов при помощи разложения по сферическим гармоникам. Кроме того, при применении метода разложения углового распределения яркости по сферическим гармоникам (СГ) также решается проблема расходимости дисперсии.

Разложение функций по СГ во многом похоже на разложение Фурье, однако, в отличие от последнего, не имеет на сегодняшний день эффективного численного метода, аналогичного быстрому преобразованию Фурье [2].

В своей работе мы рассматриваем различные подходы и алгоритмы разложения функции по СГ с точки зрения вычислительной эффективности. Наиболее интересным оказался подход, использующий алгоритм быстрого преобразования Фурье в качестве промежуточного шага.

В сферической системе сферические гармоники будут иметь вид  $\{P_n^m(\cos\varphi)e^{im\theta}\}$ , где  $P_n^m(\varphi)$  — присоединенные полиномы Лежандра. Откуда видно, что при фиксированном  $\theta$  базис функции становится обычным рядом Фурье, который может быть эффективно вычислен при помощи алгоритма быстрого преобразования Фурье [2], который является частью набора процессорных инструкций MMX, аппаратно реализованных в семействе процессоров IntelPentium и старше.

Таким образом, при помощи данного подхода удалось достичь вычислительной сложности  $O(N^2(\log N)^2)$ , в отличие от прямого вычисления, имеющего сложность  $O(N^4)$ .

### **Литература**

1. **Budakov V., Zheltov V.** Local Monte Carlo estimation methods in the solution of global illumination equation // Communication Papers Proceedings:22nd International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision "WSCG'2014", 2014. P. 25—30.
2. **Martin J.** Mohlenkamp a Fast Transform for Spherical Harmonics // The Journal of Fourier Analysis and Applications. 1999. Vol. 5. No 2—3. P. 159—184.

## **ВОЗМОЖНОСТИ КВАЗИДИФФУЗИОННОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЯ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ В МУТНОЙ СРЕДЕ С ПРОИЗВОЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ**

На сегодняшний день аппаратная часть оптического дистанционного зондирования выдвигает требования к алгоритмам обработки спутниковых данных по скорости и точности вычислений, которым традиционные методы, по-видимому, удовлетворить не в состоянии, а значит, требуется искать принципиально новый подход.

В нашей работе мы предлагаем новое решение уравнения переноса излучения (УПИ). Для решения проблемы лучевого приближения, связанной с наличием особенностей в угловом распределении яркости, мы используем классический подход: представляем полное решение в виде суммы анизотропной части (содержащей особенность и вычисляемой аналитически) и квазиизотропной части (гладкой функции, которая может быть представлена численно). Анизотропную часть мы находим, используя малоугловую модификацию метода сферических гармоник, которая зарекомендовала себя наилучшим решением для этой цели. Для вычисления квазиизотропной части мы предлагаем новый подход на основе метода синтетических итераций, предложенного в ядерной физике. Суть метода заключается в разбиении итерации на два шага. На первом шаге приближенным методом необходимо точно учесть энергетику, а на втором — уточнить угловое распределение обычной итерацией.

В качестве приближенного метода разумно использовать один из простейших методов решения УПИ из соображения скорости вычислений. Удачным вариантом представляется двухпотокное приближение, однако в случае трехмерной неоднородности оно является несостоятельным в силу зависимости от симметрии среды. Поэтому в качестве приближенного метода мы используем диффузионное приближение, которое не зависит от симметрии и может быть обобщено на произвольную геометрию.

Практически значимым случаем является наличие в среде разорванной облачности, поэтому ее учет в алгоритме представляет собой важнейшую задачу.

В работе проведены вычисления предложенным методом для случая цилиндрического отверстия в плоскопараллельном облаке. Представлены результаты сравнения указанного алгоритма с программой MDOM, разработанной на кафедре светотехники МЭИ для плоского слоя мутной среды. Результаты сравнения для предельного случая (нулевой радиус отверстия) показали расхождение для верхней полусферы направлений не более 4 %.

Е.П. Шаранов, студ.; рук-ли О.А. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»);  
В.А. Левченко, инж. (ООО ПК «ЛИТ», Москва)

## МОЩНОСТЬ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ РУТУНЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ И ИНДУКЦИОННЫХ ЛАМП

В работе проведены экспериментальные исследования излучательных характеристик ламп с внутренними электродами и безэлектродной индукционной лампы трансформаторного типа (ЛТТ). Диаметр разрядных трубок обоих типов ламп  $d_{\text{тр}} = 19$  мм. Давление паров ртути  $p_{\text{Hg}} \sim 7 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст.; давление инертного газа  $p_{\text{Ar}}$  варьировалось от 0,05 до 1,0 мм рт. ст. Лампы с электродами работали на частоте 65 кГц, индукционная лампа — на частоте 265 кГц. На рис. 1 представлены экспериментальные зависимости от давления аргона  $p_{\text{Ar}}$  мощности потока УФ-излучения  $\Phi_{254}$  ( $\lambda = 254$  нм) на погонном метре плазменного столба. Видно, что уменьшение давления инертного газа ведет к росту мощности УФ-излучения, причем мощность УФ-излучения индукционной лампы во всем интервале давлений аргона на 12—14 % превышает мощность УФ-излучения электродной лампы, работающей на таком же разрядном токе  $I = 2,6$  А.

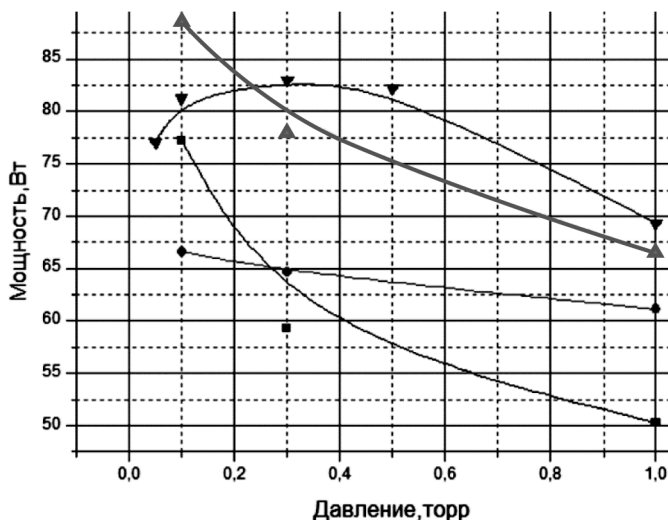


Рис. 1. Зависимость удельной (на 1 м длины плазмы) мощности УФ-излучения  $\Phi_{254}$  от давления аргона  $p_{\text{Ar}}$ : ток разряда: электродные лампы: ■ — 1,56 А; ● — 2,6 А; ▲ — 3,14 А; индукционная лампа: ▼ — 2,65 А

## Секция 10

# ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Председатель секции — зав. каф. ПЭ, д.т.н., профессор  
Д.И. Панфилов

Секретарь секции — к.т.н., доцент Д.А. Серёгин

Е.А. Вершанский, студ.; рук. Е.Е. Чаплыгин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ТРАНЗИСТОРНЫЙ АКТИВНЫЙ КОМПЕНСАТОР НЕАКТИВНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТОКА СЕТИ

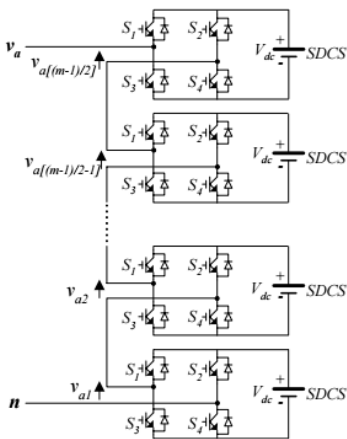


Рис. 1. Однофазная структура компенсатора

последовательно включенных по цепи переменного тока транзисторных мостов, в цепи постоянного тока каждого из них включен емкостной накопитель (рис. 1). Емкостные накопители не связаны друг с другом и напряжение на каждом из них определяет напряжение на транзисторах моста [1]. Таким образом создается транзисторный компенсатор с бестрансформаторным подключением к сети.

Ряд промышленных устройств большой мощности генерируют в сеть широкий спектр гармоник тока. Гармоники с частотами в диапазоне 7÷20 Гц вызывают фликкер-эффект и не подавляются пассивными сетевыми фильтрами и тиристорными активными фильтрами. Сложность решения задачи компенсации неактивных составляющих тока сети обуславливают также высокие напряжения сети (например, 35 кВ), что создает проблемы при использовании силовых транзисторов.

Рассмотрено следующее схемное решение. Три фазы компенсатора подключаются к линейному напряжению сети и работают независимо друг от друга. Каждый из компенсаторов состоит из

Регулирование напряжения на накопительных конденсаторах осуществляется изменением алгоритма работы ключей данного моста.

В работе исследуются возможности ступенчатого и широтно-ступенчатого формирования тока для компенсации гармоник тока с частотами выше и ниже частоты сети. Для исследования процессов создана спектральная модель одной из фаз преобразователя.

### **Литература**

1. **Зиновьев Г.С.** Силовая электроника: учеб. пособие для бакалавров. 5-е изд., испр. и доп. М.: Издательство «Юрайт», 2012.

*А.С. Гаврин, асп.; рук. А.В. Щагин, д.т.н., проф.  
(НИУ «МИЭТ», г. Зеленоград)*

## **ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ RTL-МОДЕЛИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА НА ИНТЕГРАЦИОННОМ УРОВНЕ**

Проектирование сложных полупроводниковых структур требует тестирования программ для микроконтроллеров или уже готовых структур микроконтроллеров на различных этапах.

Вопросы тестирования на этапе проектирования, когда существует только компьютерная модель микроконтроллера, имеют особенности и слабо освещены в литературе.

В докладе рассматриваются вопросы тестирования микропроцессорных структур на уровне модели. Приводится опыт тестирования сложной системы, содержащей множество различных синхронных и асинхронных модулей, на примере отечественного микроконтроллера ТФ16СЕНС-2. Рассмотрены особенности составления спецификации, плана, алгоритмов и тестового обеспечения.

Показано, что тестирование модели микроконтроллера на интеграционном уровне позволяет исключить ошибки при проектировании и ускоряет прохождение подготовительных этапов до аппаратной реализации микроконтроллера.

Р.Ш. Гафутдинов, Р.Н. Хабибуллин, студенты;  
рук. Л.В. Ахметвалеева, к.п.н., доц. (КГЭУ, г. Казань)

## ИССЛЕДОВАНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ ТАЙМЕРНЫХ ПРОЦЕССОРОВ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ФИРМЫ MOTOROLA

Современные микроконтроллеры имеют аппаратную поддержку систем реального времени с использованием встроенных таймерных процессоров. Для управления объектами в реальном времени микроконтроллеры используют различные таймерные модули, которые могут определять время поступления сигналов от объектов управления и формировать выходные управляющие сигналы в заданные моменты времени.

Для исследования были выбраны 16 и 32-разрядные микроконтроллеры *68HC12* и *MC68332* фирмы *Motorola*. В 16-разрядном микроконтроллере *68HC12* модуль таймера включает 16-разрядный счетчик и 8 каналов приема-выдачи сигналов, реализует три основные функции: выходного захвата, входного сравнения и счетчика внешних событий. Таймерный процессор 32-разрядного микроконтроллера состоит из двух таймеров и из 16 таймерных каналов приема-выдачи сигналов и выполняет функции совпадения, захвата и счета сигналов. Также данные микроконтроллеры работают в режиме широко-импульсной модуляции [1].

Для отображения результатов исследования разработана учебная плата. Она состоит из блока светодиодной индикации и блока переключения режимов. Блок светодиодной индикации включает в себя линейку светоизлучающих диодов, многоразрядный семисегментный индикатор, набор *RGB*-светодиодов. Программные средства представляют собой набор тестирующих программ, реализующих основные функции режимов работы микроконтроллеров [2].

Исследования проводились на лабораторном оборудовании для обучения проектированию и программированию систем управления на базе микроконтроллеров *68HC12* и *MC68332*.

### Литература

1. Баррет С.Ф., Пак Д. Дж. Встраиваемые системы. Проектирование приложений на микроконтроллерах семейства 68HC12/HC12 с применением языка С. М.: ДМК-Пресс, 2010.

2. Гибадуллин А.Р., Ахметгалиев Л.Ф., Хабибуллин Р.Н. Создание аппаратно-программных средств для тестирования процессора событий ТМ08 // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: 21-я Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: тез. докл. В 4 т. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. С. 173.

Е.М. Духнич, асп.; рук. П.А. Воронин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ КЛЮЧ С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

В работе рассматриваются проблемы выбора силового полупроводникового ключа для коммутации больших мощностей.

В настоящее время существует проблема выбора энергоэффективных полупроводниковых ключей для применений в мощных схемах. Ключи с электростатическим управлением являются наиболее перспективными приборами для коммутации больших мощностей в диапазоне частот от 10 кГц до 1 МГц. В данном диапазоне частот они обладают наименьшими значениями падений напряжения в открытом состоянии по сравнению с MOSFET- и IGBT-транзисторами. Ключи с электростатическим управлением рассчитаны на напряжения до 4500 В и проводят токи до 2000 А.

По структуре различают: *n-p-n*-структуру, называемую индукционным транзистором (SIT), и *p-n-p-n*-структуру, называемую индукционным тиристором (SITh или FCT). Однако вторую структуру правильнее называть транзистором с модулируемой проводимостью, поскольку данный прибор не обладает свойством регенеративного включения.

Принцип электростатического управления заключается в изменении сечения канала проводимости ключа при изменении потенциала электростатического поля в цепи затвора [1]. Полное перекрытие канала проводимости, то есть отсечка тока в рабочей цепи ключа, наступает при некотором отрицательном смещении на затворе.

Классический принцип управления индукционным транзистором (одного из ключей с электростатическим управлением) подразумевает наличие в цепи затвора специального формирователя (драйвера), включающего источник отрицательного смещения и управляющий низковольтный MOSFET-транзистор. Главным недостатком данного метода управления является необходимость поддержания непрерывного напряжения смещения обратной полярности в цепи затвора для удерживания индукционного ключа в закрытом состоянии.

Для устранения данного недостатка предлагается схема управления с автоматическим формированием отрицательного смещения в цепи затвора индукционного ключа, где роль источника напряжения отрицательного смещения выполняет входная емкость ключа. Для этого управляющий MOSFET-транзистор последовательно подключается к цепи истока индукционного ключа, затвор которого соединяется с общей шиной.

### Литература

1. **Справочник** по силовой электронике / Ю.К. Розанов, П.А. Воронин, С.Е. Рывкин, Е.Е. Чаплыгин; под ред. Ю.К. Розанова. М.: Издательский дом МЭИ, 2014.



*А.Ю. Матвеев, асп.; рук. Е.Е. Чаплыгин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА СИНУСНЫХ ФИЛЬТРОВ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ**

В системах частотного электропривода получили распространение так называемые синусные фильтры, которые позволяют выделить из ШИМ-последовательности напряжения, генерируемой трехфазным инвертором напряжения, основную гармонику, подавая на двигатель практически синусоидальное напряжение.

Синусные фильтры снижают нагрузку на изоляцию двигателя, уменьшают генерируемый акустический шум, минимизируют потери на вихревые токи.

В настоящее время ряд производителей предлагает синусные фильтры с различными параметрами. Вместе с тем в научной литературе слабо представлены материалы, посвященные анализу работы синусных фильтров при различных способах формирования широтно-импульсной модуляции, и рекомендации по выбору параметров синусных фильтров даются без учета особенностей формирования разных видов ШИМ.

Отличие новой методики расчета синусных фильтров в том, что выбор коэффициента передачи фильтра (на частоте эквивалентной гармоники) определяется не коэффициентом гармоник, а требованиями к величине амплитуды высокочастотной составляющей на выходе фильтра. Проведенный анализ различных способов управления показал, что минимальные затраты на синусный фильтр соответствуют выбору «классической» ШИМ с двухсторонней модуляцией по фронту/срезу.

Данная методика расчета синусного фильтра также может быть применена и в случае реализации ШИМ с пассивной фазой, однако надо принимать во внимание ограничения, которые обусловлены тем, что область комбинационных гармоник значительно шире, чем при управлении «классической» ШИМ.

Для полученных параметров синусных фильтров при различных законах управления силовыми ключами, были проведены эксперименты по фиксации величины выброса выходного напряжения при резком отключении нагрузки. Также была проведена оценка эффективности метода ограниченной во времени рекуперации для уменьшения выбросов выходного напряжения [1].

### **Литература**

1. Матвеев А.Ю., Чаплыгин Е.Е. Коррекция динамических процессов инверторов с разветвленной нагрузкой внутренними средствами // *Электричество*. 2013. № 4.

## РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЛОКАЛЬНОГО БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ МОЩНОГО ТИРИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Рассмотрены структура (рис. 1) и техническая реализация локального блока управления и диагностики, предназначенного для передачи сигналов управления и обработки сигналов диагностики состояния однофазных тиристорных мостов в составе одной из трех фаз силового полупроводникового коммутатора для фазоповоротного устройства. Система осуществляет:

- формирование оптических сигналов управления для каждого из драйверов тиристорных мостов;
- контроль комбинации входных сигналов управления. При обнаружении неправильной комбинации возможны два сценария работы: формирование сигнала аварии или интеллектуальное управление с формированием ближайшей рабочей комбинации сигналов управления;
- сбор кодированных сигналов о неисправностях тиристорных мостов. Производит декодирование сигналов от модулей контроля тиристорных мостов и принимает решение об аварии силовых блоков. Подлежит распознаванию следующие аварийные ситуации: внешнее короткое замыкание в линии электропередачи, и как следствие, в контуре тиристорного коммутатора, внутреннее короткое замыкание, отказ источника питания драйверов тиристорных мостов, обрыв оптоволоконной линии связи, отказ одного или нескольких драйверов управления в составе ключа, пробой каждого тиристора.

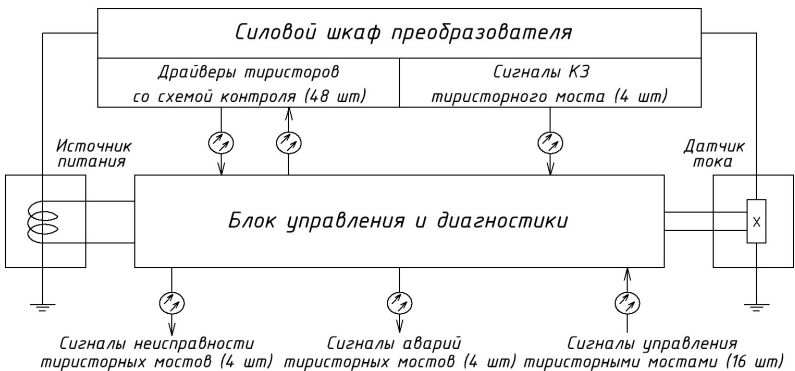


Рис. 1. Структура внешних сигналов блока управления и диагностики

*М.И. Петров, асп.; рук. Д.И. Панфилов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА МАЛОГАБАРИТНОГО УСТРОЙСТВА ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ**

Возможной альтернативой традиционным устройствам FACTS являются малогабаритные устройства продольной компенсации (МУПК). Данный класс устройств за счет управляемого воздействия на реактивную составляющую сопротивления ЛЭП может осуществлять изменение их пропускной способности. МУПК — сложное устройство, основой которого является силовой трансформатор с сердечником из ферромагнетика в виде толстостенного цилиндра. Силовой трансформатор должен работать в линейном режиме в ЛЭП класса напряжения 110 кВ и выше с протекающим током в нормальном режиме порядка 600—800 А.

В общем случае можно выделить три режима работы МУПК, в каждом из которых поток намагничивания создается определенным образом. Поток намагничивания будет определяться током намагничивания  $I_{\text{ц}}$  в эквивалентной схеме замещения трансформатора.

1. Короткозамкнутая вторичная обмотка. В данном режиме МУПК работает как трансформатор тока, что говорит о линейном режиме работы на всем диапазоне токов.

2. Разомкнутая вторичная обмотка. В этом случае МУПК выступает в роли дросселя и вносит дополнительное индуктивное сопротивление в линию. Ток намагничивания трансформатора равен току в ЛЭП.

3. Подключение некоторой емкости ко вторичной обмотке. Ток намагничивания равен сумме тока в ЛЭП и тока, протекающего в емкости. В линию вносится дополнительное сопротивление.

Независимо от режима работы трансформатор не должен выходить из линейного режима, для этого необходимо знать кривые намагничивания. Были проведены исследования с целью их получения. Исследования режимов работы трансформатора проводилось с помощью физического эксперимента на сердечниках стали 3407. В результате были получены кривые намагничивания с разными зазорами. В соответствии с полученными результатами разработана методика определения параметров имитационной модели трансформатора. Сравнение результатов математического и физического моделирования показывает работоспособность модели и адекватность разработанной методики.

Разработанная методика позволяет создавать адекватные имитационные модели силового трансформатора и использовать их в последующих исследованиях нестационарных и аварийных режимов работы.

*К.В. Расули, асп.; рук. Е.Е. Чаплыгин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ**

Устройства гибких линий электропередач (FACTS) в современной электроэнергетике используются для устранения различных проблем, одной из которых является проблема перераспределения потоков мощности в распределительных сетях переменного тока [1]. Данная проблема может быть решена с помощью последовательных тиристорных [2] источников реактивной мощности (ИРМ).

При серийном включении ИРМ в линию при определенных параметрах пассивного фильтра к устройству прикладывается напряжение со сложным гармоническим составом, многократно переходящее через ноль на периоде напряжения сети. В связи с этим нарушается функционирование системы управления, синхронизированной от напряжения на ИРМ. Как следствие, тиристорный мост переходит в неполнофазный режим, функционирование ИРМ нарушается.

Для преодоления данного недостатка синхронных СУ можно использовать привязку сигнала развертки к напряжению на генераторе, которое имеет жесткую синусоидальную форму, сдвигая при этом его фазу на нужное значение. Плюсом данной системы является устойчивость и высокая скорость выхода на установившийся режим. Вторым способом может быть построение асинхронной СУ, в которой угол отпираания тиристоров не отсчитывается от какого-либо напряжения. Сигнал развертки формируется путем интегрирования суммы уставки и сигнала коррекции. Сброс интегратора происходит при включении пары тиристоров. Затем сигнал развертки вместе с сигналом с датчика поступает на модулятор. Преимуществом способа является меньшее число датчиков, однако выход на установившийся режим может быть затруднен. Третий вариант — использовать подстройку сигнала развертки совместно с ограничением интервалов коммутации, что снизит влияние коммутационных процессов на работоспособность устройства.

Разрабатывается имитационная модель ИРМ с описанными вариантами СУ, проверяется работоспособность устройства в различных режимах. Моделируется отработка системой управления аварийных режимов.

### **Литература**

1. **Кочкин В.И., Шакарян Ю.Г.** Применение гибких (управляемых) систем электропередачи переменного тока в энергосистемах. М.: Торус-пресс, 2011. 312 с.
2. **Розанов Ю.К., Рябчинский М.В., Кваснюк А.А.** Силовая электроника. М.: Издательский дом МЭИ, 2009.

*А.Н. Рожков, асп.; рук. Д.И. Панфилов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МАЛОГАБАРИТНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

Возможной альтернативой традиционным устройствам FACTS по ряду применений являются малогабаритные устройства распределенной продольной компенсации [1].

В работе представлена структура малогабаритного устройства продольной компенсации, позволяющего плавно регулировать реактивное сопротивление ЛЭП за счет преобразователя с двумя двунаправленными ключами. Получены основные аналитические соотношения для токов и напряжений, проведен анализ процессов в схеме преобразователя при комплементарном управлении ключами и регулировании скважности переключения ключей.

Поставлена и решена задача создания упрощенной аналитической модели устройства, в которой схема преобразователя относительно зажимов вторичной обмотки трансформатора представлена эквивалентной непрерывной схемой замещения. Показано, что при условии синусоидальности напряжения на входе преобразователя и определенных ограничениях преобразователь может быть представлен эквивалентным конденсатором, емкость которого зависит от скважности переключения ключей преобразователя.

Разработана имитационная модель преобразователя, позволяющая рассчитывать установившиеся процессы в схеме на периоде работы сети при высокой частоте коммутации ключей и управлении скважностью их переключения.

Проведена верификация упрощенной модели по результатам имитационного моделирования преобразователя. В диапазоне принятых допущений доказана высокая степень совпадения процессов на частоте сети в предложенной модели с результатами имитационного моделирования.

С помощью имитационного моделирования проведена оценка влияния параметров схемы преобразователя и частоты коммутации на процессы в схеме. Проверена и подтверждена справедливость основных допущений и ограничений, при которых будет уместна упрощенная модель схемы.

Предложена методика выбора номинала компонентов преобразователя.

Проведена оценка гармонического состава напряжения на выходе преобразователя при различных частотах переключения ключей и параметрах схемы.

### **Литература**

1. **Deepak Divan, Frank Kreikebaum, Munuswamy Imayavaramban.** Active Smart Wires: An Inverter-less Static Series Compensator// Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). 2010 IEEE, Atlanta, GA. P. 3626—3630.

## МАЛОГАБАРИТНОЕ УСТРОЙСТВО ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ МОСТОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Рассмотрена задача внесения в воздушную линию электропередачи дополнительного реактивного сопротивления с помощью малогабаритного устройства продольной компенсации. Малогабаритное устройство продольной компенсации состоит из трансформатора, первичной обмоткой которого является провод линии электропередачи, а к вторичной обмотке подключен мостовой преобразователь [1]. Представлена структура системы управления преобразователем, позволяющая реализовывать различные алгоритмы управления ключами. Формирование первой гармоники напряжения на выходе преобразователя осуществляется методом ШИМ. Регулирование первой гармоники напряжения осуществляется как по амплитуде, так и по фазе относительно тока линии, протекающего через первичную обмотку трансформатора. Входное напряжение преобразователя формируется за счет буферного конденсатора (выполняющего функцию источника питания преобразователя). Заряд конденсатора осуществляется в процессе включения схемы и задания определенного закона управления его ключами.

Проведен анализ переходных и установившихся процессов в схеме в предположении, что в первичной обмотке трансформатора протекает ток от источника тока (ток линии). Получены основные соотношения для расчета токов и напряжений в схеме и величины вносимого реактивного сопротивления в линию электропередачи без учета и с учетом потерь энергии в магнитопроводе. Приведены векторные диаграммы, поясняющие электромагнитные процессы в основных контурах схемы при различных режимах работы преобразователя.

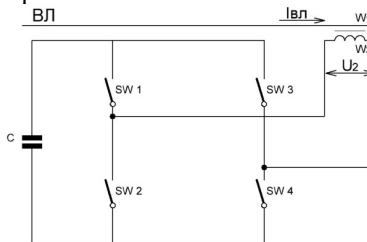


Рис. 1. Силовая схема преобразователя МУПК

### Литература

1. Poriya Fajri, Saeed Afsharnia. A PSCAD/EMTDC Model for Distributed Static Series Compensator (DSSC) // IEEE Xplore. 2008.

*А.А. Чернышёв, асп.; рук. Д.И. Панфилов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ МОСТОВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ МАЛОГАБАРИТНОГО УСТРОЙСТВА ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Решается задача введения дополнительного реактивного сопротивления в воздушную линию электропередачи (ВЛ) с помощью малогабаритного устройства продольной компенсации [1].

Рассмотрена система управления малогабаритным устройством продольной компенсации, построенного на основе мостового преобразователя с полностью управляемыми ключами. Система управления обеспечивает формирование регулируемого синусоидального напряжения на выходе мостового преобразователя напряжения с заданным углом сдвига относительно тока, протекающего в ВЛ.

Проводится анализ алгоритмов работы системы управления преобразователем, позволяющих обеспечить автономную работу преобразователя в режимах:

- заряда буферного конденсатора, являющегося источником питания преобразователя;
- формирования регулируемой первой гармоники выходного напряжения преобразователя как по амплитуде, так и по фазовому углу сдвига относительно тока, протекающего в ВЛ;
- управления преобразователем в переходных и установившихся режимах.

Разработана имитационная модель преобразователя с системой управления. В качестве среды моделирования выбран пакет MatLab и, в частности, его приложения Simulink и SimPowerSystem. Приведены результаты расчетов и моделирования работы устройства в различных режимах работы.

Рассмотрены особенности электромагнитных процессов в устройстве при различных режимах его работы.

### **Литература**

1. V. Narasimha Murthy, P. Bhaskar Prasad, K. Harinath Reddy. Application of Distributed Static Series Controller (DSSC) Modified with Fuzzy Logic and ANFIS Controllers as Auxiliary Controller in Extenuation of Sub-Synchronous Resonance // International Journal of Engineering Research and Development. IEEE. 2014. Vol. 10. P. 18—26.

## ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Председатель секции — д.т.н., профессор А.М. Гуляев

Секретарь секции — к.т.н., доцент И.Б. Варлашов

А.Н. Балабашин, студ.; рук. Э.Н. Воронков, д.ф.-м.н., проф.  
(НИУ «МЭИ»)

### ТЫЛЬНО-БАРЬЕРНЫЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

В настоящее время практически все выпускаемые промышленностью солнечные элементы (СЭ) имеют фронтальный барьер. Особое расположение барьера позволяет улучшить спектральную характеристику СЭ. Действительно, у тыльных СЭ энергия поглощенных носителей вне области собирания не попадает в нагрузку и рассеивается. Вместе с тем во фронтальных СЭ имеется ряд других потерь, которые могут быть меньше в СЭ с тыльным барьером [1, 2].

Цель данной работы состояла в сравнении достоинств и недостатков каждой из двух конструкций на основе анализа влияния технологии и параметров используемых материалов.

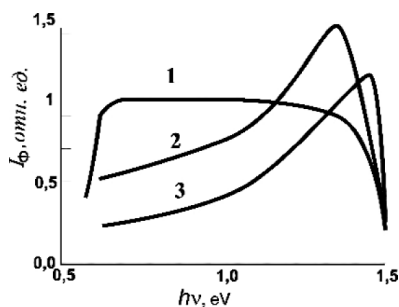


Рис. 1. Примеры спектров фототока СЭ: 1 — фронтальный барьер; 2, 3 — тыльные барьеры (разные параметры материала)

Для решения поставленной задачи был выполнен расчет характеристик солнечного элемента (фототок, КПД) по традиционной модели для некоторого модельного образца с параметрами ширины запрещенной зоны, близкими к оптимальным, для стандартного спектра на поверхности Земли (AM 1,5) [3]. Кроме положения барьера и параметров ОПЗ, варьировались скорость поверхностной рекомбинации и время жизни носителей заряда. На рис. 1 при-



ведены возможные характеристики тока короткого замыкания, полученные для различных параметров областей и положений барьера относительно фронтальной поверхности.

### **Литература**

1. **Archer M.D., Hill R.** Clean electricity from photovoltaics. Imperial College Press, 2001.
2. **Фаренбрух А., Бьюб Р.** Солнечные элементы / под ред. д.т.н., проф. М.М. Колтуна. М.: Энергоатомиздат, 1987.
3. **Москатов Е.А.** Справочник по полупроводниковым приборам. Изд. 2-е. Таганрог, 2007.

*О.А. Белякова, студ.; В.А. Лавренов, соиск.;*  
*рук-ли В.З. Гребенкин, д.т.н., проф.; В.К. Самойликов, д.т.н., проф.*  
*(НИУ «МИЭТ», г. Зеленоград)*

## **ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ В СИСТЕМЕ ФОКУСИРОВКИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ КАМЕРЫ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ**

В докладе представлен анализ конструкции держателя матриц (ДМ) типового оптико-электронного преобразователя (ОЭП), входящего в состав оптико-электронной камеры (ОЭК) для космического аппарата (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Выявлено влияние напряженно-деформированного состояния ДМ ОЭП, вызванного разницей ТКЛР конструкционных материалов и температурными воздействиями, на функцию передачи модуляции (ФПМ) ОЭК. ФПМ ОЭК является одним из определяющих факторов качества работы камеры.

На основании проведенного анализа предложена математическая модель напряженно-деформированного состояния ДМ, с помощью которой возможна оптимизация конструктивных решений в ОЭП, минимизирующих влияние деформации ДМ на ФПМ ОЭК.

На числовом примере показано, что величина деформации ДМ при температурных воздействиях соизмерима с погрешностью системы фокусировки (СФ) ОЭК. Ввиду характера и величины деформации СФ не способна ее компенсировать, что приводит к ухудшению эксплуатационных характеристик ОЭК.

В результате исследования предлагается при проектировании ОЭП учитывать напряженно-деформированное состояние ДМ и с учетом этого оптимизировать его конструктивные параметры. Это позволит минимизировать влияние ДМ ОЭП на ФПМ ОЭК и повысит качество получаемых изображений. Также показана необходимость учета результатов исследования напряженно-деформированного состояния ДМ при разработке системы охлаждения ОЭП.

## ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ БЕТА-БАТАРЕИ

В последнее время, в связи с перспективой применения бета-электрических элементов (БЭЭ) и батарей на их основе в роботизированных автономных устройствах медицины, космонавтики и военной техники, в мировой литературе появилось большое количество публикаций с результатами исследований БЭЭ на основе самых разных материалов, как кристаллических, так и аморфных [1, 2].

В данной работе приводятся результаты исследования возможности создания промышленного производства БЭЭ на базе уже имеющихся конструкций и технологий. Одним из них является заключение о том, что коммерческие тонкопленочные батареи на основе перспективных широкозонных материалов могут быть созданы в ближайшее время. Создание соответствующей модели работы многокаскадной батареи на основе a-Si:H:T позволило выполнить соответствующие расчеты, результаты которых приведены в докладе. Рассмотрены основные характеристики элемента, осуществляющего преобразование энергии  $\beta$ -излучения от тритиевого источника в электрическую энергию. В работе выполнен расчет на основе модельного материала с параметрами как у тонкопленочных, являющихся перспективными для солнечной энергетики. На рис. 1. приведена конструкция элемента БЭЭ с трехкаскадным преобразователем энергии частиц, использующим тритий в качестве топлива.

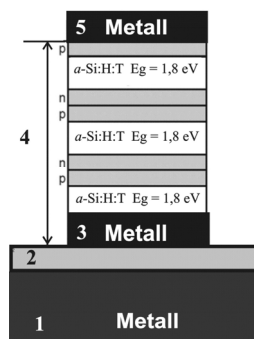


Рис. 1. Конструкция элемента бета-батареи на основе a-Si:H:T: 1 — подложка; 2 — буферный слой; 3 — контакт; 4 — преобразователь; 5 — контакт

### Литература

1. **Peculiarities of Betavoltaic Battery Based on Si / V.N. Murashev, V.N. Mordkovich, S.A. Legotin et al. 2014. Vol. 6. No. 4.**
2. **Поликарпов М.А., Якимов Е.Б.** Исследование свойств полупроводниковых преобразователей на основе кремния для бета-вольтаических элементов // Физика и техника полупроводников. 2015. Т. 49. Вып. 6. С. 763—766.

## **ГАЗОВЫЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК ОКСИДОВ ОЛОВА И ТЕРБИЯ С АДДИТИВОМ СУРЬМЫ**

В устройствах типа «Электронный нос», распознающих газообразные вещества, используются, как правило, высокочувствительные сенсоры, такие как сенсоры на основе оксидов олова. Сенсорный сигнал в них обусловлен обратимым изменением концентрации носителей заряда в приповерхностном слое в результате окислительно-восстановительных реакций на поверхности. Их недостатком является относительно малая избирательность по отношению к различным реагентам. Для повышения селективности сенсоров в состав оксида олова вводятся аддитивы или используются нанокристаллические композиты на основе оксидов олова и других металлов [1]. В данном исследовании в качестве модификатора применялся редкоземельный элемент тербий. Однако сопротивление сенсоров, содержащих десятки процентов этого композита, значительно превышает рабочее сопротивление сенсоров для нашего устройства «Электронный нос», которое должно находиться в пределах от сотен кОм до нескольких МОм. В связи с этим нами дополнительно в процессе создания сенсора в его состав вводился аддитив сурьмы (~1—2 %).

Полученные таким образом газовые сенсоры имеют рабочую температуру 250—300 °С и обладают высокой селективностью. В то время как в случае таких спиртов, как этиловый и изопропиловый, их чувствительность (относительное изменение сопротивления) достигает 80—120 %/10 ppm реагента, чувствительность к растворителям ацетону и бензолу в десятки раз меньше. Это делает перспективным их использование в матрице, содержащей 10—24 сенсоров устройства «Электронный нос».

### **Литература**

1. **Титов А.В., Гуляев А.М., Мухина О.Б., Варлашов И.Б.** Шумовые и генерационные явления в сенсорах на основе тонких пленок SnO<sub>2</sub> с добавками Sb, In и с каталитическим Pt покрытием // Шумовые и деградационные процессы в полупроводниковых приборах: Доклады Международного научно-методического семинара, 4—7 декабря 2001 г. М., 2002. С. 137—142.

## ЯЧЕЙКА СЧИТЫВАНИЯ ШИРОКОГО СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ ИНФРАКРАСНЫХ ФОТОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

Каждый диапазон длин волн характеризуется своим значением фототока, который вырабатывается фотоприемником. Затем фототок попадает на входную ячейку, которая обеспечивает связь между ИК фотодиодами и следующим устройством обработки сигнала. Наиболее простыми и часто используемыми ячейками являются DI (прямая инжекция) и BDI (инжекция через буфер) [1]. При сравнении результатов работы в режимах DI и BDI ячейки при подаче импульса тока, моделирующего вспышку света, получено, что при протекании фототока порядка 0,1—1 нА предпочтительнее использовать BDI ячейку. Лучшие динамические характеристики BDI ячейки обусловлены ускоренной перезарядкой паразитной емкости фотодиода. [2]

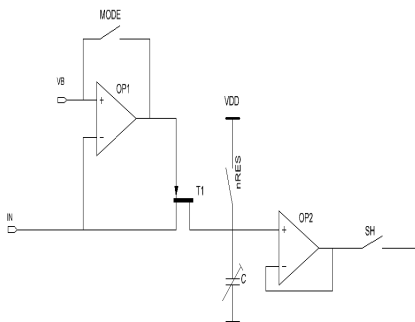


Рис. 1. Переключаемая DI/BDI ячейка

Длинноволновые фоточувствительные элементы характеризуются низкими рабочими температурами (до 60 К). При добавлении операционного усилителя (BDI ячейка) увеличивается потребление активной мощности как в статическом, так и динамическом режимах работы, что в свою очередь увеличивает нагрузку на систему охлаждения. Поэтому в режиме больших токов 1—100 нА предпочтительнее использовать DI ячейку, так как это позволяет снизить потребление.

Исходя из вышесказанного, для обеспечения широкого спектрального диапазона требуется переключаемая в зависимости от спектрального диапазона DI/BDI ячейка (рис. 1).

### Литература

1. Хромов С.С., Зайцев А.А. Проектирование интегральной схемы считывания формата 640×512 для фотоприемных устройств на основе антимонида индия // Прикладная физика. 2011. № 2.
2. Focal-Plane-Arrays and CMOS Readout Techniques of Infrared Imaging Systems / Chih-Cheng Hsieh et. al. // IEEE transactions on circuits and systems for video technology. 1997. Vol. 7. No. 4. P. 594—605.

Е.М. Лукьянов, студ.; рук. И.Б. Варлашов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ВЛИЯНИЕ ВИДОВ ИЗОЛЯЦИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ КМОП-СХЕМ НА ПОРОГОВЫЕ И ПРОБИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В данной работе проведено исследование вида влияния изоляции на характеристики КМОП-схем, а в качестве оценочных факторов использовались: пороговое напряжение, пробивное напряжение, количество требуемых операций в технологическом цикле и возможность использования самосовмещенной технологии.

Рассмотрены два типа изоляции: изоляция на основе локального окисления кремния (*LOCOS*) и изоляция канавками (*STI*). Были разработаны два технологических маршрута, которые затем использовались для моделирования транзисторных структур с технологической нормой 2 мкм в программном пакете TCAD. Этот же программный пакет был использован для моделирования электрического воздействия на модель структуры и экстракции требуемых электрических параметров. Результаты представлены ниже.

Изоляция	Пороговое напряжение	Пробивное напряжение	Количество технол. операций	Возможность использования самосовмещения
LOCOS	1.6	58	4	–
STI	1.3	42	6–8	+

Из результатов исследования видно, что обе технологии имеют свои плюсы и минусы. Изоляция с локальным окислением кремния позволяет добиться более высоких пробивных напряжений, но при этом пороговые значения увеличиваются, в то время как с тренчевой изоляцией дела обстоят иначе: получение более низких пороговых характеристик компенсируется снижением пробивных. Из результатов также видно, что для создания изоляции с локальным окислением кремния требуется меньше технологических операций, но при этом вписать данный процесс в самосовмещенную технологию достаточно затруднительно. Изоляция с использованием тренчей требует больше технологических операций, при этом удобно использовать самосовмещение, поэтому при разработке общего технологического цикла транзисторной структуры можно добиться такого же количества технологических операций, что и при изоляции локальным окислением.

В качестве подведения итогов работы можно утверждать, что применимость того или иного типа изоляции зависит только от требований со стороны изготовителя как к технологическому циклу, так и электрическим характеристикам самого прибора.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ОКСИДНЫХ ПЛЕНОК InAs МЕТОДАМИ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Арсенид индия является одним из основных материалов для изготовления фотоприемников, а вопрос получения качественной границы раздела с оксидом материала остается актуальным на протяжении всей истории производства полупроводниковых приборов.

Распределение элементного состава пассивирующей пленки, полученной анодным окислением, исследовалось методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии с послойным травлением ионами  $Ag^+$  на установке LHS-10.

Пассивирующая пленка приготавливалась анодированием в смеси этиленгликоля и аммиака с добавкой фторсодержащей компоненты. Как известно фтор имеет способность «залечивать» свободные связи и тем самым уменьшать плотность поверхностных состояний, что улучшает характеристики фотоприемника.

Эксперимент проводился на образцах разной толщины, от 30 до 50 нм. Было показано, что концентрация фтора на границе раздела АОП — полупроводник прямо пропорционально зависит от толщина окисла. Также показано, что максимум концентрации фтора перемещается ближе к границе раздела с увеличением толщины окисла. На рис.1 показано распределение In, O, F, As в окисленном ( $As_o$ ) и неокисленном состоянии ( $As_m$ ) по толщине пленки (скорость травления  $\sim 1$  нм/мин) для двух толщин пленки — 52 и 31 нм.

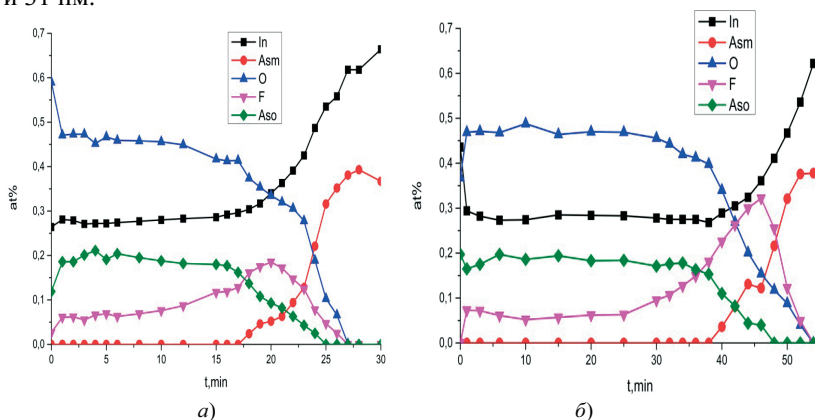


Рис. 1. Распределение элементного состава АОП толщиной 52 нм (а) и 31 нм (б)

## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОБИВНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ U-MOSFET ТРАНЗИСТОРА

В конце 80-х годов стала доступна технология травления канавок в кремнии для изготовления конденсаторов в чипах *DRAM*. Этот процесс был адаптирован для силовой полупроводниковой электроники, результатом этого является транзистор с U-образным затвором (*U-MOSFET*) [1] (рис. 1, а).

Транзисторы такой конструкции имеют высокое пробивное напряжение, которое определяется формой канавки, а также толщиной эпитаксиального слоя и концентрацией в нем примеси.

При подаче запирающего напряжения обедненный слой будет распространяться в область *N*-дрейфа. Глубина проникновения определяется концентрацией легирующей примеси. С увеличением длины области дрейфа происходит повышение пробивного напряжения.

Моделирование пробивного напряжения в структуре *U-MOSFET* производилось с помощью *Sentaurus TCAD* с пятью толщинами эпитаксиальных слоев (от 20 до 40 мкм) и пятью значениями концентрации примеси (от  $2 \cdot 10^{14}$  до  $6 \cdot 10^{14}$   $\text{см}^{-3}$ ). Результаты моделирования представлены на рис. 1, б.

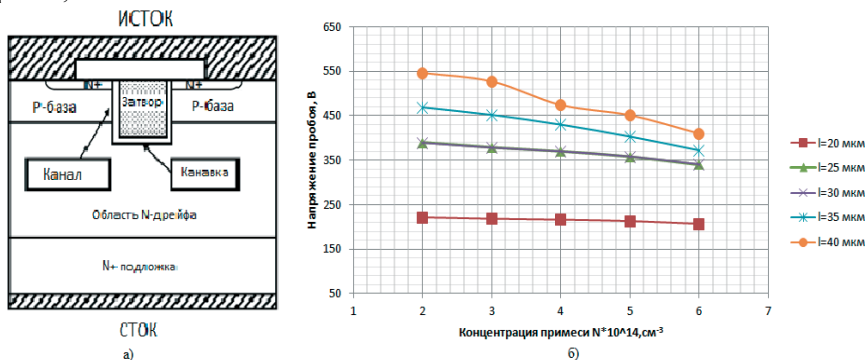


Рис. 1. Структура U-MOSFET (а) и график зависимости напряжения пробоя от концентрации примеси при различных толщинах эпитаксии (б)

В данной работе показаны зависимости пробивного напряжения от концентрации примеси и толщины эпитаксиального слоя *U-MOSFET*.

### Литература

1. В. Jayant Baliga. Fundamentals of Power Semiconductor Devices. Springer, 2008.



## ОСОБЕННОСТИ ПОДПОРОГОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕСТОВЫХ МДП-ТРАНЗИСТОРОВ КМОП ИС ПОСЛЕ СТРЕССОВ В РЕЖИМЕ МАКСИМУМА ТОКА ПОДЛОЖКИ

Метод подпороговых характеристик является базовым при контроле технологии КМОП ИС и позволяет определять основные параметры МДП-транзисторов, такие как крутизна подпороговой характеристики ( $S$ -параметр), пороговое напряжение  $V_t$  и ток покоя транзистора  $I_{off}$ .

В данной работе было проведено углубленное исследование особенностей подпороговых характеристик тестовых МДП-транзисторов, выполненных по стандартной 0.25 мкм LDD-технологии, при воздействии на них стресса в режиме максимума тока подложки [1].

Тестовый транзистор был подвержен серии стрессов с измерением характеристик тока зарядовой накачки (ЗН) [2], а также подпороговых характеристик при прямом и инверсном включении прибора после каждого стресса из серии. По данным метода ЗН были рассчитаны распределения плотности поверхностных состояний (ПС), прогенерированных в результате стресса, и показано, что данная плотность ПС локализована в перекрытии низколегированной LDD-области стока затвором. Измеренные подпороговые характеристики показали существенный рост в области GIDL-тока (Gate-induced Drain Leakage [3]) при прямом включении прибора. При обратном включении рост GIDL-тока отсутствовал, однако в значительной степени изменился наклон характеристики. Это позволяет утверждать, что рост GIDL-тока при прямом включении транзистора связан с увеличением вклада туннельного тока при участии ПС, которые были прогенерированы в области перекрытия стока. Это хорошо коррелирует с данными, полученными при анализе характеристик тока ЗН и значительно расширяет информативность метода подпороговых характеристик, делая его пригодным для оценки локальности встраивания заряда и ПС в подзатворной системе МДП-транзисторов.

### Литература

1. **Hori T.** Gate Dielectrics and MOS ULSIs // Spinger-Verlag, Berlin Heidelberg, 1997.
2. **Groeseneken G., Maes H.E., Beltrán N.** A reliable approach to charge-pumping measurements in MOS transistors // IEEE Trans. ED. 1984. Vol. 31.
3. **Chang T.Y., Chen J., Ko P.K., Hu C.** The impact of gate-induced drain leakage current on MOSFET scaling // IEEE IEDM Digest. 1987.

## МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОЩНОГО СВЧ-ТРАНЗИСТОРА НА БАЗЕ ГЕТЕРОЭПИТАКСИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ AlGaIn/GaN

В последние годы проявляется возрастающий интерес к сверхвысокочастотным (СВЧ) транзисторам на широкозонной гетеросистеме AlGaIn/GaN. Большая ширина запрещенной зоны  $E_g$  и, соответственно, большие напряжения пробоя, высокая слоевая концентрация электронов, обусловленная спонтанной и пьезоэлектрической поляризацией, и высокая скорость электронов делают эту гетеросистему чрезвычайно перспективной для мощных СВЧ-приборов. К настоящему времени наиболее интенсивно исследованы AlGaIn/GaN-HEMT-транзисторы.

Целью данной работы является модельное исследование мощного транзистора на структуре AlGaIn/GaN (рис. 1), который был разработан в АО «ГЗ «Пульсар». С помощью моделирования в пакете программ ISE TCAD необходимо было решить следующие задачи: получить вольт-амперные характеристики (рис. 2), близкие к реальному прибору, и определить, какие параметры структуры транзистора, сложно контролируемые в процессе изготовления (концентрация поверхностных ловушек и плотность поверхностного заряда, концентрация двумерного электронного газа), определяют эти характеристики, то есть определить предельно возможные характеристики прибора, построенного на исследуемой структуре. В ходе моделирования были подобраны следующие неконтролируемые параметры структуры: плотность поверхностного заряда  $7.6E12 \text{ см}^{-2}$  и концентрация поверхностных ловушек  $1.9E18 \text{ см}^{-3}$ , позволившие получить смоделированные статические характеристики транзистора, совпадающие с экспериментальными. Также был учтен эффект саморазогрева прибора.

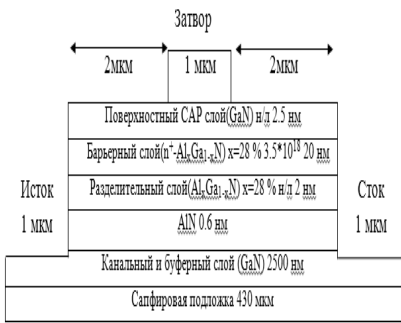


Рис. 1. Структура транзистора

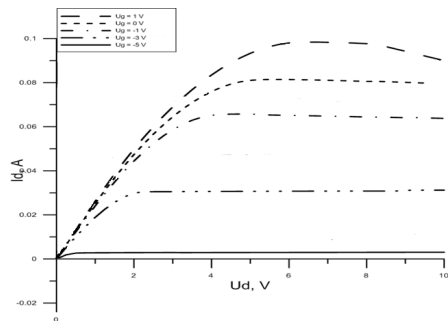


Рис. 2. ВАХ транзистора

С.Д. Федотов, А.В. Емельянов, аспиранты;  
рук. С.П. Тимошенко, д.т.н., проф. (НИУ «МИЭТ», г. Зеленоград)

## АНАЛИЗ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ КРЕМНИЯ НА САПФИРЕ, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

Гетероэпитаксиальные структуры кремния на сапфире (КНС) известны уже более 50 лет и до сих пор применяются как основа в радиационно-стойких ИС, а также во многих высокочастотных устройствах. Электрические свойства структур КНС зависят от напряжений в решетке кремния, ориентационной неоднородности гетероэпитаксиального слоя и дефектного переходного слоя вблизи интерфейса кремний—сапфир.

В настоящей работе был проведен анализ эпитаксиальных слоев КНС, изготовленных различными методами гетероэпитаксии: гидридным, гидридно-хлоридным и комбинированным [1—3].

Слои КНС осаждались на сапфировые подложки Ø 100 мм в вертикальном эпитаксиальном реакторе PE2061 (LPE, Италия) в атмосфере осушенного водорода (содержание воды < 5 ppb). Перед осаждением производился отжиг подложек в H<sub>2</sub> при температуре 1200 °С. По каждому методу гетероэпитаксии изготовлены структуры КНС *n*-типа толщиной 100, 300, 600 нм. Скорость роста составила 400—450 нм/мин. Температура осаждения варьировалась в диапазоне 950—990 °С (по оптическому пирометру).

Разброс толщины по площади составил ±8% (ИК-фурье спектроскопия). Разброс удельного сопротивления по площади был равен ±10% (четырёхзондовый метод). Данные УФ-рассеяния (Haze) и атомно-силовой микроскопии (Rms) показывают увеличение микрошероховатости поверхности с увеличением толщины слоя для каждого метода эпитаксии: гидридный — 0,1—2,03 ppm и 0,7—2,5 нм; гидридно-хлоридный — 0,22—0,87 ppm и 0,71—2,06 нм; комбинированный — 0,14—0,31 ppm и 0,78—1,2 нм. Рентгеноструктурный анализ слоев показал улучшение структурного совершенства с ростом толщины (по FWHM) для каждого метода: гидридный — 0,69°—0,35°, гидридно-хлоридный — 0,74°—0,31° и комбинированный — 0,75°—0,30°. Экспериментально обнаружено, что комбинированный метод является наиболее применимым методом при изготовлении структур КНС толщиной от 100 нм и более.

### Литература

1. **The Preparation and Properties of (111) Si Films Grown on Sapphire by the SiH<sub>4</sub>-H Process** / Н.М. Manasevit et al. // J. Electroch. Soc. 1976. Vol. 123. Issue 1. P. 52—57.
2. **Европейский** патент № 0045600А1 от 24.07.1981 г.
3. **Druminski M., Schlotterer H.** The combination of two growth methods for the epitaxial deposition of silicon films on insulating substrates // Journal of Crystal Growth. 1972. Vol. 17. P. 249—253.

## Секция 12

# БИОМЕДИЦИНСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Председатель секции — к.т.н., доцент М.Н. Крамм

Секретарь секции — к.т.н., доцент Г.В. Жихарева

Д.А. Балакин, асп.; рук. В.В. Штыков, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ ЗАПИСЕЙ ДЫХАНИЯ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Анализ формы и параметров акустических сигналов является неотъемлемой частью процесса обработки шумов дыхания. Обнаружение локальных особенностей и периода их следования является актуальной задачей в обработке сигналов респираторного тракта. Таким образом, появляется возможность построения ритмограммы любых особенностей исследуемого сигнала [1].

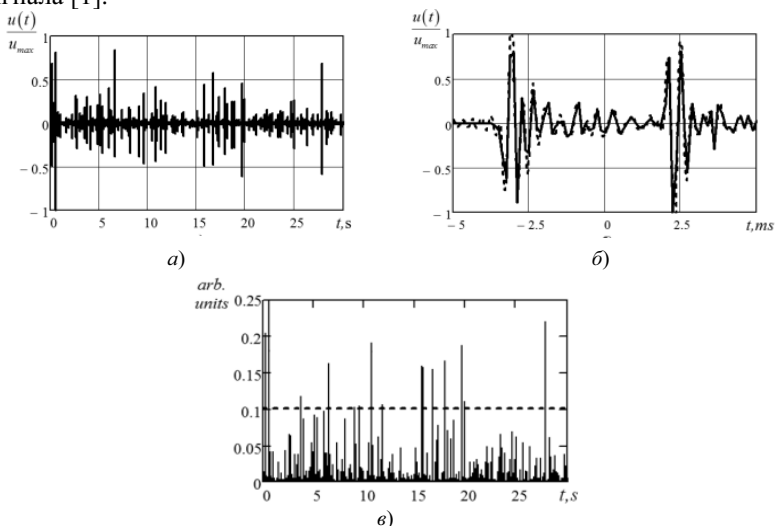


Рис. 1. Результаты обработки акустической записи:

*a* — акустическая запись при спокойном дыхании; *б* — выделенный фрагмент (пунктирная линия) и материнский вейвлет (сплошная линия); *в* — взаимнокорреляционная функция, максимумы которой соответствуют месторасположениям фрагментов в исходной записи, схожих с выделенным

В докладе излагаются основные принципы обработки акустических записей на основе модифицированного алгоритма вейвлет-преобразования [2]. Пример результата обработки представлен на рис. 1. В отличие от общепринятых видов материнских функций в их качестве выступают функции Гаусса—Эрмита [3].

Преимущество разработанного алгоритма состоит в возможности конструирования образчиков сигнала практически любой формы, что повышает точность его обнаружения в исследуемом сигнале. Также при конструировании материнского вейвлета может быть определена резонансная частота выделенного фрагмента, которая тоже может нести важную диагностическую информацию.

### Литература

1. **Balakin D.A., Shtykov V.V.** Processing Breath Sound with the Gauss-Hermite Functions // Proceeding of the 40<sup>th</sup> Annual Conference of the International Lung Sounds Association. 2015. P. 13—14.
2. **Балакин Д.А., Штыков В.В.** Построение ортогонального банка фильтров на основе преобразований Эрмита для обработки сигналов // Журнал радиоэлектроники. 2014. № 9.
3. **Jean-Bernard Martens.** The Hermite Transform — Theory // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing. 1990. Vol. 38. P. 1595—1606.

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ СЕГМЕНТАЦИИ ЭЭГ-СИГНАЛОВ**

Электроэнцефалографическое исследование на данный момент является одним из основных методов исследования деятельности головного мозга человека. Данный метод позволяет проводить диагностику эпилепсии, различных поражений головного мозга, выявить положение опухолей, кист и поврежденных структур. Расшифровка энцефалограммы представляет собой процесс ее интерпретации с учетом клинических симптомов, имеющихся у пациента. Нарушения каждого из ритмов свидетельствует об определенной патологии. Суть различных методов сегментации, представленных в данной работе, заключается в выделении участков энцефалограммы, относящихся к разным ритмам.

В работе исследованы алгоритмы, основанные на методе фиксированных интервалов и на расчете статистики Колмогорова—Смирнова [1]. Реализован алгоритм, основанный на определении фрактальной размерности фиксированных интервалов ЭЭГ-записей [2], и проведен сравнительный анализ работы всех этих алгоритмов.

Понятие фрактальной размерности вводится как индекс, описывающий сложность временной последовательности. Фрактальная размерность определяется напрямую из временной последовательности, без перевода ее в фазовую область. Так как эта размерность описывает сложность кривой, то ее значения варьируются от 1 до 2 (1 — прямая линия, 2 — плоскость). Таким образом, алгоритм сегментации, основанный на расчете фрактальной размерности, сводится к разбиению сигнала на небольшие участки фиксированной длительности, определению на каждом фрактальной размерности и сравнению этих характеристик для соседних участков записи.

При сравнительном анализе алгоритм, основанный на определении фрактальной размерности, показал наилучшие результаты. Единственным недостатком является ограничение точности определения границ сегментов из-за фиксированной длительности интервалов разбиения. Возможным повышением точности является использование разбиения на сегменты, основанного на расчете статистики Колмогорова—Смирнова, в котором в качестве параметра оценивания будет выступать фрактальная размерность.

### **Литература**

1. **Непараметрическая** сегментация электрических сигналов мозга / Б.Е. Бродский, Б.С. Дарховский, А.Я. Каплан, С.Л. Шишкин // Автоматика и телемеханика. 1998. Вып. 2. С. 23—32.
2. **Fractal Dimension of EEG Activity Senses Neuronal Impairment in Acute Stroke** / F. Zappasodi, E. Olejarczyk, L. Marzetti et al. // PLoS ONE 9(6): e100199. doi:10.1371/journal.pone.0100199. 2014.

*А.И. Белоусова, студ.; рук. В.А. Гречихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛА ГЕТЕРОДИННОГО ЛДВ**

В последнее десятилетие развитие систем вибрационной диагностики, являющихся технической основой мониторинга и прогноза функционального состояния организма человека, получило новый импульс. Это связано с новыми возможностями получения диагностической информации. Из-за сложного характера информационного сигнала в рассматриваемых системах и сложных методов его обработки возникает вопрос о методах оптимальной фильтрации диагностических сигналов, полученных с использованием лазерных доплеровских виброметров (ЛДВ).

Проведенный в [1] анализ показал, что в общем случае при условии наблюдения сигнала гетеродинного ЛДВ в смеси с аддитивным гауссовым широкополосным шумом закон распределения индекса частотной модуляции (ЧМ) сигнала, прямо пропорционального амплитуде виброколебаний, оказывается многомодовым. На уровень дополнительных максимумов АПВ существенное влияние оказывают отношение сигнал-шум и время наблюдения, при малых значениях которых вероятность наличия боковых мод оказывается сравнимой с вероятностью основной моды.

В докладе обсуждаются результаты исследования плотности вероятности информационного параметра сигнала ЛДВ и одноконтурной системы слежения за случайно меняющимся индексом ЧМ. С использованием уравнения Стратоновича для трехмодовой модели апостериорной плотности вероятности (АПВ) информационного параметра получено выражение для алгоритма фильтрации в приближении второго порядка. Проведено сравнение с результатами моделирования АПВ, полученными в [2].

### **Литература**

1. Белоусова А.И., Гречихин В.А., Титов Д.А. Закон распределения индекса угловой модуляции сигнала гетеродинного лазерного доплеровского виброметра // Оптические методы исследования потоков: XIII Межд. науч.-техн. конфер. [Электронный ресурс]: труды конференции. М.: НИУ «МЭИ», 2015. С. 241—249.
2. Белоусова А.И., Гречихин В.А. Оптимальная нелинейная фильтрация индекса ЧМ сигнала доплеровской измерительной системы // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцать первая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. В 4 т. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2015.

## **ФИЛЬТРАЦИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА В СВОБОДНО РАСПРОСТРАНЯЕМОМ МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПАКЕТЕ SCILAB В СИСТЕМЕ ВИЗУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ XCOS**

Целью данной работы является повышение достоверности средств обработки кардиографической информации с помощью системы визуального моделирования Xcos свободно распространяемого математического пакета SciLab 5.5.1 [1] и системы ScicosLab 4.4.1 [2], моделирование и визуализация ЭКС для диагностики заболеваний сердца. Системы визуального моделирования Xcos и ScicosLab являются общедоступными альтернативами MatLab Simulink [3].

Рассматривается задача получения качественной информации при анализе электрокардиографического сигнала (ЭКС). Выполняется фильтрация реального одноканального ЭКС, полученного с кардиографического блока, разработанного на кафедре основ радиотехники.

Используются сигналы с помехами двух типов: помеха промышленной частоты 50 Гц и помеха, вызванная учащенным дыханием обследуемого. Фильтрация выполняется с помощью последовательно включенных фильтров нижних и верхних частот (ФНЧ и ФВЧ соответственно).

В настоящей работе построены и протестированы следующие модели для фильтрации ЭКС: Xcos- и ScicosLab-модели фильтров с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ); ScicosLab-модели фильтров с конечной импульсной характеристикой (КИХ).

Использование ScicosLab вызвано тем, что система Xcos не имеет встроенных блоков для выполнения свертки (англ. convolution) отсчетов сигнала с импульсной характеристикой фильтра и для выполнения быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Полученные графики ЭКС и их спектров позволяют наблюдать НЧ- и ВЧ-фильтрацию ЭКС с помощью БИХ- и КИХ-фильтров. Однако после ВЧ-фильтрации с помощью БИХ-фильтра сигнал оказывается искаженным. Поэтому для фильтрации ЭКС рекомендуется использовать КИХ-фильтры.

### **Литература**

1. **SciLab** — The Free Software for Numerical Computation — Scilab WebSite [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scilab.org/>
2. **ScicosLab** [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scicoslab.org/>
3. **MathWorks** — MatLab and Simulink for Technical Computing [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mathworks.com/>



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА СЕРДЦА ДЛЯ ЗАДАЧ ДИАГНОСТИКИ В ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ

С целью возможного повышения чувствительности и специфичности ЭКГ обследований в данной работе рассматривается метод реконструкции эквивалентного электрического генератора сердца (ЭЭГС) дипольного типа, разработанный в НИУ «МЭИ» [1]. В работе проводился сравнительный анализ пространственно-временной динамики параметров ЭЭГС для 51 записи обследуемых без патологий и 332 записей обследуемых с инфарктом миокарда (база *physionet*). Чтобы дать числовую оценку полученным зависимостям, введены и рассчитаны вторичные информационные параметры (ВП). Пример распределения одного из таких параметров представлен на рис. 1.

В ходе работы проведен расчет чувствительности и специфичности параметров, позволяющий определить их информативность. Выявлено, что для трех из шести ВП данные показатели равны или превышают 75 %. В работе определяются диагностические пороги ВП для регистрации наличия патологии у пациентов. Также для диагностики патологий предложен алгоритм на основе мажоритарного метода по вектору ВП [2].

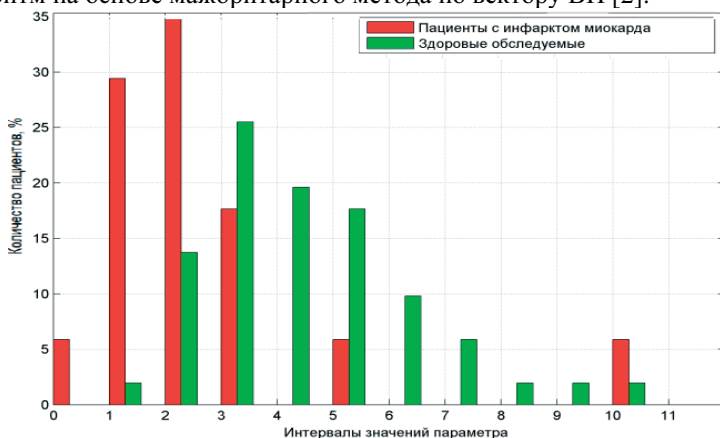


Рис. 1. Распределение параметра  $\beta$  (шаг 1)

### Литература

1. **Реконструкция** токового источника в области миокарда / Д.С. Винокуров, М.Н. Крамм, В.В. Лебедев, Ю.Б. Попов // Медицинская техника. 2008. № 4.
2. **Плис А.И., Сливина Н.А.** MathCAD: математический практикум для экономистов и инженеров: М.: Финансы и статистика, 2003.

*И.Л. Бритвин, студ.; рук. Г.В. Жихарева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ЭКГ-ЭЛЕКТРОДОВ И ОПОРНЫХ МЕТОК ПО ЦИФРОВЫМ ФОТОСНИМКАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА**

С целью повышения точности алгоритма определения позиций электродов для электрокардиографии по цифровым снимкам [1] и сокращения количества необходимых действий оператора при его использовании в работе [2] решалась задача автоматизации определения координат меток ширмы и электродов, которые являются опорными точками для основного алгоритма.

Разрабатываемый на кафедре основ радиотехники НИУ «МЭИ» алгоритм определения позиций электродов базируется на ручном наведении на центры восьми опорных меток ширмы и шести электродов на каждом из двух цифровых фотоснимков стереопары. Данный процесс занимает длительное время, так как при точном наведении курсора на центр каждой метки и электрода возникает необходимость приближения до возможности различения пикселей фотоснимка.

Алгоритм, предложенный в работе [2], имел ряд недостатков: необходимость коррекции фотоснимков в стороннем редакторе изображений, отсутствие фильтрации световых шумов на фотоснимках и работа непосредственно в компиляторе.

В данной работе продолжается разработка алгоритма [2] с одновременной его интеграцией в графический интерфейс с использованием объектно-ориентированного пакета GUIDE. При этом дополнительно реализуются необходимые вспомогательные функции, такие как масштабирование, ограничение зоны поиска, полуавтоматическое и ручное определения координат, наложение найденных координат на фотоснимок, редактирование и сохранение результатов во внешний файл.

### **Литература**

1. **Ходина А.В., Жихарева Г.В.** Определение координат электродов методами эпиполярной геометрии // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. XVIII МНТК студентов и аспирантов: В 3 т. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2012.

2. **Бритвин И.Л., Жихарева Г.В.** Автоматизация определения координат меток ширмы в алгоритме определения позиций электродов для электрокардиографии по цифровым фотоснимкам // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. XXI МНТК студентов и аспирантов: В 4 т. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2015.

## **АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СИСТЕМ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ, ОПИСЫВАЮЩИХ ПОВЕДЕНИЕ НЕЙРОНА**

Современная медицина представляет собой в основном экспериментальную науку с большим эмпирическим опытом воздействия на ход тех или иных болезней различными средствами. Что же касается подробного изучения процессов в биосредах, то их экспериментальное исследование является ограниченным, к тому же требуют проведения большого количества дорогостоящих экспериментов на животных, и наиболее эффективным аппаратом их исследования представляется математическое моделирование.

В данной работе проводится сравнительный анализ динамических режимов [1] в наиболее важных математических моделях [2, 3], описывающих различные аспекты поведения нейрона:

- модель ФитцХью—Нагумо (FHN), которая представляет живой нейрон как возбудимую систему, генерирующую импульс в ответ на внешнее воздействие;
- модель Морриса—Лекара (ML), которая описывает такие свойства живого нейрона, как генерация спайков (последовательность импульсов) и невосприимчивость к внешнему воздействию;
- модель Хиндмарш—Розе (Hindmarsh-Rose), феноменологическая модель динамики мембранного потенциала нейрона.

Используется единая методология исследования свойств указанных моделей нейрона из нелинейной динамики, спектрального, статистического и перколяционного анализов. Такой подход позволяет получить разностороннее описание процессов, проходящих в нейроне, при этом единство методики гарантирует адекватное сравнение динамики этих процессов между собой. Это дает возможность в заключение работы рекомендовать применение рассмотренных моделей в различных областях физиологии.

### **Литература**

1. **Кузнецов С.П.** Динамический хаос. М.: Физматлит, 2001.
2. **Безручко Б.П., Смирнов Д.А.** Математическое моделирование и хаотические временные ряды. Саратов: ГосУНЦ «Колледж», 2005.
3. **Моделирование** и диагностика взаимодействия нелинейных колебательных систем по хаотическим временным рядам (приложения в нейрофизиологии) / Б.П. Безручко, В.И. Пономаренко, М.Д. Прохоров и др. // Успехи физических наук. 2008. Т. 178. № 3.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ О НАЛИЧИИ АРТЕФАКТОВ В РЕАЛИЗАЦИЯХ ФАЗЫ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА, ОТРАЖЕННОГО ОТ ЧЕЛОВЕКА

Большинство биологических сигналов проявляют себя как слабые сигналы в окружении помех различного происхождения. Природа возникновения таких помех может быть связана с особенностями измерительной аппаратуры, условиями съема биомедицинских сигналов, возникновением физиологических шумов. Такие помехи не несут смысла для диагностики, искажают исследуемый сигнал и называются артефактами. Существует ряд методов борьбы с мешающими воздействиями, однако нет универсального способа исключить из сигнала нежелательные компоненты.

Один из бесконтактных методов диагностики связан с исследованием фазы радиолокационного сигнала, отраженного от человека [1]. Радиолокационный комплекс чувствителен к перемещениям длиной несколько микрометров в зоне облучаемой площадки. Однако любое перемещение, не несущее диагностического смысла, внесет свой вклад в формирование фазы отраженного сигнала. Чаще всего артефакты в отраженном сигнале представляют собой высокоамплитудные скачки фазы. Спектры полезного сигнала и артефактов перекрываются в частотной области, поэтому линейная фильтрация оказывается неэффективна.

В работе [2] предложен алгоритм фильтрации артефактов в сигнале системы, осуществляющей диагностику состояния человека бесконтактным методом. Исходный сигнал разделяется на равные части, оценивается СКО каждой реализации. Если СКО отдельной реализации больше некоторого порога, эта реализация исключается. Разработанный алгоритм позволяет исключать высокоамплитудные скачки фазы отраженного сигнала, не прибегая к фильтрации в частотной области, однако критерий, по которому можно было бы автоматически определить максимально допустимый порог СКО, отсутствует. Разработанный метод поиска порога СКО на основе проверки статистических гипотез об однородности закона распределения СКО реализаций с псевдослучайной последовательностью, подчиняющейся нормальному закону распределения, устраняет этот недостаток.

### Литература

1. **Федоров В.А.** Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. **Dugin A.D., Fedorov V.A.** Development of the Filtration Method of Artifacts in Medical Measurement Technique // SPITSE Symposium. St. Petersburg. 2015.

*К.Н. Елизарова, студ.; рук. Г.В. Жихарева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРДЦА С ПОМОЩЬЮ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ**

Математическое моделирование биоэлектрических процессов в сердце и их проявления в виде электромагнитного поля является неотъемлемой частью современной электрокардиологии. Применение этих моделей позволяет исследовать особенности распространения возбуждения в отдельных частях сердца и во всем сердце. Электрофизиологические модели, основанные на параметрах упрощенного описания процесса возбуждения сердечной мышцы и распространения волны возбуждения, могут давать хорошие результаты.

В работе реализованы и исследованы четыре наиболее известные модели, основанные на решении дифференциальных уравнений: модель Ходжкина—Хаксли [1, 2] — первая появившаяся модель, разработана на основе экспериментов с аксоном гигантского кальмара, лежит в основе всех остальных моделей, а также модели Нобла [2], ФитцХью—Нагумо и Алиева—Панфилова [3, 4].

Наиболее подробной моделью является модель Ходжкина—Хаксли, но она несколько громоздка и сложна для анализа. Упрощенный вариант модели Ходжкина—Хаксли — модель Нобла, но она описывает точечную систему и не описывает распространение возбуждения по проводящей ткани. Удобными и дающими решения, приближенные к реальным импульсам, являются модели ФитцХью—Нагумо и Алиева—Панфилова. Последняя более сложная, но более точно описывает потенциал действия в сердечной мышце. Таким образом, для описания процессов в миокарде наиболее подходит модель Алиева—Панфилова.

Материал настоящей работы используется в учебном процессе на практических занятиях по теме «Модели распространения волн в возбудимых средах» в рамках курса «Математическое моделирование биологических процессов и систем».

### **Литература**

1. **Hodgkin A.L., Huxley A.F.** A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve // *J. Physiol.* 1952. Vol. 17. P. 500—544.
2. **Ризиченко Г.Ю.** Математическая биология [Электронный ресурс]. URL: <http://mathbio.ru/lectures>
3. **Павельчак И.А.** Численные методы определения параметров в моделях Фитц Хью—Нагумо и Алиева—Панфилова // *Вычислительные методы и программирование.* 2012. Т. 13. С. 172—176.
4. **Алиев Р.Р.** Компьютерное моделирование электрической активности сердца // *Успехи физиологических наук.* 2010. Т. 41. № 3. С. 44—63.

*Я.Э. Ефименко, студ.; рук. Н.О. Стрелков, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **ФИЛЬТРАЦИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА В СВОБОДНО РАСПРОСТРАНЯЕМОМ МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПАКЕТЕ SCILAB НА ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ SCILAB**

Целью данной работы является повышение достоверности средств обработки кардиографической информации с помощью свободно распространяемого математического пакета SciLab 5.5.1 [1], моделирование и визуализация ЭКС для диагностики заболеваний сердца. SciLab — это пакет прикладных математических программ, предоставляющий открытое окружение для инженерных и научных расчетов. Это самая полная общедоступная альтернатива MatLab [2].

Рассматривается задача получения качественной информации при анализе электрокардиографического сигнала (ЭКС). В настоящей работе выполняется фильтрация реального одноканального ЭКС, полученного с кардиографического блока, разработанного на кафедре основ радиотехники.

Используются сигналы с помехами двух типов: помеха промышленной частоты 50 Гц и помеха, вызванная учащенным дыханием обследуемого. Фильтрация выполняется с помощью последовательно включенных фильтров нижних и верхних частот (ФНЧ и ФВЧ соответственно).

В настоящей работе написаны и протестированы следующие программы на языке SciLab:

1) программа для фильтрации ЭКС с помощью ФНЧ и ФВЧ с бесконечной и конечной импульсными характеристиками (БИХ и КИХ соответственно);

2) программа для построения графиков исходных ЭКС и их спектров с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ), амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) фильтров, отфильтрованных с помощью фильтров ЭКС и их спектров для различных порядков фильтров.

Полученные графики ЭКС и их спектров позволяют наблюдать НЧ- и ВЧ-фильтрацию ЭКС с помощью БИХ- и КИХ-фильтров. Однако после ВЧ-фильтрации с помощью БИХ-фильтра сигнал оказывается искаженным. Поэтому для фильтрации ЭКС рекомендуется использовать КИХ-фильтры.

### **Литература**

1. **Scilab** — The Free Software for Numerical Computation — Scilab WebSite [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scilab.org/>

2. **MathWorks** — MatLab and Simulink for Technical Computing [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mathworks.com/>

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЭКГ-СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

При разработке алгоритмов ранней диагностики болезней сердца возникает необходимость их апробации и исследования. Для этого нужны испытательные электрокардиографические сигналы. В настоящей работе представлены результаты моделирования таких сигналов.

Для описания автоволновых процессов в сердце используются клеточные автоматы [1]. При моделировании электрокардиографических сигналов каждый клеточный автомат, находящийся в фазах, когда активно протекают мембранные токи, представляется точечным токовым диполем. Точечный токовый диполь характеризуется шестью параметрами: тремя координатами своего пространственного положения ( $x_d, y_d, z_d$ ), величиной вектора дипольного момента  $M_d$  и углами пространственной ориентации вектора дипольного момента  $\theta_d$  и  $\varphi_d$ . Чтобы найти электрический потенциал, создаваемый всеми клеточными автоматами в текущий момент времени, необходимо просуммировать потенциалы, создаваемые отдельными клеточными автоматами — диполями. При этом вектор  $M_d$  для каждого автомата считается направленным из точки с координатами ( $x_d, y_d, z_d$ ) по нормали к сферической поверхности модели сердца, а величина дипольного момента  $M_d$  задается в зависимости от принадлежности клеточного автомата предсердиям или желудочкам. Результаты моделирования ЭКГ-сигнала во втором стандартном отведении представлены на рис. 1.

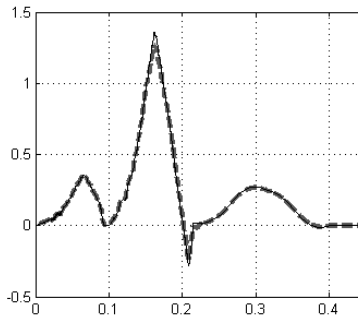


Рис. 1. ЭКГ-сигнал второго стандартного отведения в норме (сплошная линия) и при наличии ишемической области, диаметром 2 см (пунктирная линия)

### Литература

1. Куприянова Я.А., Жихарева Г.В. Алгоритм определения состояний клеточных автоматов при моделировании электрической работы сердца // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. XXI МНТК студентов и аспирантов: В 4 т. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2015.

## ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛОВ

Использование вейвлет-анализа является перспективным направлением при обработке электрокардиосигналов (ЭКС), поскольку позволяет оценивать и сравнивать вклад различных временных масштабов на различных участках записи ЭКГ [1]. В данной работе предлагается проанализировать диагностические возможности вейвлет-анализа ЭКС, в частности для выявления заболеваний миокарда.

Если сопоставить детально рис. 1, *а* и 1, *б*, то ключевые различия в параметрах соответствующих электрокардиограмм с точки зрения диагностики инфаркта заключаются в более крупном Т-зубце и сместившемся вниз ST сегменте на ЭКГ с инфарктом (рис. 1, *б*) по сравнению с нормой (рис. 1, *а*).

Вейвлет-спектры здорового и больного пациентов имеют качественно разные структуры нулевых изолиний [2]. В ходе работы были проанализированы вейвлет-спектры записей с инфарктом и ишемией миокарда и записей без патологий из европейской базы Physionet и базы записей кафедр основ радиотехники МЭИ.

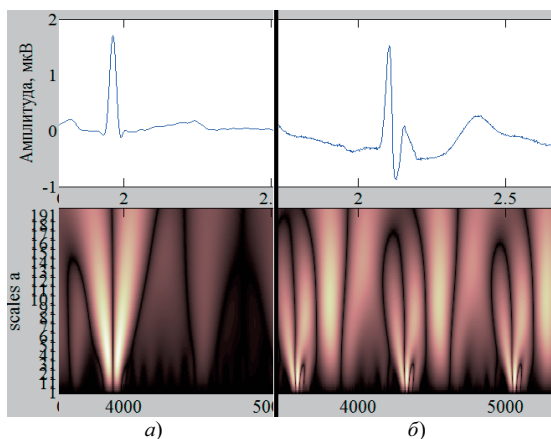


Рис. 1. График ЭКГ и его вейвлет-спектр для пациента без патологий (*а*) и для пациента с инфарктом (*б*)

### Литература

1. Рангайян Р.М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход. М.: Физматлит, 2010.
2. Романец И.А., Атопков В.А., Гурия Г.Т. Топологические основы классификации электрокардиограмм // Компьютерные исследования и моделирование. 2012. Т. 4. № 4.



*Д.В. Леонов, асп.; рук-ли В.А. Гречихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);  
В.А. Фин, с.н.с., к.т.н. (НИИТП, Москва); Н.С. Кульберг, к.ф.-м.н.  
(ГБУЗ «НПЦМР ДЗМ», Москва)*

## **РЕЖИМ ЦВЕТОВОГО ДОПЛЕРОВСКОГО КАРТИРОВАНИЯ**

Подканал цветового доплеровского картирования (ЦДК) является частью доплеровского тракта ультразвукового медицинского диагностического устройства (УЗМДУ). Сигнал на вход тракта поступает с выхода УЗ датчика. В самом тракте для разделения на квадратурные каналы используется преобразование Гильберта. Затем идет схема выборки и запоминания, она позволяет уменьшить частоту взятия отсчетов и таким образом сократить нагрузку на систему цифровой обработки. Дальнейшая обработка зависит от доплеровского режима УЗМДУ.

В современных УЗМДУ чаще всего используются режимы спектрального доплера (СД), цветового доплеровского картирования (ЦДК), энергетического доплеровского картирования (ЭДК) [1].

Сущность режимов доплеровского картирования состоит в возможности визуализации всех движущихся объектов в организме в режиме реального времени. В режиме ЦДК на экране отображается закодированный цветом усредненный сдвиг доплеровского спектра частот, причем кровоток, движущийся к датчику, вносит положительный сдвиг, его принято отображать красным, а от датчика — синим цветом [2].

Сигнал на входе доплеровского тракта содержит информацию как о кровотоке, так и о колебаниях стенок сосудов и прочие помехи. Поэтому при анализе доплеровского сигнала очень важны вопросы фильтрации медленно движущихся объектов. Рассматриваются фильтры, основанные на ДПФ и на полиномиальной аппроксимации.

Особое место в докладе уделяется результатам обработки реальных массивов доплеровских данных оригинальными алгоритмами подканала ЦДК доплеровского тракта УЗМДУ. Рассматриваются вопросы выбора палитры при цветовом кодировании. Сравняется эффективность работы различных вариантов реализации фильтра колебаний стенок сосудов [3] и даются рекомендации по выбору его параметров.

### **Литература**

1. **Осипов Л.В.** Ультразвуковые диагностические приборы. Режимы, методы и технологии. М.: Изомед, 2011. 316 с.

2. **Kremkau F.W.** Doppler Ultrasound: Principles and Instruments. Philadelphia, PA: W.B. Saunders Company, 1990. 298 p.

3 **Вопросы** выбора ФВЧ для режима непрерывно-волнового доплера / Е.М. Понкратова, Д.В. Леонов, Е.В. Шалимова, В.А. Фин // Радиозлектроника, электротехника и энергетика: XXI Междунар. науч.-техн. конф. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. С. 230.

*Е.П. Маралкина, студ.; рук-ли: Е.В. Шалимова, к.т.н., доц.; Д.В. Леонов, асп. (НИУ «МЭИ»); В.А. Фин, с.н.с., к.т.н. (НИИТП, Москва)*

## **РАССМОТРЕНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ПВОС В СИСТЕМАХ ЗВУКОВИДЕНИЯ И РАДИОВИДЕНИЯ**

К основным системам радиовидения (РВ) относятся радиолокаторы с синтезированием апертуры антенны (РСА). К основным системам звуковидения (ЗВ) относятся: ультразвуковые медицинские диагностические устройства (УЗМДУ), подсистемы ультразвуковой визуализации терапевтических устройств, ультразвуковые дефектоскопы, гидролокаторы.

Системы РВ и ЗВ работают в различных частотных диапазонах. Однако их укрупненные структурные схемы практически идентичны [1]. Можно установить взаимно-однозначное соответствие между объектами и операциями в системах РВ и ЗВ.

Алгоритмы синтеза локационных изображений основаны на когерентном суммировании отсчетов эхосигналов. В настоящее время в системах ЗВ вместо классического алгоритма синтеза апертуры, используемого в РСА, стали использовать алгоритмы фокусировки заранее зарегистрированных в ОЗУ отсчетов голограммы в каждую внутреннюю точку области изображения; отсчеты берутся из ячеек ОЗУ вдоль «дрейфа дальности».

Проведено оригинальное исследование, которое является логическим продолжением проделанной ранее работы [2], но акцент делается на совместное рассмотрение пространственно-временной обработки сигналов (ПВОС) в системах ЗВ и РВ.

В докладе обсуждается ряд вопросов, связанных с назначением ПВОС, ее использованием в системах ЗВ и РВ. Приводится алгоритм ПВОС, рассматривается принцип построения ультразвуковых изображений. Также излагаются некоторые особенности реализации алгоритмов ПВОС в УЗМДУ, обосновывается эквивалентность процедур ПВОС в РСА и УЗМДУ. Проводится моделирование ПОС в ПКМ MatLab. Анализируется MatLab-модель визуализации поля распределения амплитуд во всех точках УЗ изображения.

Проведенное исследование подтверждает возможность совместной разработки систем ЗВ и РВ на этапе составления алгоритмов ПВОС.

### **Литература**

1. **Фин В.А., Леонов Д.В., Гукасов В.М.** Вопросы совместной разработки систем радиовидения и звуковидения // Инноватика и экспертиза. Научные труды ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. 2015. № 1. С. 28—34.
2. **Леонов Д.В., Фин В.А., Скачков В.Л.** Реализация пространственно-временной обработки сигналов (ПВОС) на ПЛИС // Радиозлектроника, электротехника и энергетика: XIX Международная науч.-техн. конф. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2013. С. 10.

## РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА СИГНАЛА НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Задача создания стабильного генератора низких частот с высоким разрешением по частоте является многопрофильной. Частным случаем является медицинское применение. Настоящая работа является актуальной, поскольку такой генератор может быть применен для возбуждения мелких частиц, таких как микрокальцинаты при ранней диагностике рака молочной железы (РМЖ), благодаря которой заболевание может быть обнаружено и вылечено своевременно.

Генератор для возбуждения микрокальцинатов должен работать в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц. Поиск микрокальцинатов основывается на том, что каждый микрокальцинат обладает своей резонансной частотой из-за различия размеров и сил сцепления.

Для последовательного нахождения резонансных частот (и самих микрокальцинатов) генератор должен иметь возможность ступенчатого изменения частоты. Такой генератор называется генератором ступенчато изменяющейся частоты (ГСИЧ). Была разработана следующая структурная схема ГСИЧ на основе фазового аккумулятора [1] (рис. 1).

Генератор реализован по предложенной концепции в среде программы Xilinx ISE Design Suite [2] на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) Spartan-3A DSP. Подобран альтернативный вариант для реализации концепции с использованием микропроцессора.

Этот генератор предназначен для предложенной автором схемы комплекса акустической резонансной визуализации.

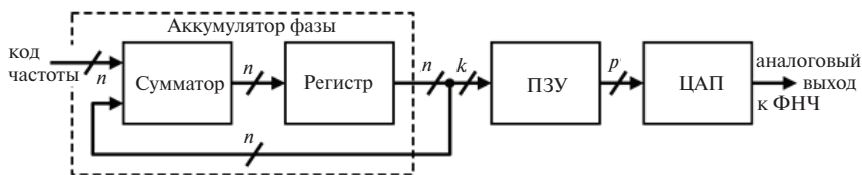


Рис. 1. Структурная схема ГСИЧ

### Литература

1. Ридико Л.И. DDS: прямой цифровой синтез частот // Компоненты и технологии. 2001. № 7.
2. ISE Design Suite [Электронный ресурс]. URL: <http://www.xilinx.com/products/design-tools/ise-design-suite.html>

## АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ РАСЧЕТА ПОТЕНЦИАЛА НА ПОВЕРХНОСТИ ПРОВОДЯЩЕГО ТЕЛА МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Актуальной является задача реконструкции поверхностных источников в миокарде по измеренным ЭКГ-сигналам, создаваемым этими источниками на поверхности тела. Для корректной работы метода необходимо провести исследования погрешности решения прямой задачи электрокардиографии. В рамках метода граничных элементов на основании записи двух интегральных уравнений для точки наблюдения на торсе и эпикарде осуществляется переход к системе линейных алгебраических уравнений [1]. Торс моделируется круговым цилиндром, а миокард — сферой. Для сравнения потенциалы рассчитывались по аналитическим формулам с использованием двойных рядов с функциями Бесселя [2]. В качестве модельного источника, создающего поверхностные потенциалы, рассматривается диполь, расположенный внутри сферы миокарда. На рис. 1 приведены зависимости погрешности от числа разбиений для разных случаев. Показано, что учет производной потенциала на сфере (with  $\Delta\varphi$ ) оказывает сильное влияние на погрешность. Учет влияния суммирования по торсу (with B) позволяет снизить погрешность с 14 до 7 %

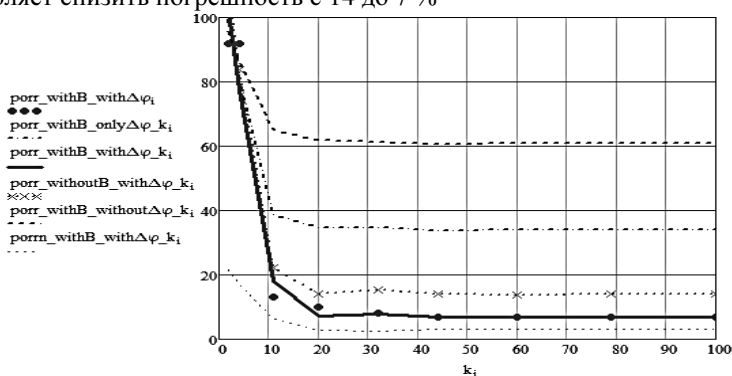


Рис. 1. Зависимость погрешности от числа разбиений

### Литература

1. Программно-аппаратный комплекс для неинвазивного электрофизиологического исследования сердца на основе решения обратной задачи электрокардиографии / Л.А. Бокерия и др. // Медицинская техника. 2008. № 6. С. 1—7.
2. Крамм М.Н., Стрелков Н.О., Сушок М.В. Погрешности реконструкции параметров токового диполя сердца для неоднородной модели торса человека в виде кругового цилиндра // Журнал радиоэлектроники. 2012. № 12.

*Н.А. Пурденко, студ.; рук-ли В.А. Фин, с.н.с., к.т.н. (НИИТП, Москва);  
Д.В. Леонов, асп. (НИУ «МЭИ»); Н.С. Кульберг, к.ф.-м.н.  
(ГБУЗ «НПЦМР ДЗМ», Москва)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ РЕЗОНАНСНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ РАННЕЙ (ДОКЛИНИЧЕСКОЙ) ДИАГНОСТИКИ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ**

Как известно, микрокальцинаты (МК) являются основными предвестниками рака молочной железы (РМЖ). Визуализация МК затруднена из-за их очень малых размеров (10–500 мкм) и маскируемости шумами и паразитными сигналами на ультразвуковых изображениях. Перспективным инструментом для их обнаружения является метод акустической резонансной визуализации (АРВ) [1]. В нем предлагается вызвать резонансные колебания МК за счет облучения НЧ-сигналом (50–500 Гц). Эти колебания в принципе можно улавливать посредством доплеровских измерений, выполняемых стандартным ультразвуковым медицинским диагностическим устройством.

В докладе приводятся результаты экспериментального исследования, целью которого является проверка применимости метода АРВ для ранней (доклинической) диагностики РМЖ для реальной биологической среды, характеризующейся неоднородностью. Большое внимание уделяется вопросам изготовления фантомов МЖ с МК. Очень важно, чтобы фантом предельно точно воспроизводил характеристики тканей МЖ, поскольку они сильно влияют на резонансную частоту МК.

В простом желатиновом фантоме [2] МК оказались видны и без доплеровских режимов, это позволило дать первичную оценку возможности обнаружения неоднородностей методом АРВ. Были изготовлены фантомы, более близкие к неоднородным тканям человека. Эксперименты подтвердили возможность обнаружения МК.

Материал может быть интересен как маммологам, так и разработчикам ультразвуковых диагностических систем.

### **Литература**

1. **Chandra Seghal.** Apparatus for imaging an element within a tissue and method therefor. United States Patent № 5,997,477. 1999.
2. **Microcalcifications** in Breast Tissue Phantoms Visualized with Acoustic Resonance Coupled with Power Doppler US: Initial Observations / Chandra Seghal et al.// Radiology. July 2002. P. 265—269.

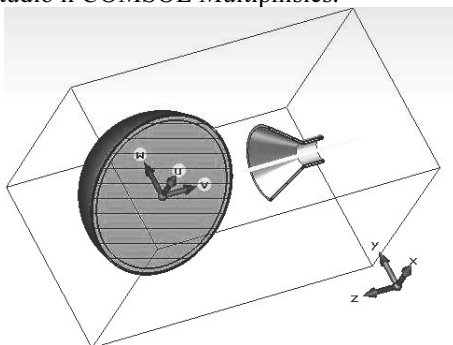
*К.С. Селиванова, студ.; рук. А.А. Курушин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ**

Электромагнитное (ЭМ) излучение различных частотных диапазонов широко используется в современных медицинских технологиях [1]. Одной из таких актуальных технологий является СВЧ-нагрев биологических тканей, получивший распространение в лечении онкологических заболеваний [2].

Для подведения ЭМ-излучения к пораженной ткани применяются различные микроволновые аппликаторы: контактные, интерстициальные, внутрисполостные. Широкое распространение для систем контактной гипертермии получили аппликаторы на цилиндрических и прямоугольных волноводах, а также микрополосковые и щелевые антенны.

Решение этих задач связано с детальным изучением процессов взаимодействия ЭМ-волн с биологическими тканями и температурными распределениями, поиском новых конструкционных решений и оптимизацией микроволновых аппликаторов. В данной работе получены распределения температуры в простейшей трехслойной модели головы человека, облучаемой антенной-аппликатором (рис. 1). Расчет проведен в двух программах: CST Microwave Studio и COMSOL Multiphysics.



**Рис. 1. Простейшая трехслойная модель головы, облучаемая антенной-аппликатором (CST Microwave)**

### **Литература**

1. **Курушин А.А.** Школа проектирования СВЧ-устройств в CSTSTUDIOSUITE. М.: One-Book, 2014.
2. **Веснин С.Г., Седанкин М.К.** Математическое моделирование собственного излучения тканей человека в микроволновом диапазоне // Биомедицинская радиоэлектроника. 2010. № 8.

Е.С. Хайрулина, студ. (НИУ «МЭИ»);  
рук. А.В. Дудко, к.п.н., доц. (ОГУ, г. Оренбург)

## РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПО УСТРАНЕНИЮ ДЕФЕКТОВ РЕЧИ

В настоящее время проблемы диагностики и коррекции речевых нарушений чрезвычайно актуальны. Поэтому важной задачей современной логопедической педагогики является повышение эффективности процесса коррекции речевого развития у детей. Применение компьютерной техники позволяет оптимизировать педагогический процесс, индивидуализировать обучение детей с нарушениями развития и значительно повысить эффективность любой деятельности. Компьютерные технологии принадлежат к числу эффективных средств обучения, применяемых в логопедической работе.

При создании интерактивной обучающей системы были исследованы биотехнические системы (БТС) устранения дефектов речи (рис. 1). На основе БТС устранения дефектов речи спроектирована и реализована на языке программирования Delphi 7 интерактивная обучающая программа по устранению дефектов речи «Учимся говорить правильно».

Программа предназначена для развития речи путем исправления дефектов в произношении трудных, проблемных звуков. Ребенок в игровой форме учится выговаривать проблемные согласные и гласные звуки, узнает множество веселых скороговорок, забавных игр, поучительных пословиц и поговорок, разучивание которых, помимо отработки нужного звука, помогает развивать дикцию и память. В проекте содержится игра «Угадайка», которая помогает развивать неречевой (звуки природы, бытовых шумов и т. д.) и фонематический (звуки речи) слух. Также в проекте присутствует комплекс упражнений, необходимых для постановки звуков.

Среди достоинств программы следует отметить и то, что она является комбинированной: и обучающей, и тренировочной, и контролирующей. В настоящий момент программа имеет положительный отзыв врача-логопеда и проходит тестирование в частной клинике «Цена Качества» г. Орска.

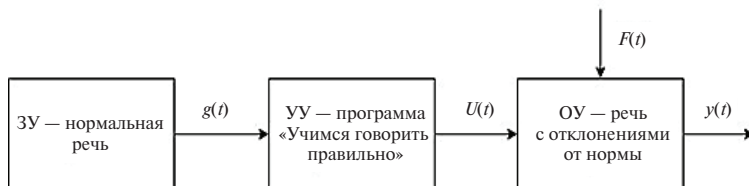


Рис. 1. Функциональная БТС устранения дефектов речи:

ЗУ — задающее устройство; УУ — управляющее устройство; ОУ — объект управления;  $g(t)$  — устранение дефектов речи;  $U(t)$  — упражнения;  $F(t)$  — внешняя среда;  $y(t)$  — правильная речь

Д.А. Хромов, студ. (НИУ «МЭИ»);  
рук. М.К. Седанкин, к.т.н., доц. (ООО «Фирма РЭС», Москва)

## МИКРОВОЛНОВАЯ РАДИОТЕРМОМЕТРИЯ ВЕЗИКОУРЕТЕРАЛЬНОГО РЕФЛЮКСА

Сегодня существует проблема диагностики везикоуретерального рефлюкса (ВУР), который является потенциально опасным заболеванием, связанным с недоразвитием или отсутствием клапанного механизма, отделяющего мочеточник от мочевого пузыря. Вследствие этого возможен обратный заброс мочи в почки из мочевого пузыря. Из-за сочетания ВУР с инфекциями мочевыводящих путей высоки шансы появления рубцов почек у детей, что является фактором повреждения почек. По оценкам ВУР с инфекцией мочевыводящих путей встречается у 30 % населения [1]. Хотя 2,5 млн новых случаев заболевания ВУР диагностируются ежегодно, многие случаи остаются незамеченными из-за нежелания врачей обследовать детей от рождения до 5 лет [1]. Наиболее распространенные методы диагностики ВУР: цистоуретрография и радионуклидная цистограмма. Оба метода сопряжены со значительными травмами для детей, так как требуется катетеризации мочеиспускательного канала и применение ионизирующего излучения.

Микроволновую радиотермометрию можно рассматривать как перспективный альтернативный метод выявления ВУР. Для этого в рамках работы проводится «адаптация» РТМ-технологии для выявления ВУР, что сопряжено с необходимостью разработки микроволнового прибора с новой конструкцией антенны, способной принимать микроволновое излучение почек в диапазоне 3,4—4,2 ГГц. Следовательно, центральной задачей работы является именно создание новой конструкции антенны. Для решения данной задачи проводится математическое моделирование электрического поля волноводной антенны в ближней зоне с помощью численного решения уравнений Максвелла в пакетах программ электродинамического и теплового моделирования по методике, представленной в [2]. Создана математическая модель радиотермометрии многослойной структуры тела на проекции почек. С помощью средств математического моделирования выполняется анализ разработанной антенны с целью выбора оптимальной конструкции.

### Литература

1. **Microwave radiometry for non-invasive detection of vesicoureteral reflux (VUR) following bladder warming / Stauffer P. [et al.] // SPIE Press. 2011. Vol. 7901. P. 1—18.**
2. **Веснин С.Г., Седанкин М.К., Пашкова Н.А.** Математическое моделирование собственного излучения головного мозга человека в микроволновом диапазоне // Биомедицинская радиоэлектроника. 2015. Вып. 3. С. 17—32.



*М.В. Хромых, студ.; рук. М.Н. Крамм, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛОВ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА СЕРДЦА**

Наиболее часто встречающейся помехой в биомедицинских сигналах при измерениях в кардиологии является сетевая наводка с частотой 50 Гц.

В данной работе рассматривалась программная реализации подавления сетевой помехи двумя различными способами. Работа первого метода основывалась на использовании КИХ-фильтра. Фильтр синтезирован с помощью метода наилучшей равномерной (чебышевской) аппроксимации. Чтобы обеспечить достаточно узкую полосу фильтрации и крутой спад АЧХ, был спроектирован КИХ-фильтр порядка 1492. Величина ослабления на частоте помехи равна 40 дБ. Во втором методе фильтрация сетевой помехи проводится вычитанием сигнала помехи, который был найден по формулам для гармоник ряда Фурье. Сначала находятся коэффициенты  $a_n$  и  $b_n$  для составляющей с частотой 50 Гц, затем по ним рассчитываются модуль и фаза сигнала помехи и проводится вычитание сигнала помехи из исходного сигнала. Для сигнала длительностью 5 мин расчет проводился в окрестности гармоник с номером 7500 [1].

Алгоритмы были представлены в виде файлов-функций для реализации независимых и изолированных модулей. Для проверки работы алгоритмов подавления сетевой помехи были разработаны тестовые программы, в которых осуществляется считывание многоканального ЭКГ-сигнала, вызов файлов-функций и графическое отображение результатов, включая спектральную плотность отфильтрованного сигнала [2].

В данной работе перечисленные методы подавления сетевой помехи оценивались по временным затратам для кардиосигналов с различной длительностью (30 с; 1,5 и 10 мин). Второй метод почти не уступает первому по ресурсоемкости, однако результаты фильтрации этого метода более точные, без искажения полезного сигнала.

### **Литература**

1. **Афшар Э., Крамм М.Н., Лебедев В.В.** Выделение и анализ низкоамплитудных высокочастотных составляющих кардиосигналов // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. XVII МНТК студ. и асп. М.: Издательский дом МЭИ, 2011.

2. **Хромых М.В., Крамм М.Н.** Разработка пакета программ для предварительной обработки многоканальных кардиосигналов // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. XXI МНТК студ. и асп. Т.1. М.: Издательский дом МЭИ, 2014.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА И РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ НА РЕКОНСТРУКЦИЮ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКВИВАЛЕНТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА СЕРДЦА

В ходе исследования различных систем многоканальных электродных отведений с целью снижения относительной ошибки реконструкции эквивалентного электрического генератора сердца (ЭЭГС) [1] и минимизации количества используемых электродов появляется проблема автоматизированной оценки качества электродных систем. Для того чтобы решить эту проблему, были предприняты следующие шаги.

1. Для оценки качества параметров ЭЭГС, полученных в результате реконструкции, были введены три оценки качества: а) устойчивость полученных координат ЭЭГС (среднеквадратическое значение смещения ЭЭГС в соседние моменты времени); б) среднеквадратическая невязка между измеренными кардиосигналами и кардиосигналами ЭЭГС; в) нормированная ошибка (невязка) в моменты R-пика, T-зубца и посередине между ними (для диагностики важны именно эти моменты времени [2]).

2. На основе вышеперечисленных параметров выбиралась лучшая система среди систем с одинаковым количеством электродов.

3. Увеличивалось количество электродов в системах с выбором лучших среди получившихся систем.

4. Для различных записей выбирались электроды, которые заметно улучшают оцениваемые параметры, а значит, и результаты реконструкции.

В табл. 1 представлены типичные значения оцениваемых параметров и обозначения добавляемых электродов.

Таблица 1

Электрод	D75	D105	U240	D240	U180	U120	D120	D180
Нормальная ошибка	4%	4%	5%	7%	8%	9%	9%	10%
Устойчивость, мм	9,6	8,0	6,6	5,3	4,2	3,9	4,0	3,9
Невязка, мкВ	12	17	27	31	35	36	36	36

### Литература

1. **Реконструкция** токового источника в области миокарда / Д.С. Винокуров, М.Н. Крамм, В.В. Лебедев, Ю.Б. Попов // Медицинская техника. 2008. № 4. С. 7—11.

2. **Черников А. И., Крамм М.Н.** Система электродов на базе 12 ОП для реконструкции дипольного источника электрической активности сердца // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. XX МНТК студ. и асп. В 3 т. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2014.

## **РАЗРАБОТКА БАНКА ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ЭЭГ**

В настоящее время исследование биоэлектрической активности головного мозга в виде традиционной энцефалографии с 20 отведениями до настоящего времени остается информативным и относительно дешевым источником получения информации и диагностики функционального состояния центральной нервной системы (ЦНС) [1]. Однако, несмотря на многолетнюю историю и опыт в анализе, проблема корректной трактовки результатов, а в особенности результатов электроэнцефалографических исследований (ЭЭГ), является весьма актуальной в настоящее время. Порой возникают ситуации, когда один и тот же участок ЭЭГ трактуется по-разному различными специалистами.

Современной задачей анализа сигналов ЭЭГ служит разделение и последующая обработка различных ритмов и патологических паттернов посредством цифровой записи и последующей обработкой сигнала ЭЭГ цифровыми фильтрами [2].

В докладе обсуждаются природа и основные параметры как стандартных ритмов биоэлектрической активности мозга, соответствующих норме, так и активности, вызванные различными патологиями. Приводятся результаты расчета и моделирования банка цифровых фильтров для выделения конкретных ритмов или паттернов в целях дальнейшей обработки полученной информации.

### **Литература**

1. **Сереженко Н.П.** Научное обоснование выбора оптимального математического обеспечения для анализа биоэлектрической активности мозга в норме и патологии: Дис. ... канд. мед. наук. Воронеж, 2009. 157 с.
2. **Современные** методы анализа ЭЭГ: фрактальный, вейвлет-анализ, распознавание образов: монография / С.Н. Семенов, И.Э. Есауленко, Н.П. Сереженко. Saarbrücken, Lambert Academic Publishing, 2010. 146 с.

*К.Г. Шахаев, студ.; рук. Н.О. Стрелков, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВОБОДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИЙ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ ДЛЯ ЗАДАЧ РЕКОНСТРУКЦИИ ПАРАМЕТРОВ ДИПОЛЬНОГО ИСТОЧНИКА СЕРДЦА**

Рассматривается задача реконструкции координат и вектора момента эквивалентного дипольного источника миокарда (ДИ) по известным потенциалам, снимаемым с поверхности грудной клетки в точках расположения электродов с известными координатами. Алгоритм реконструкции базируется на предположении об однородности и неограниченности среды, в которой расположен ДИ [1]. Для реализации алгоритма реконструкции был исследован и апробирован продукт в виде библиотеки для языка программирования C/C++ `levmar` [2].

Целью данной работы является тестирование реализации нелинейного метода наименьших квадратов (`levmar`) при изменении параметров дипольного источника и других параметров.

В настоящей работе проводится исследование построенного в [1] алгоритма реконструкции с помощью библиотеки `levmar`. Проведены следующие эксперименты:

1) при различном количестве электродов исследована реконструкция неподвижного диполя и реконструкция диполя, движущегося в области сердца;

2) при различном количестве электродов проведена реконструкция неподвижного и движущегося диполя в случае, когда потенциалы электродов имеют шумовую составляющую, распределенную по нормальному закону, что моделирует реальные задачи кардиографии;

3) при различном количестве электродов проведена реконструкция неподвижного диполя в случае, когда координаты расположения диполя имеют шумовую составляющую, распределенную по нормальному закону.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о перспективности использования библиотеки `levmar` для реконструкции параметров ДИ.

### **Литература**

1. **Стрелков Н.О.** Разработка алгоритмов реконструкции дипольных источников в проводящих телах по поверхностным электрическим потенциалам: Дис. ... канд. техн. наук. М., МЭИ, 2013.

2. **Manolis** Lourakis at the Institute of Computer Science of the Foundation for Research and Technology — Hellas (FORTH) — `levmar`: Levenberg-Marquardt nonlinear least squares algorithms in C/C++ [Электронный ресурс]. URL: <http://users.ics.forth.gr/~lourakis/levmar/> (дата обращения 5 октября 2014 г.).

**Направление**  
**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Научный руководитель направления —

директор АВТИ, д.т.н.,  
профессор В.П. Лунин



## Секция 13

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Председатель секции — к.т.н., доцент В.С. Зубов  
Секретарь секции — к.ф.-м.н., доцент А.Е. Вестфальский

*И.В. Гребенщиков, студ.; рук. А.В. Перескоков, к.ф.-м.н., доц.  
(НИУ «МЭИ»)*

## АСИМПТОТИКА СПЕКТРА ВБЛИЗИ ВЕРХНИХ ГРАНИЦ СПЕКТРАЛЬНЫХ КЛАСТЕРОВ ДЛЯ РЕЗОНАНСНОГО ОСЦИЛЛЯТОРА, ВОЗМУЩЕННОГО МНОГОЧЛЕНОМ ЧЕТВЕРТОЙ СТЕПЕНИ

Рассмотрим задачу на собственные значения в  $L^2(\mathbb{R}^2)$ :

$$H_0 + \hbar^2 V(q_1, q_2) \psi = \lambda \psi, \|\psi\|_{L^2(\mathbb{R}^2)} = 1, \quad (1)$$

где  $H_0 = -\hbar^2 \left( \partial^2 / \partial q_1^2 + \partial^2 / \partial q_2^2 \right) / 2 + \left( q_1^2 + q_2^2 \right) / 2$  — двумерный осциллятор:

$$V(q_1, q_2) = q_1^2 q_2^2 + B_1 q_1 q_2 + B_3 \left( q_1^2 - q_2^2 \right) \quad (2)$$

— многочлен четвертой степени;  $\hbar > 0$  — малый параметр;  $\lambda$  — спектральный параметр. Подобные задачи встречаются в квантовой механике.

В работе [1] на примере задачи (1), где в многочлене (2) коэффициент  $B_3 = 0$ , был предложен метод нахождения асимптотических собственных значений вблизи границ спектральных кластеров, которые образуются около собственных значений невозмущенного оператора  $H_0$ . Он основан на новом интегральном представлении. В отличие от [1] в данной работе рассмотрен многочлен (2) с  $B_3 \neq 0$ . В этом случае в задаче (1) после усреднения возникает линейное по  $S_3$  слагаемое, которое существенно влияет на вид асимптотического решения. Здесь  $S_1, S_2, S_3$  — образующие алгебры вращений.

После усреднения и когерентного преобразования уравнение (1) преобразуется в дифференциальное уравнение второго порядка класса Фукса. Для построения полиномиального решения такого уравнения изучается многоточечная спектральная задача. Условие, при котором существует асимптотическое решение такой задачи, приводит к формуле для собственных значений исходной задачи (1).

В результате получаем, что асимптотика собственных значений задачи (1) вблизи верхних границ спектральных кластеров имеет вид

$$\lambda = \hbar(l+1) + \hbar^2 \frac{3}{5} (l\hbar)^2 \left(1 + \frac{2}{l}\right) - \frac{\hbar^3 \sqrt{3363} l \hbar}{50} \left(k + \frac{1}{2}\right) + O(\hbar^4),$$

$k = 0, 1, 2, \dots; l \rightarrow \infty$ . Здесь натуральное число  $l$  имеет порядок  $\hbar^{-1}$  и задает собственное значение  $\hbar(l+1)$  невозмущенного оператора  $H_0$ .

### Литература

1. **Перескоков А.В.** Асимптотика спектра и квантовых средних возмущенного резонансного осциллятора вблизи границ спектральных кластеров// Известия РАН. Серия «Математика». 2013. Т. 77. № 1. С. 165—209.



А.С. Гришина, студ.; рук. А.А. Амосов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОДНОГО ПОДХОДА К РЕШЕНИЮ УРАВНЕНИЙ СТОКСА

Исследуется численная реализация предложенного Ю.А. Дубинским [1] нового подхода к решению задачи Стокса с краевыми условиями «жесткого контакта»:

$$\begin{cases} -\Delta \mathbf{U} + \nabla p = \mathbf{f}, & (x, y) \in \Omega, \\ \operatorname{div} \mathbf{U} = 0, & (x, y) \in \Omega, \\ \mathbf{U} \cdot \mathbf{n} = 0, \quad \frac{\partial(\mathbf{U} \cdot \boldsymbol{\tau})}{\partial \mathbf{n}} = 0, & (x, y) \in \partial\Omega, \end{cases}$$

где  $\Omega = (0, a) \times (0, b)$  — прямоугольная область;  $\mathbf{n}$  и  $\boldsymbol{\tau}$  — внешняя нормаль и касательный вектор к границе  $\partial\Omega$ . Этот подход позволяет при численной реализации избежать необходимости аппроксимации условия неразрывности  $\operatorname{div} \mathbf{U} = 0$ .

Проводится численная реализация разностного аналога этого подхода. Полученные результаты сравниваются с результатами реализации известных численных методов [2]. Проведенные вычислительные эксперименты демонстрируют работоспособность рассматриваемого метода и указывают на то, что он позволяет получить приближенное решение с меньшими по сравнению с [2] вычислительными затратами при той же точности.

Реализован также аналог рассматриваемого метода, предназначенный для численного решения начально-краевой задачи для нестационарной системы уравнений Стокса с краевыми условиями «жесткого контакта».

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (соглашение № 14-11-00306).

### Литература

1. **Dubinskii Yu.A.** Boundary Value Problem for Stationary Stokes Equations with Impermeability Boundary Condition // Journal of Mathematical Sciences (United States). 2015. Vol. 207. No. 2. P. 195—205.
2. **Кобельков Г.М.** Симметричные аппроксимации уравнений Навье—Стокса // Математический сборник. 2002. Т. 193. № 7. С. 87—108.

В.О. Данилова, студ.; рук. А.В. Перескоков, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## АСИМПТОТИКА СПЕКТРА АТОМА ВОДОРОДА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ВБЛИЗИ ВЕРХНИХ ГРАНИЦ СПЕКТРАЛЬНЫХ КЛАСТЕРОВ

Рассмотрим задачи на собственные значения в  $L^2(\mathbb{R}^3)$ :

$$(H_0 + \varepsilon^2 W)\psi = \varepsilon\psi, \quad M_3\psi = m\psi,$$

где  $H = H_0 + \varepsilon M_3 + \varepsilon^2 W$  — гамильтониан атома водорода;

$$H_0 = -\Delta - |x|^{-1}; \quad M_3 = ix_2 \frac{\partial}{\partial x_1} - ix_1 \frac{\partial}{\partial x_2}; \quad W = \frac{x_1^2 + x_2^2}{4}. \quad \text{Здесь } \varepsilon > 0 \text{ — малый}$$

параметр;  $x = (x_1, x_2, x_3) \in \mathbb{R}^3$ ;  $\Delta$  — оператор Лапласа.

Задача об атоме водорода в магнитном поле представляет большой физический и математический интерес. В работе [1] с помощью нового интегрального представления была найдена асимптотика спектра атома водорода в магнитном поле вблизи нижних границ спектральных кластеров, которые образуются вблизи собственных значений невозмущенного оператора  $H_0$ . В данной работе найдена асимптотика спектра вблизи верхних границ спектральных кластеров.

После применения регуляризации, усреднения и когерентного преобразования мы приходим к дифференциальному уравнению 2-го порядка класса Фукса с тремя конечными особыми точками. Вначале изучается вспомогательная многоточечная спектральная задача в классе голоморфных функций с равными нулю характеристическими показателями в конечных особых точках. Далее асимптотика искомого полинома получается с помощью операции проектирования на подпространство  $\mathcal{P}[n, m]$  многочленов степени не выше  $n - |m| - 1$ .

В результате при  $1 \ll n \lesssim \varepsilon^{-7/2}$  и  $5^{-1/2}n < |m| < n$  найдена серия собственных значений с асимптотикой

$$\varepsilon_k = -\frac{1}{4n^2} + \varepsilon m + \frac{1}{2}\varepsilon^2 n^2 (5n^2 - 3m^2) - \varepsilon^2 n^2 \sqrt{5n^2 - m^2} (2k+1) - \\ - \frac{1}{8}\varepsilon^4 n^6 (143n^4 - 90m^2 n^2 - 21m^4) + O(n^{-9/2}), \quad n \rightarrow \infty, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

### Литература

1. Перескоков А.В. Асимптотика спектра атома водорода в магнитном поле вблизи нижних границ спектральных кластеров // Труды Московского математического общества. 2012. Т. 73. № 2. С. 277—323.

## СИНТЕЗ СХЕМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЗАИМНО ДОПОЛНЯЮЩИХ УСЛОВИЙ ИХ КОРРЕКТНОСТИ

Изучается результат использования объединения двух условий корректности схем предварительного распределения ключей при синтезе НАКДР( $n, q, L$ )-схемы (Hased Key Distribution Pattern) [1] и его влияние на параметры схемы, такие как *информационная скорость*[2].

Такие схемы являются обобщением КДР( $n, q$ )-схем [3] (семейства множеств ключей  $\{K_1, K_2, \dots, K_n\}$ , таких, что объединение множеств  $K_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ , содержит  $q$  элементов, включение  $K_i \cap K_j \subseteq K_r$  возможно, если  $r = i$  или  $j$ ). В НАКДР( $n, q, L$ )-схеме ограничение на такие семейства множеств ослабляются за счет применения к ключам хеширования различной глубины (от 0 до  $L$ ). Семейству  $\{K_1, K_2, \dots, K_n\}$  сопоставляется множество  $\{D_1, D_2, \dots, D_n\}$  числовых векторов со значениями от 0 до  $L$ , значения элементов векторов определяют числа применений хеш-функции к соответствующим элементам множеств семейства. Если не выполняется указанное ограничение, то набор  $D_r$  чисел, соответствующих одинаковым элементам множеств  $K_i$  и  $K_j$ , должен быть несравнимым по отношению «меньше или равно» с поэлементным максимумом соответствующих чисел из наборов  $D_i$  и  $D_j$ .

В работе [4] описан способ формирования таких схем, также экспериментальным путем получены параметры таких схем, позволяющие исследовать *информационную скорость* синтезируемых схем.

В настоящей работе рассматривается влияние объединения взаимно дополняющих условий корректности схем на один из ключевых параметров схемы предварительного распределения ключей — *информационную скорость*.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 14-11-00671а.

### Литература

1. **Фролов А.Б., Щуров И.И.** Защищенные коммуникации при нецентрализованном предварительном распределении ключей // Вестник МЭИ. 2008. № 4. С. 102—110.
2. **Stinson D.R.** On Some Methods for Unconditionally Secure Key. Distribution and Broadcast Encryption. Designs, Codes and Cryptography, Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA, 1997.
3. **On key storage in secure networks.** Journal of Cryptology / M. Dyer, T. Fenner, A. Frieze, A. Thomason. 1995. Vol. 8. P. 189—200.
4. **Фролов А.Б., Затей А.В.** Схемы предварительного распределения ключей, допускающие коалиции // Вестник МЭИ. 2013. № 6. С. 166—172.

Н.Е. Крымов, студ.; рук. А.А. Амосов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ПРИБЛИЖЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАДИАЦИОННО-КОНДУКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В СИСТЕМЕ СТЕРЖНЕЙ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Рассматривается краевая задача, описывающая радиационно-кондуктивный теплообмен в системе металлических стержней круглого сечения:

$$-\operatorname{div}(\lambda \nabla u) = f, \quad x \in G = \bigcup_{i,j} G_{i,j}, \quad (1)$$

$$\lambda \frac{\partial u}{\partial n} + h(u) = \int_{\partial G} h(u(\xi)) \varphi(\xi, x) d\sigma(\xi) + \int_{\Gamma} h(u_{\Gamma}(\xi)) \varphi(\xi, x) d\sigma(\xi), \quad x \in \partial G. \quad (2)$$

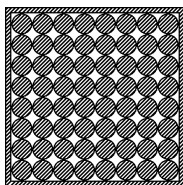


Рис. 1

Искомой является абсолютная температура  $u(x)$ , определенная на объединении сечений стержней  $G_{i,j}$  (рис. 1). Здесь  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности;  $h(u) = \sigma_0 u^4$  — плотность потока теплового излучения;  $\sigma_0$  — постоянная Стефана—Больцмана;  $\Gamma$  — граница «коробки», в которой находятся стержни;  $\varphi$  — угловой коэффициент.

Построены два метода приближенного решения задачи (1), (2).

Первый (рис. 2) состоит в решении дискретного аналога задачи, полученного в предположении, что температура  $u$  на каждом сечении  $G_{i,j}$  постоянна.

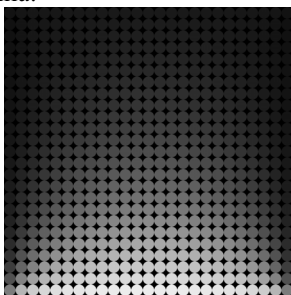


Рис. 2

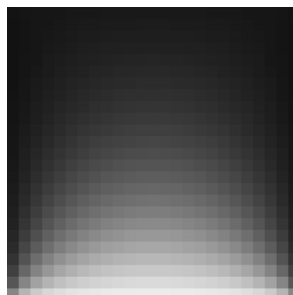


Рис. 3

Второй (рис. 3) основан на решении специальной краевой задачи относительно  $h(v)$ , где  $v$  — приближение к  $u$ .

На рис. 2 и 3 представлены результаты применения методов для одного из вариантов задания данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (соглашение № 14-11-00306).

## ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КОММИВОЯЖЕРА НА ОСНОВЕ ПОИСКА В ГЛУБИНУ

Область поиска решения — полный граф («система дорог»), причем вес  $d_{i,j}$  каждого ребра  $\{i, j\}$  удовлетворяет *правилу треугольника*  $d_{i,j} \leq d_{i,k} + d_{k,j}$ . Целью исследования является улучшение известного метода [1]. Используемая в нем последовательность структур {кратчайший остов (КО) → мультиграф → Эйлеров цикл в мультиграфе → часть Эйлерова цикла (решение)} заменяется более простой {кратчайший остов → путь, находимый поиском в глубину}. Уменьшается и емкостная, и вычислительная сложность.

Длина пути  $D_{i,j}$  между узлами  $i, j$  — это сумма весов ребер в цепи  $i \rightarrow j$ .

**Лемма.** Если в графе выполнено правило треугольника, вес любого ребра  $\{i, j\}$  не превосходит длины любого пути между узлами  $i, j$ . Доказываем по индукции. Лемма нужна для обоснования алгоритма.

В примере КО (рис. 1) пунктиром показаны *хорды*, образующие вместе с выделенными ребрами КО путь коммивояжера. Каждый висячий узел (лист КО) соединен хордой с началом очередной (по принципу поиска в глубину) ветви. Одна из хорд замыкает путь коммивояжера. Система поиска в глубину гарантирует посещение всех узлов КО, что и требуется.

Оценим гипотетический максимум  $D_{\max}$  длины пути, показанного на рис. 1 стрелками. Буквы  $a — h$  обозначают веса ребер. Исходя из леммы приравняем вес каждой хорды  $\{i, j\}$  к длине цепи  $i \rightarrow j$  и, следуя по стрелкам от узла  $K$ , получим:

$$D_{\max} = a + b + c + (c + b + d) + (d + e) + f + (f + e + a + g) + h + (h + g),$$

т.е.  $D_{\max}$  равен удвоенной сумме весов ребер КО (доказано, что это всегда имеет место), а эта сумма не больше оптимального решения [1].

Новый алгоритм записан на языках C++ и Object Pascal. Код алгоритма сократился примерно в 1,5 раза, емкостная сложность — почти в 2 раза, время работы стало меньше на 30 %.

### Литература

1. **Прикладные задачи дискретной математики в энергетике** / А.Б. Фролов, А.Е. Андреев, А.А. Болотов, А.С. Строгалов. М: Издательство МЭИ, 1988.

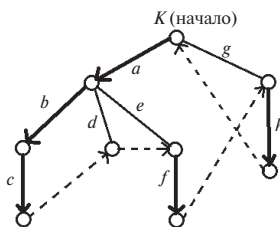


Рис. 1. Пример использования КО

## О ПРОГРАММНОЙ ИМПЛЕМЕНТАЦИИ МЕТОДА УМНОЖЕНИЯ КАРАЦУБЫ

Умножение длинных целых чисел является одной из наиболее востребованных операций современной компьютерной алгебры. В связи с этим создаются и совершенствуются соответствующие программные библиотеки. Эффективность таких библиотек часто зависит от скорости вычисления произведения длинных чисел. Возникает задача ускорения такой операции при ее программной реализации на современных вычислительных средствах.

Известно, что произведение двух  $n$ -разрядных целых чисел  $A = (a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_0)_2$  и  $B = (b_{n-1}, b_{n-2}, \dots, b_0)_2$  можно вычислить по формуле Карацубы [1]:

$$AB = A_0B_0(1 + 2^{n/2}) + (A_1 - A_0)(B_0 - B_1)2^{n/2} + A_1B_1(2^n + 2^{n/2}),$$

где  $A_0 = (a_{n/2-1}, a_{n/2-2}, \dots, a_0)_2$ ;  $B_0 = (b_{n/2-1}, b_{n/2-2}, \dots, b_0)_2$ ,

$$A_1 = (a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_{n/2})_2; B_1 = (b_{n-1}, b_{n-2}, \dots, b_{n/2})_2.$$

Данная формула может применяться рекурсивно в глубину до достижения некоторой разрядности частичных слагаемых  $n_0 = mw$  (база рекурсии), где  $w$  — разрядность процессора;  $m$  — некоторое натуральное число. Для умножения частичных слагаемых разрядности  $n_0$  можно использовать метод сдвигов и сложений. Сложность метода при этом оценивается как  $O(n_0^2 n_1 \log^3)$ , где  $n_1 = n / n_0$ .

Характер зависимости сложности комбинированного метода от  $n_1$  и  $n_0$  показывает, что существует значение параметра  $n_0$ , при котором данный метод показывает максимальную эффективность. Экспериментально было установлено, что при  $n_0 = 16w$  метод показывает наилучшие результаты по скорости вычислений.

Кроме рекурсивной реализации метода существует ее линейный вариант [2]. При линейной реализации метода отсутствуют накладные расходы на организацию циклов, рекурсии и условных переходов. Экспериментально было установлено, что линейная реализация комбинированного метода при  $w = 32$  эффективнее рекурсивной до  $n = 1024$  бит включитель-

но. Для больших значений разрядностей входных операндов размер линейной программы выходит за пределы кеша L1 современных процессоров (16 кБ для IntelCorei7) и показывает худшие результаты по сравнению с рекурсивной реализацией.

### **Литература**

1. **Карацуба А.А., Офман Ю.П.** Умножение многозначных чисел на автоматах // ДАН СССР. 1962. Т. 145. № 2. С. 293—294.
2. **Фролов А.Б., Винников А.М.** О машинном синтезе некоторых линейных программ // Программная инженерия. 2011. № 6. С. 24—30.

## **О РАЗНОСТНЫХ СХЕМАХ ДЛЯ ОДНОМЕРНОЙ БАРОТРОПНОЙ КВАЗИГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ**

Баротропная квазигазодинамическая система уравнений [1] состоит из уравнений баланса массы и импульса и представляет собой специальную регуляризацию уравнений Эйлера и Навье—Стокса вязкого сжимаемого баротропного газа. В случае одной пространственной переменной для этой системы построены специальные трехточечные дискретизации по пространству, удовлетворяющие дискретному закону невозрастания энергии [2].

В данной работе выполняется практическая апробация, тестирование стандартной и специальных дискретизаций на примерах из [3] и адекватный выбор параметров схем, обеспечивающих как правильность регуляризации, так и устойчивость вычислений.

### **Литература**

1. **Злотник А.А.** Энергетические равенства и оценки для баротропных квазигазо- и квазигидродинамических систем уравнений // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 2010. Т. 50. № 2. С. 325—337.
2. **Злотник А.А.** Пространственная дискретизация одномерной баротропной квазигазодинамической системы уравнений и уравнение энергетического баланса // Матем. моделирование. 2012. Т. 24. № 10. С. 51—64.
3. **Новые** алгоритмы вычислительной гидродинамики для многопроцессорных вычислительных комплексов / В.М. Головизнин, М.А. Зайцев, С.А. Карабасов, И.А. Короткин. М.: Изд-во Московского университета, 2013.



*И.А. Мигаль, студ.; рук. Ю.А. Горицкий, д.т.н, проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **О ЛИНЕЙНОМ ПРИБЛИЖЕНИИ ОДНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ФУНКЦИИ ПРИ ДЕЙСТВИИ СЛУЧАЙНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ**

В процессе своей работы инженеру приходится выполнять сложнейшие расчеты. Однако существуют методы, благодаря которым можно выяснить, когда эти вычисления могут быть упрощены. Некоторые из них основаны на теории вероятности и математической статистике.

Рассматриваемая задача возникла при анализе механического взаимодействия двух шероховатых поверхностей, представленных набором шарообразных выступов различной высоты. При сближении двух выступов возникает сила сопротивления, определяемая следующей функцией [1]:

$$F(\delta) = F(\delta; R; \theta) = \begin{cases} (4/3)(\sqrt{R}/\theta)\delta^{3/2}, & \delta \geq 0, \\ 0, & \delta < 0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\delta$  — контактное пересечение (мкм);  $R$  — приведенный радиус кривизны вершин выступов (мкм);  $\theta$  — некоторая комплексная физическая постоянная в единицах, обратных к давлению (ГПа)<sup>-1</sup>.

Из суммы этих сил складывается общая сила сопротивления поверхностей сближению. Контактное пересечение является случайной величиной с треугольным распределением [3]. На самом деле параметры  $R$  и  $\theta$  тоже являются случайными величинами, что приводит к «размыванию» зависимости. Численный анализ показывает, что данную зависимость можно считать линейной по  $\delta$  [2], что существенно упрощает математический анализ всего процесса взаимодействия поверхностей. Решение определяется через относительное изменение погрешности при переходе от (1) со средними  $R$  и  $\theta$  к линейной функции.

### **Литература**

1. **Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С.** Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977.
2. **Адлер Ю.П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В.** Планирование экспериментов при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1971.
3. **Бражникова Ю.С.** Анализ одного режима марковской модели взаимодействия шероховатых поверхностей // Информационные средства и технологии. Тематика и ее приложения: Тр. XXI Междунар. н-т. конф. Т. 3. М.: Издательский дом МЭИ, 2013.

А.В. Рыбинцев, асп.; рук. А.Б. Фролов, д.т.н., проф., (НИУ «МЭИ»)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ УСЕЧЕННОГО БУТСТРАППИНГА В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АТРИБУТОВ ЛИЧНОСТИ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ЛИЦА

Рассматривается задача автоматического определения атрибутов личности (пол, раса и возраст) по изображению лица на базе машинного обучения. Актуальность задачи и ее современное состояние изложены в [1].

В качестве пространства признаков изображения используются локальные бинарные шаблоны (LBP) [2], на основе которых методом опорных векторов (SVM) с «мягким» зазором [3] определяются пол и раса, а регрессией на основе опорных векторов (SVR) [3] определяется возраст.

Для повышения точности классификации предлагается использовать процедуру бутстраппинга — обучения на трудных примерах, которая ранее применялась в задачах, связанных с идентификацией на изображении заданного объекта.

Пусть имеется обучающая выборка  $\hat{X}^l$ , заданная множеством пар прецедентов  $\{\hat{x}_i, y_i\}$ ,  $i = (1, n)$ . Обучающая выборка  $\hat{X}^l$  делится на две части  $\hat{X}_1^l$  и  $\hat{X}_2^l$  в соотношении 1 к 2:  $\hat{X}_1^l \cap \hat{X}_2^l = 0$ . Первая часть  $\hat{X}_1^l$  используется в качестве обучающей выборки для формирования оценки  $\tilde{f}$  решающей функции  $f$ . Вторая часть  $\hat{X}_2^l$  используется в качестве тестовой выборки, на которой оценивается предсказательная способность  $\tilde{f}$ . Все ошибочно классифицированные объекты выделяются и добавляются к обучающей выборке  $\hat{X}_1^l$ , т.е. формируется расширенная «трудными» примерами новая обучающая выборка  $\hat{X}_{1new}^l$ , по которой окончательно формируется решающая функция.

Для устранения эффекта возможного переобучения решающей функции  $f$  предлагается исключить из множества «трудных» примеров «самые трудные». Данная модификация названа *усеченным* бутстраппингом.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 14-11-00671а.

## Литература

1. **Рыбинцев А.В.** Исследование подходов к определению атрибутов личности по изображению лица методами машинного зрения / Национальный исследовательский университет «МЭИ». М., 2015. 57 с. Деп. в ВИНТИ, № 86 – В2016.
2. **Ojala T., Pietikainen M., Maenpaa T.** Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2002. Vol. 24 (7). P. 971—987.
3. **Вьюгин В.В.** Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования. М.: МЦМНО, 2013. 390 с.

*Д.Ш. Сабирзянов, асп.; рук. А.Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОНЛАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЯ КРОССПЛАТФОРМЕННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С БЕЗОПАСНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПЛАТНЫМ КОНТЕНТОМ**

Изучается вопрос создания удобного интуитивно понятного конструктора кроссплатформенных мобильных приложений.

Приложения могут создаваться через обычный веб-браузер и будут доступны на любой мобильной платформе: iOS, Android, Windows Phone. Помимо информационной функции созданные приложения могут содержать в себе медиа-контент (аудио-, видеофайлы) с возможностью воспроизведения, зашифрованный контент [1], [3], в том числе и медиа-контент [2]. К тому же через созданные приложения можно реализовывать часть контента по схеме встроенных покупок. Конструктор приложений ориентирован в первую очередь на пользователей, не владеющих языками программирования. Конструктор также может применяться в разных сферах деятельности, например в коммерческом секторе или же в автоматизации зданий (системы «Умный дом»).

В настоящей работе рассматривается архитектура конструктора кроссплатформенных мобильных приложений с заявленным выше функционалом, альтернативные решения при ее построении, обоснование выбора тех или иных технических решений и их реализация.

### **Литература**

1. **Гашков С.Б., Черепнев М.А., Применко Э.А.** Криптографические методы защиты информации. М.: Академия, 2010.
2. **Raywenderlich.com** Tutorial Team «iOS 6 By Tutorials» / A. Burkepile, C. Fulton, M. Galloway et al., First Edition, Razeware LLC, 2012.
3. **Хорев П.Б.** Методы и средства защиты информации в компьютерных системах. М.: Академия, 2005.

## Секция 14

# ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

Председатель секции — зав. каф. ПМ, д.т.н.,  
профессор А.П. Еремеев

Секретарь секции — к.т.н, доцент П.Р. Варшавский

Ю.А. Абрамова, студ.; рук-ли: В.Н. Жураковский, к.т.н., доц.;  
В.С. Ижуткин, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## О КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СОПРОВОЖДЕНИЯ

Осуществлено компьютерное моделирование (в среде MatLab) математической модели тракта обработки радиолокационной системы (РЛС) обнаружения и сопровождения целей по нескольким координатам [1]:

- углу места (УМ) —  $\beta(t, n)$ ;
- курсовому углу (КУ) —  $\varepsilon(t, n)$ .

На основе отдельных блоков радиолокационной системы (блоки АПИК-алгоритм первичного измерения координат, АВИК-алгоритм вторичного измерения координат и блок ЦОС-цифровой обработки сигналов) оптимизированы параметры фильтра Калмана с учетом разных траекторий [2].

Предполагается реализация нескольких фильтров с дальнейшим автоматическим определением наиболее удачного фильтра для оценки сопровождения маневрирующих целей (например, траектории «змейка», движение по окружности со смещенным центром, траектория которого приведена на рис. 1, и др.) с наименьшими отклонениями.

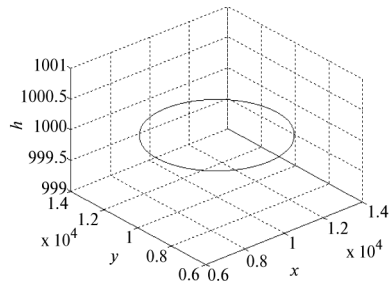


Рис. 1. Траектория движения — окружность со смещенным центром

Результаты компьютерного моделирования данной работы могут быть использованы в реальной системе РЛС как в военной, так и в гражданской сфере.

### **Литература**

1. **Абрамова Ю.А.** Алгоритм первичного и вторичного измерения координат // Молодежный вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/743332.html> (дата обращения 2014).
2. **Жураковский В.Н., Кондрашов К.С.** Алгоритм определения местоположения наземных объектов в условиях низкой точности входных данных // Наука и образование МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 12. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/659353.html> (дата обращения 2013).

## **МЕТОД ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРЕЦЕДЕНТОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ СТРУКТУРНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ**

Прецедентный подход (CBR — Case-Based Reasoning) широко применяется при решении целого ряда задач в области искусственного интеллекта и, в частности, для моделирования человеческих рассуждений и конструирования интеллектуальных систем (ИС).

Существует целый ряд методов поиска решений на основе прецедентов (извлечения прецедентов) и их модификаций [1], например метод ближайшего соседа, метод извлечения прецедентов на основе деревьев решений, метод извлечения прецедентов на основе знаний, метод извлечения с учетом применимости прецедента.

Для определения степени сходства прецедентов, представленных в виде сложных структур, предлагается использовать метод извлечения на основе теории структурного отображения (SMT — Structure Mapping Theory) [2].

Согласно SMT предполагается, что аналогия (сходство) является отображением знаний одной области (базы) в другую область (цель), базирующимся на системе отношений, которые имеются между объектами базовой области и объектами целевой области, а также что человек (лицо, принимающее решения) предпочитает оперировать некоторой целостной системой взаимосвязанных глубинных отношений, а не простым набором поверхностных и слабо связанных фактов.

Для реализации указанного подхода была предложена архитектура [3] и выполнена разработка базовых программных модулей прототипа CBR системы в среде MS Visual Studio 2010 на языке C#. Рассмотрен пример использования разработанного прототипа для решения задачи экспертной диагностики на основе прецедентов с использованием реальных наборов данных из хранилища (репозитория) UCI Machine Learning Repository [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ №15-07-04574-а и проекта по государственному заданию №2.737.2014/К.

### **Литература**

1. **Варшавский П.Р., Алехин Р.В.** Метод поиска решений в интеллектуальных системах поддержки принятия решений на основе прецедентов // International Journal «Information models and analyses». 2013. Vol. 2. No. 4. P. 385—392.

2. **Falkenhainer B., Forbus K., Gentner D.** The Structure-Mapping Engine: Algorithm and examples // Artificial Intelligence. 1989. No. 41. P. 1—63.

3. **Реализация** прецедентного модуля для интеллектуальных систем / П.Р. Варшавский, Р.В. Алехин, Ар Кар Мью, Зо Лин Кхаинг // Программные продукты и системы. 2015. № 2(110). С. 26—31.

4. **UCI Machine Learning Repository** [Электронный ресурс]. URL: <http://archive.ics.uci.edu/ml/> (дата обращения: 14.09.2015).

*А.А. Андропова, студ.; рук. О.Ю. Шамаева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ЕСТЕСТВЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ АРХИТЕКТУР С ОБЩЕЙ И РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПАМЯТЬЮ**

Теория естественных вычислений (Natural Computing) [1—3] — относительно новый раздел науки, образовавшийся на стыке математики, информатики и естественных наук (прежде всего биологии). Несмотря на это, она нашла широкое применение практически во всех областях, связанных с компьютерной обработкой данных.

Еще в 1940-х годах Джоном Фон Нейманом была предложена модель клеточных автоматов [1]. Сегодня теория естественных вычислений включает в себя как классические модели (клеточные автоматы, искусственные нейронные сети), так и появившиеся относительно недавно (ДНК-вычисления, роевый интеллект и др.).

Важным пунктом функционирования естественных систем является то, что все входящие в них объекты функционируют одновременно, т.е. параллельно. Следовательно, можно сказать, что в естественных вычислительных моделях проводится параллельная (распределенная) обработка информации. Это делает такого рода модели весьма интересным объектом для реализации на современных суперкомпьютерах — массивно-параллельных вычислительных системах.

Весьма интересной задачей является сравнение эффективности и коэффициента ускорения реализации естественных алгоритмов для архитектур с общей и распределенной памятью.

В рамках данной научной работы планируется реализовать некоторые виды естественных алгоритмов и сравнить их эффективности и ускорения на результатах вычислительных экспериментов. Сравнивая производительность MPI и OpenMP [2] для некоторого класса задач можно сделать вывод, что нет однозначного ответа на вопрос, какая технология дает больший выигрыш. Как в MPI, так и в OpenMP следует учитывать архитектурные ограничения. Однако в ряде задач, где коммуникации преобладают над вычислениями, использование OpenMP будет иметь больший смысл.

### **Литература**

1. **Ершов Н.М., Попова Н.Н.** Естественные модели параллельных вычислений // Компьютерные исследования и моделирование. 2015. Т. 7. Вып. 3. С. 781—785.
2. **Панченко Т.В.** Генетические алгоритмы. Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. 88 с.
3. **Fogel D.B.** Evolutionary computation: towards a new philosophy of machine intelligence. Piscataway: IEEE Press, 2000. — ISBN 0-7803-3481-7.



*С.А. Буренков, асп.; рук. О.Ю. Шамаева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ НАУЧНЫХ РАСЧЕТОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ НА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

Круг научных и практических задач, решаемых методами математического моделирования, постоянно расширяется. Этому способствуют развитие численных методов, рост производительности современной вычислительной техники и ее доступность, что позволяет получать решения сложных задач с требуемой точностью и за приемлемое время. Результаты решения таких задач зачастую представляются в форме массивов значений больших размеров, визуальное восприятие которых весьма затруднительно и неинформативно. Особенно остро встает проблема получения визуального представления результатов моделирования нестационарно развивающихся по времени процессов.

В докладе представлены разработанные программные средства, позволяющие формировать визуальное представление результатов моделирования. Визуализация обеспечивает возможность вращения, перемещения камеры наблюдения относительно системы координат, связанной с исследуемым объектом, а также изменения расстояния до объекта. Программное средство допускает обработку нескольких объектов, причем решение об отображении каждого объекта принимается пользователем. Существует возможность периодического обновления визуального вида решения при фиксации нестационарных явлений.

Данные моделирования должны быть собраны в файле в соответствии со специальным форматом. При этом результаты могут быть расположены как в памяти компьютера, на котором запущена программа, так и на удаленной машине или вычислительном кластере. Доступ к удаленному вычислительному узлу осуществляется посредством протокола FTP.

Разработанный программный продукт реализован средствами языка C++ с использованием кроссплатформенной библиотеки Qt в среде разработки QtCreator [1]. Графическая часть реализована с помощью технологии OpenGL [2].

### **Литература**

1. **Бланшет Ж., Саммерфилд М.** Qt4: программирование GUI на C++. М.: КУДИЦ-ПРЕСС, 2008.
2. **Райт Р., Липчак Б.** OpenGL. Суперкнига. М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.

## **РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ФОРМИРОВАНИЯ ОБОБЩЕННЫХ ПОНЯТИЙ С АРГУМЕНТАЦИЕЙ**

Одной из проблем, возникающих при разработке современных систем поддержки принятия решений, в частности интеллектуальных и экспертных систем, является возможность моделирования явлений реального мира. Эта проблема весьма важная, так как очевидно, что вся информация, охватывающая такие явления и имеющаяся у исследователей, обычно не является полной или точной. Поэтому целью работы стала реализация одного из алгоритмов индуктивного формирования понятий с учетом шума. При этом основной акцент сделан на применение аргументации для примеров из обучающих выборок.

В рамках этой задачи можно выделить несколько подзадач: изучение алгоритмов индуктивного формирования понятий, рассмотрение методов аргументации, реализация алгоритма и метода аргументации, поиск пороговых значений для атрибутов непрерывного типа, выбор способа оценки условий для формирования правил, а также сбор статистики.

Во время выполнения работы было рассмотрено несколько алгоритмов и выбран для реализации алгоритм, разработанный Кларком и Ниблеттом CN2 [1], с его расширением ABCN2 [2], так как он работает с качественными признаками. Это дает преимущество при поиске логических закономерностей между признаками, а также в отличие от алгоритмов, формирующих деревья решений, позволяет успешнее работать с зашумленными данными.

Для улучшения результатов работы алгоритма предлагается использовать разработанный метод аргументации.

Был реализован программный комплекс в среде Visual Studio 2012 с использованием языка C#, основными задачами которого являются: построение продукционных правил с использованием обучающей выборки на основе алгоритма ABCN2, исследование влияния аргументации на построение обобщенных понятий, а также сбор статистики.

Использованные в работе тестовые данные взяты из репозитория Калифорнийского университета [3].

### **Литература**

1. **Quinlan J.R.** Induction of Decision Trees // Machine Learning. 1986. P. 81—106.
2. **Možina M., Giuliano C., Bratko I.** Argument Based Machine Learning from Examples and Text // ACIIDS. 2009. P. 18—23.
3. **Репозиторий** калифорнийского университета UCI Machine Learning Repository [Электронный ресурс]. URL: <http://archive.ics.uci.edu/ml/>

*А.В. Деревянко, студ.; рук. В.Н. Вагин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ СТЕПЕНЕЙ ОБОСНОВАНИЯ ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ В СИСТЕМАХ АБСТРАКТНОЙ АРГУМЕНТАЦИИ**

Любая современная интеллектуальная система поддержки принятия решений содержит базу знаний. Однако такие базы знаний часто содержат противоречивую и неточную информацию. Причины возникновения противоречий могут быть различными: ошибки формализации знаний, неверная интерпретация, противоречивость мнений нескольких экспертов. Проблема обработки противоречий является очень актуальной, так как классические методы логического вывода не применимы для баз знаний, содержащих противоречия. Одним из способов обнаружения и разрешения внутренних противоречий является применение аргументации.

Существуют несколько формализаций теории аргументации, которые можно условно разделить на два класса — системы абстрактной аргументации и системы аргументации, основанные на логике. Первый тип систем, предложенных Дангом [1], формализуют аргументацию в виде ориентированного графа, вершины которого обозначают аргументы, а его дуги — отображают бинарное отношение «атака». Наиболее характерным представителем класса систем аргументации, основанных на логике, является теория пересматриваемых рассуждений Поллака [2].

Недостатком классических систем аргументации является оперирование качественными статусами аргументов — «поражен» и «не поражен». Указанный недостаток можно устранить с помощью введения числовой меры для оценки достоверности аргументов. Существуют два подхода для решения данной задачи — степени обоснования и вероятности аргументов. Степени обоснования рассматриваются в контексте систем аргументации, основанных на пересматриваемых рассуждениях, в то время как вероятностный подход обычно применяется в контексте абстрактных аргументационных систем.

В данной работе рассматривается, каким образом возможно использовать метод степеней обоснования для нахождения оценки достоверности в системе логической аргументации и последующем анализе полученных оценок в терминах абстрактной аргументации, применяя вероятностный подход.

### **Литература**

1. **Dung P.M.** On the acceptability of arguments and its fundamental role in non-monotonic reasoning, logic programming and n-person games // *Artificial Intelligence*. 1995. С. 321—357.
2. **Pollock J.L.** How to Reason Defeasibly // *Artificial Intelligence*. 1992. Vol. 57. С. 1—42.

*Г.К. Джамалов, асп.; рук. И.Е. Куриленко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ТЕСТОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕСТИРОВАНИЯ ВЕБ-СЕРВИСОВ**

В настоящее время существует большое количество программного обеспечения, предназначенного для тестирования веб-сервисов [1]. Такие инструменты позволяют настроить подключение к веб-сервису, указать отправляемое сообщение, выполнить запрос, получить ответ и проверить ответ на корректность. Но что делать, если в сервис необходимо отправлять уникальные данные?

Отправляемые сообщения описываются с использованием языка разметки XML, а веб-сервисы при получении такого сообщения выполняют необходимую бизнес-логику приложения. Когда пользователь выполняет определенную операцию с использованием графического интерфейса, то отправляемое сообщение генерируется на лету по определенным правилам (содержит в себе дату и время, информацию о клиенте, уникальный идентификатор и прочую информацию), и бизнес-логика веб-сервиса работает корректно. Для тестирования веб-сервиса в инструменте тестирования указывается в качестве шаблона некоторое оригинальное сообщение, которое было перехвачено во время передачи от пользователя к веб-сервису. Если веб-сервис получает сообщение, полученное ранее, то бизнес-логика приложения рушится, и продолжение тестирования с этими данными невозможно.

Инструменты тестирования обычно позволяют подгружать тестовые данные из внешнего источника, где они должны быть заранее подготовлены, или позволяют указывать в различных узлах отправляемого сообщения некоторые функции, которые будут генерировать значения определенного формата. Когда количество различных видов (шаблонов) отправляемых сообщений становится более ста, тогда данный подход становится не оптимальным. Подготавливать заранее такое большое количество тестовых данных будет необходимо перед каждой итерацией тестирования, а реализовывать генерацию данных в узлах XML становится слишком кропотливой работой. Оба подхода являются трудозатратными.

В рамках работы был разработан и реализован инструмент, позволяющий выполнять тестирование веб-сервисов с использованием интеллектуальной параметризации отправляемых сообщений [1], что сильно экономит трудозатраты по созданию и поддержке очень большого количества автоматизированных тестов.

### **Литература**

1. **Куриленко И.Е.** Разработка программного обеспечения с помощью CASE-технологий. М.: Издательство МЭИ, 2013. 72. с.

*К.А. Жданова, студ.; рук. О.Ю. Шамаева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ МОДИФИКАЦИЙ ЧИСЛЕННЫХ СХЕМ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ, ДОПУСКАЮЩИХ РАЗРЫВНЫЕ РЕШЕНИЯ**

Задача моделирования турбулентности представляет особый интерес, поскольку вот уже на протяжении более 100 лет не прекращается поиск приемлемых форм математического описания моделей турбулентности. Это объясняется исключительной сложностью турбулентности как физического явления, а также тем обстоятельством, что именно турбулентная форма движения газов и жидкостей наиболее часто встречается в природе и в различных технических приложениях. Для обеспечения необходимого качества математического моделирования таких задач необходимо использовать численные методы высокого порядка точности и в то же время сохраняющие монотонность решения [1]. Эффективное численное исследование турбулентности требует проведения расчетов на достаточно подробных сетках, а значит, требует большого количества вычислительных операций, что приводит к необходимости проведения вычислений на современных многопроцессорных архитектурах [2].

В рамках представленной работы было реализовано и исследовано многопоточное приложение для решения уравнения Бюргерса (случай невязкого течения) с заданным начальным условием с использованием МР-схемы с семиточечным шаблоном совместно с методом Рунге-Кутты по времени. Многопоточность реализована посредством технологии OpenMP, которая является наиболее эффективной и удобной в плане разработки приложений в модели общей памяти. Результаты исследования разработанной программы показали, что распараллеливание для МР-схемы дает значительное ускорение в задаче моделирования одномерных турбулентных потоков при достаточно малом пространственном шаге.

В работе приводится сравнение МР-схемы с другими методами, которые также применяются для задачи моделирования турбулентных потоков, показывающее преимущество выбранной схемы в задачах численного моделирования сверхскоростных турбулентных течений [3].

### **Литература**

1. **Suresh A., Huynh H.T.** Accurate Monotonicity-Preserving Schemes with Runge-Kutta Time Stepping // Journal of Computational Physics. 1997. Vol. 136. P. 83—99.
2. **Воеводин В.В.** Параллельные вычисления. СПб.: БХВ-Петербург, 2002.
3. **Aerospace** research central Zhaorui Li, Farhad A. Jaberli. Large-Scale Simulations of High Speed Turbulent Flows [Электронный ресурс]. URL: <http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2009-1506> (дата обращения: 01.04.2015).

## **РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ФОРМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПОИСКА РЕШЕНИЯ ПО МОДИФИЦИРОВАННОМУ АЛГОРИТМУ RETE ДЛЯ НЕЧЕТКИХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ**

В работе рассматриваются основные понятия нечетких продукционных экспертных систем. Данный тип экспертных систем базируется на наборе правил, представленном в терминах лингвистических переменных [1].

Предлагается разработанная модификация алгоритма Rete для нечеткой базы правил, позволяющая формулировать правила и заключения на ограниченном естественном языке и обеспечивающая ускорение процесса работы системы за счет однократного вычисления одинаковых условий в различных правилах. Приводится созданная формальная модель дерева решений модифицированного алгоритма Rete для нечеткой продукционной базы знаний. Модель состоит из множеств вершин-условий, вершин-следствий, отношений между вершинами и отношений для описания правил нечеткой экспертной системы. Граф модификации алгоритма Rete формируется таким образом, что в каждом случае проверяется неточное значение условия правила, а значения лингвистических переменных — в данном правиле. Предложенный алгоритм обрабатывает правила нечеткой базы правил и преобразует их в формат формальной модели дерева решений модифицированного алгоритма Rete.

Модификация алгоритма Rete отличается от классического алгоритма тем, что он применяется для нечетких переменных [2]. Поэтому на каждом этапе работы алгоритма выполняется построение нечетких оценок истинности вершин дерева решений с помощью нечетких операторов, что позволяет формулировать условия и следствия в базе правил, а также результаты работы алгоритма поиска решения на ограниченном естественном языке. Также одинаковые условия объединяются при построении дерева решений, что обеспечивает ускорение обработки дерева решений по сравнению с последовательным просмотром правил экспертной системы.

### **Литература**

1. **Заде Л.** Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 166 с.
2. **Михайлов И.С., Зо Мин Тайк.** Разработка формальной модели процесса поиска решения по модифицированному алгоритму Rete для нечетких экспертных систем // Программные продукты и системы. 2015. № 2. С. 44—47.

*С.А. Ивлиев, асп.; рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ДИАГНОСТИКА СЛОЖНЫХ ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ПРИМЕРЕ ПАТОЛОГИИ ЗРЕНИЯ**

По мере развития новых методов диагностики все более актуальной является задача по проведению качественного анализа на основе всех имеющихся данных. Методы искусственного интеллекта в данной предметной области позволяют как сократить требуемую работу со стороны специалиста, так и выявить новые закономерности в получаемых данных.

Одним из современных методов диагностики патологий зрения является метод электроретинографии [1]. Сложность анализа электроретинограмм при помощи методов искусственного интеллекта заключается в большом объеме входных данных, получаемых при применении данного метода. Поэтому в первую очередь требуется сокращение входной выборки и поиск скрытых закономерностей в данных.

Были опробованы как простые характеристики, такие как отношения минимумов и максимумов сигнала, так и результаты вейвлет-анализа данных. Они показали хороший результат, что подтверждают и предыдущие работы по данной тематике [2]. При помощи полученной выборки была обучена нейронная сеть с одним скрытым слоем, которая показала хорошие результаты работы при решении задачи дифференциальной диагностики заболеваний глаза.

Дальнейшая работа будет направлена на построение комплексной системы диагностики заболеваний глаза на основе разных диагностических исследованиях и методах их обработки [3].

### **Литература**

1. **Еремеев А.П., Ивлиев С.А.** Анализ и диагностика сложных патологий зрения на основе вейвлет-анализа и нейросетевого подхода // Сборник научных трудов VIII Международной практической конференции «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте». 2015. Т. 2. С. 580.
2. **Диагностика** текущего состояния динамических объектов и систем сложной структуры методами нечеткой логики с использованием имитационных моделей / Д.Н. Анисимов, Д.В. Вершинин, О.С. Колосов и др. // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. № 3. С. 95—106.
3. **Прототип** диагностической системы поддержки принятия решений на основе интеграции байесовских сетей доверия и метода Демпстера—Шефера / А.П. Еремеев, Р.Р. Хазиев, М.В. Зуева, И.В. Цапенко // Программные продукты и системы. 2013. № 1. С. 11—16.

## **СТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОДА ДЛЯ ПОИСКА УТЕЧЕК РЕСУРСОВ В JAVA-ПРОГРАММАХ**

Сотни современных программ насчитывают миллионы строк кода. Такой объем кода физически не может быть написан без ошибок. Сделать ошибки несложно, а найти зачастую крайне трудно. С автоматическим поиском ошибок успешно справляются статические анализаторы кода [1].

Основой статического анализатора является внутреннее представление программы. Внутренних представлений может быть несколько и на каждом представлении удобно искать определенные типы ошибок. Для успешного поиска утечек ресурсов java байткод преобразуется в граф потока управления [2] — специальное внутреннее представление. На графе потока управления проводится анализ программы на предмет утечек.

Утечка ресурса возникает, если в процессе работы программы в некоторой области видимости был выделен системный ресурс, а после выхода из области видимости он не был освобожден. Нахождение утечки памяти в программе эквивалентно нахождению пути на графе потока управления с началом в вершине, в которой выделяется ресурс, и с концом в вершине, отмеченной как выход из функции, и проверке, что найденный путь на графе не содержит вершины с освобождением ресурса.

Выделение и освобождение ресурса часто происходят под некоторыми условиями и, для того чтобы распознавать такие утечки, необходим анализ, чувствительный к путям. Часто ресурс выделяется в одной функции, а освобождается в другой, что заставляет задуматься о необходимости межпроцедурного анализа. Иногда необходимо понять, функция какого объекта будет вызвана в процессе работы программы. Для этого необходима частичная или полная девиртуализация функций [3].

В рамках анализатора Svsce исследован и улучшен алгоритм поиска ошибок неверной работы с ресурсами. С помощью статического анализа удалось обнаружить ошибки, которые трудно найти вручную и которые потенциально могут привести к неопределенному поведению программы.

### **Литература**

1. **Статический** анализатор Svsce для поиска дефектов в исходном коде программ / В.П. Иванников, А.А. Белеванцев, А.Е. Бородин и др. // Труды Института системного программирования РАН. 2014. Т. 26. Вып. 1. С. 231—250.
2. **Jan Midtgaard**. Control-flow analysis of functional programs. ACM Computing Surveys, 2012.
3. **A Study** of Devirtualization Techniques for a Java Just-In-Time Compiler / Kazuaki Ishizaki, Motohiro Kawahito, Toshiaki Yasue et al. // ACM SIGPLAN Conference on Object-Oriented Programming Systems, Languages, and Applications (OOPSLA'00), October 15—19, 2000.



## **РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ПОДСИСТЕМЫ ПРИОБРЕТЕНИЯ ЗНАНИЙ ИЗ ГИПЕРТЕКСТОВЫХ ИСТОЧНИКОВ**

В наше время для получения необходимой человеку информации в сети Интернет требуется достаточно большое время, а также нужно время, чтобы проанализировать информацию, насколько она актуальна и уникальна [1, 2]. Для уменьшения затрат на поиск информации и решения проблем компьютерного обучения активно применяются методы индексации, обеспечивающие процесс добавления сведений об информационных ресурсах роботом поисковой машины в базу данных, впоследствии использующуюся для поиска (полнотекстового) информации [1]. Для отображения релевантной информации поисковые машины используют статистические методы и поиск по метаинформации [3].

На основе указанных методов разработано приложение, собирающее информацию в сети Интернет в виде wiki-статей и генерирующее сборник wiki-статей, касающихся одного заданного пользователем понятия (запроса или статьи). Указанная пользователем статья считается корнем и сохраняется в стеке переходов. Приложение извлекает статью из имеющегося стека переходов, сохраняет информацию и приступает к ее анализу. После считывания краткого описания и самого текста статьи, приложение индексирует эту информацию и находит ключевые слова на основе статистических методов. Содержание статьи тоже сохраняется как аналог ключевых слов. В случае, когда приложение добавляет статью как близкую по тематике в стек переходов, тогда формируются ссылки на схожие статьи. В результате работы приложения в памяти сохраняется целый набор статей по одной тематике, соответствующей указанному пользователем понятию. На данный момент приложение использует только синтаксический анализ и статистические методы, но в дальнейшем планируется привлечь методы семантического анализа текста, что должно значительно повысить точность формирования подборки статей по указанной пользователем тематике.

### **Литература**

1. **Башмаков А.И., Башмаков И.А.** Интеллектуальные информационные технологии. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005.
2. **Журавлёв Ю.И., Рязанов В.В., Сенько О.В.** Распознавание. Математические методы. Программная система. Практические применения. М.: Изд-во «Фазис», 2006. 176 с.
3. **Ian H. Witten, Eibe Frank and Mark A. Hall.** Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. — 3rd Edition. Morgan Kaufmann, 2011. P. 664.

*А.А. Кожухов, асп.; рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

В современных интеллектуальных системах (ИС), особенно в наиболее сложных ее представителях типа ИС поддержки принятия решений реального времени (ИСППР РВ) [1], одними из основных компонентов являются модули обучения и прогнозирования. Методы обучения с подкреплением — одна из наиболее активно развиваемых областей искусственного интеллекта, направленная на создание перспективных ИС и, в частности, ИСППР РВ, которые относятся к классу динамических ИС семиотического типа, предназначенным для помощи лицам, принимающим решения (ЛПР) в проблемных ситуациях при управлении и диагностике сложных технических и организационных систем (объектов) [2]. Задачей ИСППР РВ является анализ сложившейся на объекте ситуации и помощь ЛПР в проблемных ситуациях.

Цель работы — исследование различных методов обучения с подкреплением, предназначенных для адаптации ИСППР РВ к объекту управления, и методов прогнозирования с использованием статистических данных и данных на основе экспертных оценок. Были исследованы методы обучения с подкреплением и различные методы прогнозирования, в частности, методы на основе экспертных оценок [3]. В результате предложен комбинированный метод прогнозирования и разработаны соответствующие алгоритмы. Предложена и программно реализована архитектура блока прогнозирования. Проведен сравнительный анализ методов обучения с подкреплением на основе временных различий в плане их последующей реализации в блоке прогнозирования. На примере задач прогнозирования результатов футбольных матчей и экспертного диагностирования технического объекта выполнено тестирование разработанного блока, подтвердившее эффективность разработки.

### **Литература**

1. **Вагин В.Н., Еремеев А.П.** Некоторые базовые принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Известия РАН. Теория и системы управления. 2001. № 6. С. 114—123.
2. **Еремеев А.П., Подохов И.Ю.** Методы подкрепленного обучения для систем поддержки принятия решений реального времени // Вестник МЭИ. 2009. № 2. С. 153—161.
3. **Мартемьянов Ю.Ф., Лазарева Т.Я.** Экспертные методы принятия решений: учебное пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010.

*А.А. Малахов, студ.; рук. Г.Г. Орлов, к.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПРОГРАММА ДЛЯ ПЭВМ ПО РАСЧЕТУ РАСХОДОВ ПАРА НА СЕТЕВЫЕ ПОДОГРЕВАТЕЛИ И ВЕЛИЧИН ПОДПИТКИ ТЕПЛОСЕТИ**

Отпуск теплоты промышленным и бытовым потребителям в виде горячей воды для целей отопления, вентиляции и горячего водоснабжения в большинстве случаев осуществляется от теплофикационных установок ТЭС. Количество тепла, отдаваемое теплофикационной установкой ТЭС потребителям, зависит от температуры наружного воздуха. Чтобы обеспечить требуемое количество тепла в соответствии с температурой наружного воздуха изменяют температуру воды в подающей магистрали к потребителю или применяют так называемое качественное регулирование.

В открытой системе теплофикации горячее водоснабжение осуществляется непосредственно из системы. Закрытые и открытые системы теплоснабжения требуют компенсации утечек в них. Расход воды на компенсацию утечек  $G_{\text{комп.утеч}}$  в открытой системе теплофикации составляет 0,75 % объема воды в тепловой сети  $V_{\text{Т.С}}$ , плюс 0,5 % объема воды в тепловых магистралях от ТЭС до города  $V_{\text{Т.М}}$ , плюс расход воды на горячее водоснабжение с запасом в 20 % или  $G_{\text{комп.утеч}} = 0,0075V_{\text{Т.С}} + 0,005V_{\text{Т.М}} + 1,2G_{\text{Г.В.}}$

Для закрытых систем теплофикации величина компенсации утечек  $G_{\text{комп.утеч}}$  не учитывает расход воды на горячее водоснабжение  $G_{\text{Г.В.}}$ .

Нами была разработана диалоговая система «человек-ПЭВМ» для определения величины подпитки теплосети в зависимости от системы отпуска тепла потребителям. Система позволяет создать макет расчетной схемы, найти величины объемов воды в теплосети, тепловых магистралях, диаметры магистралей, параметры пара и воды, проходящих через пароводяные подогреватели системы подпитки теплосети и их расходы. А также в схеме определяются расходы и параметры рабочих сред для вакуумного деаэратора подпитки теплосети, сетевых подогревателей.

Для определения термодинамических параметров пара и воды были использованы упрощенные уравнения ВТИ [1], охватывающие области температур до 600 °С, давлений до 26 МПа и энтропии выше 6,28 кДж/(кг·К).

### **Литература**

1. Ривкин С.Л., Кремневская Е.А. Уравнение состояния воды и водяного пара для машинных расчетов процессов и оборудования электростанций // Теплоэнергетика. 1977. № 3. С. 69—73.

*Д.М. Петруша, студ.; рук. О.Ю. Шамаева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ OPENMP И MPI ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИРИХЛЕ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ПУАССОНА**

Важнейшей задачей вычислительной математики является задача решения дифференциальных уравнений в частных производных, которая возникает, например, при моделировании процессов теплопередачи с внутренними источниками тепла, деформации упругих пластин и др. Явное решение таких задач в аналитическом виде оказывается возможным только в некоторых частных случаях. Поэтому наиболее приемлемым путем их решения является применение приближенных численных методов [1, 2], которые обычно порождают значительный объем вычислений и требуют использования высокопроизводительных архитектур и параллельных технологий для получения ответа за допустимое и удовлетворительное время.

Для эффективного применения численных методов на высокопроизводительных системах необходима их параллельная модификация, учитывающая особенности используемой вычислительной системы и технологии распараллеливания. В случае модели общей памяти оказывается необходимым использование блочно-волновой схемы обработки данных [1]. При данном подходе порядок вычислений сохраняется как при последовательной обработке, что гарантирует инвариантность результатов решения, а для эффективного использования кэш-памяти данные подаются на обработку блоками. В случае модели распределенной памяти параллелизм достигается путем декомпозиции исходных данных и распределения их между узлами [3].

В данной работе реализованы многопоточное приложение на языке C++ с использованием широко применяемой технологии OpenMP [3] и параллельная программа на языке C, использующая интерфейс MPI. Реализованные приложения протестированы, исследованы их характеристики. По результатам исследований сделаны выводы об эффективности данных технологий для решения подобного круга задач.

### **Литература**

1. **Гергель В.П.** Теория и практика параллельных вычислений. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007.
2. **Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М.** Численные методы. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003.
3. **Воеводин В.В., Воеводин Вл.В.** Параллельные вычисления. СПб.: БХВ-Петербург, 2002.

*С.В. Романчук, асп.; рук. И.Б. Фоминых, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДИФИЦИРОВАННЫЕ АЛГОРИТМЫ ПОИСКА ПУТЕЙ НА ГРАФЕ**

Рассматривается задача модификации существующих алгоритмов поиска кратчайшего пути между вершинами графа с целью получения алгоритма с минимальной временной сложностью. Прикладное значение сформулированной задачи связано, в частности, с улучшением деятельности логистических компаний, работа которых основывается на доставке грузов из одного пункта в другой.

Первоначально среди известных алгоритмов Флойда—Уоршелла, Левита и Дейкстры для модификации был выбран алгоритм Дейкстры как алгоритм, в наибольшей степени подходящий для решения прикладных задач (работает только для графов без ребер отрицательного веса) и имеющий существенный потенциал для модификации. Были предложены две новые модификации алгоритма Дейкстры: классификационный и узловый.

Классификационный алгоритм Дейкстры — это алгоритм Дейкстры, в который внесены элементы классификации вершин графа [1]. Используя классификацию вершин в исходном графе на основании числа смежных вершин, можно выделить несколько групп вершин, и в дальнейшем искать кратчайший путь на графе с использованием алгоритма Дейкстры, основываясь на свойствах этих вершин [2]. Модификация обладает результативностью исходного алгоритма, но при этом за счет классификации вершин присутствует возможность отсеять низкоприоритетные вершины при поиске и тем самым уменьшить число итераций при вычислениях.

Суть узлового алгоритма поиска заключается в изначальном анализе рассматриваемого графа с целью выделения среди всех вершин узловых. Узловые вершины определяются по методике классификационного алгоритма. Далее формируется база путей, связывающих все узловые вершины графа друг с другом, используя которую можно определить кратчайшие пути.

Предложенные модификации алгоритмов в различных аспектах превосходят оригинальный алгоритм, в том числе по быстродействию, при этом сохраняя его результативность.

### **Литература**

1. **Паклин Н.Б., Орешков В.И.** Бизнес-аналитика: от данных к знаниям. — СПб.: Питер, 2013. 706 с.
2. **Еремеев А.П., Чибизова Н.В.** Инструментальные средства конструирования экспертных систем. М.: Издательство МЭИ, 2002. 100 с.

*Д.И. Чаплыгин, асп.; рук. В.Н. Фальк, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОГРАММНАЯ МОДЕЛЬ FALGOL-ПРОЦЕССОРА**

Основные особенности Falgol-процессора:

- основан на оригинальной формальной модели [1] с простым синтаксисом базового языка, строгими операционной и трансформационной семантиками, с богатыми, формально контролируемыми возможностями расширений, позволяющими создавать эффективные программы на уровне машинного языка;

- реализация на аппаратном уровне смешанной модели вычислений, обеспечивающей оптимизацию процедур в процессе выполнения Falgol-программ;

- полностью контролируемое на аппаратном уровне использование памяти;

- поддержка на уровне машинного языка процессов разработки и оптимизации Falgol-программ;

- использование обобщенного тегированного представления программных объектов (в отличие от [2]), существенно влияющего на организацию работы компонентов процессора.

Цель исследования состоит в создании программной модели для уточнения оценки характеристик и усовершенствования архитектуры Falgol-процессора на структурно-функциональном уровне и его системы команд. В перспективе — подготовка проекта схмотехнической реализации Falgol-процессора.

Личный вклад автора — эскизная реализация программной модели Falgol-процессора (программные модели его основных компонентов и их взаимодействия при выполнении представительного подмножества машинных команд; программная модель аппаратного сборщика мусора в Falgol-процессоре [3]).

### **Литература**

1. **Фальк В.Н.** Формальный алгоритмический язык Falgol — тридцать лет спустя // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2009. № 1. С. 82—88.

2. **Чернов С.А.** Исследование и реализация базовой вычислительной машины с внутренним языком высокого уровня // Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М.: МЭИ, 2003.

3. **Фальк В.Н. Чаплыгин Д.И.** Программная модель сборщика мусора для Фалгол-процессора смешанных вычислений // Информационные системы и технологии: материалы Международной научно-технической интернет-конференции. — Орёл, 2013. [Электронный ресурс]. URL: <http://irsit.ru/files/article/361.pdf>

*Н.А. Шведов, асп.; рук-ли О.Ю. Шамаева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);  
Д.В. Зайцев, к.т.н., доц. (12 ЦНИИ МО РФ, г. Сергиев Посад)*

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ В ЗАДАЧАХ ВЫБОРА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПОЛИТИЧЕСКОЙ СФЕРЕ**

В современном мире возрастает потребность в прогнозировании жизни общества. Наиболее актуальными являются технологии, методы и модели, связанные с политической сферой жизни общества [1].

Сложным аспектом данной предметной области является отсутствие четкого понятийного аппарата, позволяющего построить адекватную математическую модель (ММ), отображающую существующие политические процессы. В результате возникают проблемы алгоритмизации, обработки данных и задания интерпретации возможных численных результатов. Также возникает задача правильной оценки погрешности в данных на всех этапах функционирования модели. Необходимо разделить составляющие компоненты погрешности на две большие категории — случайные и «сознательные» (намеренное искажение данных одним или несколькими участниками моделирования).

Для получения адекватной модели необходимо учитывать и работать с большим количеством параметров, что повлечет за собой сложности в представлении, хранении и обработке данных. В работе предлагается формализация предметной области на основе выделенных объектов и отношений между ними. Далее построена иерархия объектов в предметной области — все это легло в основу ММ. В работе предложен новый метод обработки ММ, основанный на физическом принципе Гюйгенса—Френеля и позволяющий избежать построения сложной системы дифференциальных уравнений [2]. Создано программное средство и введен механизм управления прогнозом в задачах выбора, строящий набор рекомендаций для пользователя. Работоспособность метода был проверена на различных тестовых выборках.

В перспективе планируется использовать разработанный инструментарий для широкого анализа политических процессов.

### **Литература**

1. **Методы** электоральных исследований [Электронный ресурс]. Прогнозирование итогов президентских выборов в США, 2011. URL: <http://fom.ru/special/kto-stanet-prezidentom-ssha/10146> (дата обращения: 01.09.2015).
2. **Александров П.Н., Ахременко А.С** Динамическое моделирование политических процессов с использованием систем линейных дифференциальных уравнений. М.: Schola, 2009.

## Секция 15

# ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И САПР

*Председатель секции — зав. каф. ВТ, д.т.н.,  
профессор В.В. Топорков  
Секретарь секции — к.т.н., доцент И.Е. Лешихина*

*Н.О. Долженков, студ.; рук. И.В. Огнев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ОБЛАКОВ ТОЧЕК НА ГРАФИЧЕСКОМ АДАПТЕРЕ С OPENCL**

При создании трехмерных моделей существующих объектов используют различные техники трехмерного сканирования, в результате которого получают облако точек — несортированный массив точек в трехмерном пространстве, описывающих некоторый участок поверхности сканированного объекта [1]. Полученные облака точек могут состоять из миллионов элементов, и обработка такого большого числа точек может занять значительное количество времени.

В данной работе был предложен метод распараллеливания вычислений при обработке облаков точек с помощью технологии OpenCL [2], выполняющий многопоточную работу на графическом ускорителе ПК. Мотивация работы — добиться увеличения производительности при обработке.

Метод основан на разбиении данных в соответствии с моделью SIMD — Single Instruction Multiple Data. Поверх исходного неструктурированного облака точек строится трехмерная ортогональная структура, состоящая из кубов. В каждый куб попадают некоторое количество точек модели не больше заданного значения. Совокупность точек каждого отдельного куба рассматривается как независимая подмодель и обрабатывается независимо от других.

Недостатком такого метода является появление видимых стыков в результирующей модели после проведения определенного ряда операций. Для смягчения таких артефактов рекомендуется выбирать малый размер одного куба в ортогональной структуре.

При тестировании предложенного подхода на трех различных конфигурациях для различных параметров был достигнут в среднем трехкратный



прирост производительности по сравнению с аналогичными однопоточными решениями. В некоторых случаях прирост производительности достиг одиннадцатикратного размера.

### Литература

1. **Dyn N., Iske A., Wendland H.** Meshfree Thinning of 3D Point Clouds // Foundations of Computational Mathematics. 2007. No. 8. P. 409—425.
2. **Banger R., Bhattacharyya K.** OpenCL Programming by Example. Birmingham: Packt Publishing, 2013.

А.Н. Козлова, А.Л. Трубаева, студенты;  
рук. М.Ю. Лебедева, к.т.н., доц. (Филиал НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

## ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА ИНЖЕНЕРА ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ

Целью данной работы является анализ современных разработок для автоматизации рабочего места (АРМ) инженера технической поддержки.

По результатам анализа осуществлен выбор оптимального программного продукта для создания АРМ.

В табл. 1 представлен сравнительный анализ наиболее популярных приложений в категории «Helpdesk системы» в соответствии с выбранными критериями [1, 2].

Таблица 1

### Сравнительная характеристика систем Helpdesk (ServisDesk)

Критерий	IntraService	ITSM 365	HelpDeskEddy
Русификация	Есть	Есть	Есть
Готовый функционал ITSM	Поддержка шести процессов ITIL	Поддержка десяти процессов ITIL	Поддержка четырех процессов ITIL
Гибкость системы	Только настройка собственных типов заявок и отчетов	Создание новых типов объектов, изменение ЖЦ заявок	Настройка интерфейса, использование своего домена
Интеграция с внешними ПО	Есть	Есть	Есть
Кроссплатформенность	Windows, iOS, Android	Windows, Linux	Windows, Linux
Бесплатный пробный период	14 дней	14 дней	30 дней
Стоимость стандартного пакета/месяц	4000 руб. (1 лицензия)	20 000 руб. (10 лицензий)	350 руб. (1 лицензия)

Проведя сравнительный анализ популярных систем в классе Helpdesk, можно сделать вывод о том, что данные системы являются комплексными решениями для службы технической поддержки пользователей внутри самой организации.

Тем не менее, качественная оценка параметров систем показала, что при расширении штата организации и выделении IT-службы в отдельный узел организационной структуры оптимальной для внедрения является система «ITSM 365» от компании–разработчика «NAUMEN» ввиду полного соответствия концепции ITIL, а также богатого функционала и возможностей его настройки.

### Литература

1. **LiveBusiness.** Рейтинги приложений. Helpdeski [Электронный ресурс]. URL: <http://www.helpdeski.ru/tools/servicedesk/>
2. **ITSM 365.** Управление [Электронный ресурс]. URL: <http://itsm365.ru/>

## ВЫДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА НА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

В работе, посвященной разработке метода выделения полезного сигнала, рассматриваются основные причины развития интеллектуальных систем, основной состав, а также предоставлена информация о самых распространенных при представлении знаний продукционных системах. Имея богатое разнообразие информации на изображениях, экспертные системы помогут пользователям получить из них необходимую информацию [1]. На рис. 1 представлено изображение, на котором присутствует полезный сигнал с помехами (отраженные волны с затуханием).

Согласно постановке задачи на изображении нужно оставить только полезный сигнал. Разработана система обработки изображений, которая решает практическую задачу выделения полезного сигнала от помех, посредством реализованных в ней методов бинаризации, медианной фильтрации, а также логического вывода по предложенной в данной работе базе правил. Результат работы программы представлен на рис. 2.

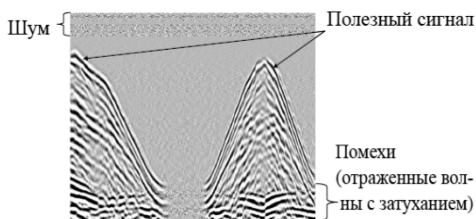


Рис. 1. Исходное изображение

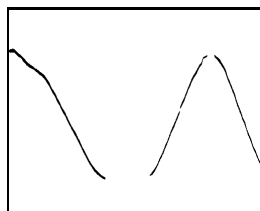


Рис. 2. Результат обработки изображения

Проведено моделирование работы продукционной системы с набором изображений радиолокационных сигналов. Полученные выходные изображения показывают необходимый результат при работе с изображением заданного класса (в режиме градаций серого) и тем самым подтверждают эффективность предложенного решения.

### Литература

1. **Перспективные** технологии обработки изображений [Электронный ресурс]. URL: [http://loi.sccc.ru/gis/dataplus/arcdev/Number\\_17/8\\_Images.htm](http://loi.sccc.ru/gis/dataplus/arcdev/Number_17/8_Images.htm). — Заглавие с экрана. (Дата обращения: 08.06.2015).

*А.А. Смирнов, асп.; рук. В.А. Логинов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УОЛША—АДАМАРА И ФУРЬЕ В КОММУТАЦИОННЫХ МЕТОДАХ БЕСКОНТАКТНОЙ ДИАГНОСТИКИ**

В современных системах проектирования фазированных антенных решеток (ФАР) все чаще используются активно развивающиеся коммутационные методы бесконтактной диагностики. Такие методы обеспечивают необходимую точность и быстроту измерения измерительных характеристик антенны. Под названием коммутационного метода измерений объединено несколько подходов, базирующихся на разных математических моделях.

Среди различных дискретных спектральных преобразований в современной теории и технике цифровой радиосвязи нашли широкое применение дискретные преобразования Фурье, Уолша и Хаара [1]. Дискретные преобразования применимы как для периодических сигналов, так и сигналов, заданных на конечном интервале. Одним из наиболее распространенных подходов является метод на основе функций Уолша [2] и быстрых преобразований Уолша—Адамара.

На смену традиционным ФАР приходят активные ФАР (АФАР), характеризующиеся наличием СВЧ усилителей в приемно-передающих каналах решетки. Их применение позволяет добиваться более высоких технических показателей по сравнению с пассивными. Методы, применяемые для пассивных решеток, используются и для активных, однако характеризуются некоторыми недостатками. В связи с этим был разработан новый метод управления АФАР при помощи управления состоянием СВЧ усилителей.

В данной работе сделана попытка заменить используемые преобразования Уолша—Адамара [3] в разработанном методе на преобразования Фурье и исследовать, какие преимущества и недостатки способен принести данный подход. Особое внимание уделяется простоте реализации, скорости работы и точности измерений.

### **Литература**

1. **Крейнделин В.Б., Шлома А.М.** Быстрые алгоритмы обработки радиосигналов и их вычислительная сложность. М.: Наука, 2001.
2. **Ахмед Н., Рао К.Р.** Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. М.: Связь, 1980.
3. **Маничев А.О., Смирнов А.А.** Метод бесконтактной диагностики состояния элементов активной фазированной антенной решетки // Актуальные вопросы развития систем и средств ВКО. М.: ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», 2015.

А.Л. Трубаева, А.Н. Козлова, студенты;  
рук. М.Ю. Лебедева, к.т.н., доц. (Филиал НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

## ОБЗОР CRM-СИСТЕМ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ

В данной работе приведены результаты анализа современного рынка CRM-систем, который представлен многообразием отраслевых решений. По результатам анализа осуществлен выбор оптимального программного продукта для автоматизации деятельности фармацевтических организаций с целью повышения эффективности работы аптечной сети.

В табл. 1 представлен сравнительный анализ наиболее популярных CRM-систем для автоматизации деятельности фармацевтических организаций в соответствии с выбранными критериями [1, 2].

Таблица 1

Сравнительный анализ программных продуктов

Критерий сравнения	mySAP CRM	Siebel	Pharma HRM	Terrasoft CRM
Функциональный	Ограниченная функциональность для сети аптек	Ограниченная функциональность для сети аптек	Полнофункциональная система для сети аптек	Ограниченная функциональность для сети аптек
Масштабируемость	Средняя	Средняя	Высокая	Высокая
Средняя стоимость рабочего места	1000 \$ до покупки Oracle	4500—7000 \$ до покупки Oracle	3000—9000 \$	200 \$
Минусы системы	Не ведется поиск новых покупателей вне базы	Сложность программного обеспечения и работа с ним	—	Сложность программного обеспечения

Сравнительный анализ систем показал, что в целом они являются комплексными решениями для службы работы с клиентами фармацевтических организаций. Однако качественная оценка параметров систем позволила выявить наилучшее решение с точки зрения критериев функциональности и масштабируемости.

Оптимальной для внедрения в аптечную сеть с целью автоматизации процесса взаимоотношения с клиентами является система «Pharma HRM».

### Литература

1. **Pharma HRM.** Управление [Электронный ресурс]. URL: <http://teamsoft.com.ua/services/pharma-hrm.html>

2. **Отраслевые решения.** Управление [Электронный ресурс]. URL: <http://www.crm-practice.ru/industrial-crm/>

*С.С. Туманова, студ.; рук. Л.А. Старостина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМ ЭВА НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА**

Существует много методов размещения элементов схем ЭВА, при решении задач наибольший интерес представляют последовательные и итерационные эвристические методы или их комбинации. Однако все эти методы дают примерно одинаковый результат. Поэтому были предложены генетические алгоритмы для решения подобных задач. Они отличаются применением нетрадиционных архитектур генетического поиска, а также генетических операторов, ориентированных на использование знаний о решаемых задачах [1].

Исходными данными в этой работе являются: взвешенный мультиграф, показывающий связи между вершинами — элементами схемы, количество размещаемых элементов, поле для размещения элементов, размерность поля, максимальное расстояние между элементами и критерий качества размещения. Сформулируем задачу размещения как задачу назначения каждого элемента (вершины) графа в единственную позицию (ячейку) таким образом, чтобы оптимизировать целевую функцию. В качестве целевой функции выбирается суммарная длина соединений элементов схемы, что соответствует сумме весов всех ребер модели [2].

Для решения данной задачи был разработан алгоритм, использующий модифицированные генетические операторы, последовательное применение которых обеспечивает поиск оптимального по всему множеству решений. Алгоритм реализован на языке C++, проведенный сравнительный анализ результатов генетического и традиционных алгоритмов показал, что эффективность генетического алгоритма возрастает для схем большой размерности. В ходе тестирования были выявлены и некоторые проблемы генетических алгоритмов, которые требуют дополнительных исследований, например разработка и исследование средств управления генетическим алгоритмом, что является нетривиальной задачей.

### **Литература**

1. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия — Телеком, 2013.
2. Курейчик В.В. Эволюционные методы решения оптимизационных задач. Таганрог: ТРТУ, 1998.

А.А. Уранов, студ.; рук. Г.Г. Орлов, к.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

## ПОСТРОЕНИЕ ПРОЦЕССА РАСШИРЕНИЯ ПАРА В $h,s$ -ДИАГРАММЕ ДЛЯ ГЛАВНОЙ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ ПРИВОДНОЙ ТУРБИН ТЭС

Автоматизированное проектирование путем использования компьютерных систем позволяет повысить качество технологической и конструктивной проработки оборудования при одновременном сокращении сроков его разработки, кроме того, появляется наглядность выполняемой задачи.

На кафедре ТЭС ИГЭУ была разработана диалоговая система определения параметров водяного пара в характерных точках процесса расширения пара в турбине [1]. Однако она не позволяла строить процесс расширения пара в  $h,s$ -диаграмме для вспомогательных приводных турбин.

В разработанной и более совершенной системе указанный недостаток устранен. Расчет параметров рабочего вещества и построения процесса расширения пара осуществляется непосредственно в  $h,s$ -диаграмме и ведется в диалоговом режиме, что в отличие от большинства существующих программ по расчету тепловых схем ТЭС позволяет получить достаточную наглядность. Для каждой точки процесса расширения определяются пять параметров: давление, температура, энтальпия, энтропия, и удельный объем. Результаты расчета выводятся на экран дисплея, где представлен рассчитываемый процесс расширения пара в турбине.

Результаты расчета могут сохраняться на диске как информация в виде таблиц параметров пара, а также в виде графиков в  $h,s$ - и  $T,s$ -диаграммах. В связи с тем, что в тепловых схемах паротурбинных ТЭС могут применяться как турбины с промежуточным перегревом, так и без него, с отборами пара на производство и теплофикацию или без них, разработанная система позволяет определить перечисленные выше параметры с учетом типа турбины, а также назначение электростанции (КЭС, ТЭЦ).

В основу расчета термодинамических параметров разработанной системы положены упрощенные уравнения ВТИ для воды и водяного пара [2].

Разработанная программа рассчитана для научно-исследовательских работ и использования в учебном процессе.

### Литература

1. Орлов Г.Г., Охлопков М.А. Диалоговая система определения термодинамических параметров водяного пара в характерных точках процесса расширения пара в турбине: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2008610955 от 22.02.2008.

2. Литинецкий В.В., Ривкин С.Л., Кремневская Е.А. Алгоритм расчета термодинамических свойств водяного пара на ЭВМ // Теплоэнергетика. 1986. № 3.

## Секция 16

# ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ, СЕТИ И СИСТЕМЫ

*Председатель секции — д.т.н., профессор Л.И. Абросимов*

*Секретарь секции — аспирант П.А. Ледовский*

*И.В. Абрамов, асп.; рук. И.И. Ладыгин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ DOCKER ДЛЯ ВИРТУАЛИЗАЦИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Контейнерная виртуализация — метод виртуализации, при котором ядро операционной системы поддерживает несколько изолированных экземпляров пространства пользователя вместо одного. Экземпляры пространства пользователя называют контейнерами. Ядро операционной системы обеспечивает изолированность контейнеров, поэтому по умолчанию контейнеры не могут взаимодействовать друг с другом. Контейнеры обеспечивают «легковесную» виртуализацию, которая позволяет изолировать процессы и ресурсы без необходимости использования полной виртуализации: в контейнерной виртуализации не существует отдельного слоя гипервизора. Контейнеры отправляют процессорам сервера инструкции напрямую, как это делают процессы сервера, без каких-либо специальных механизмов интерпретации, как это происходит в случае виртуализации с гипервизором. С точки зрения пользователя контейнеры идентичны реальному серверу.

В настоящее время самым наиболее активно развивающимся средством контейнерной виртуализации является Docker — программное обеспечение, используемое для автоматизации развертывания и управления приложениями в среде виртуализации на уровне операционной системы [1]. Docker функционирует в среде Linux с ядром, поддерживающим cgroups (начиная с версии 2.6.29) и изоляцию пространств имен (namespaces).

В данной работе проводится исследование Docker для виртуализации инфраструктуры распределенных вычислений. Приводятся плюсы и минусы виртуализации инфраструктуры при использовании Docker, проводится анализ изменения производительности при использовании Docker.

### Литература

1. Портал проекта Docker [Электронный ресурс].  
URL: <https://www.docker.com/>



*Д.Г. Данилин, асп.; рук. В.О. Рыбинцев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ VPN-СЕТИ**

В настоящее время в фирмах для решения корпоративных задач возникает необходимость объединять различные филиалы в единую корпоративную сеть. Это можно сделать путем простого, но дорогого решения прокладки кабелей или аренды выделенных каналов.

Более дешевой альтернативой такого решения является подключение всех филиалов через Интернет [1]. Но такое решение имеет и свои недостатки. Возможным устранением этих недостатков является использование технологии VPN.

Сети VPN строятся на основе логических соединений между пользователями публичных сетей с пакетной коммутацией, изолированных друг от друга пользователей той же сети.

Разработка и внедрение данной технологии привело к выявлению главных проблем:

- нахождение оптимальной топологии VPN-сети, главным критерием которой является оптимальное использование пропускной способности сети, под которым понимается минимизация резервируемой полосы пропускания в каналах связи при обеспечении необходимой скорости передачи информации между всеми узлами сети VPN;

- защита трафика VPN-сети от отказов каналов и узлов сети, которая наиболее актуальна для часто используемой разновидности топологии объединения узлов сети VPN в виде дерева. На данный момент не существует эффективного алгоритма построения отказоустойчивой VPN-сети с гарантированной полосой пропускания.

В работе формулируется графовая модель VPN-сетей, обеспечивающих определенную топологию отказоустойчивых VPN-сетей, оптимальных с точки зрения минимизации занимаемой дополнительной полосы пропускания.

### **Литература**

1. **Росляков А.В.** Виртуальные частные сети. М.: ЭКОТRENДЗ, 2006. 304 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ЧИСЕЛ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СЛАУ

Проблема достоверных вычислений является актуальным направлением в области теоретической информатики вследствие большого объема научных и инженерных задач [1]. Одной из таких задач является решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Решение СЛАУ используется в широком классе задач, таких как гидродинамика, экономика, вычислительная физика.

Универсальное представление числа (УПЧ) — это множество объектов  $\{s, e, m, u, es, fs\}$ , где  $s$  — знак числа, равный нулю или единице;  $e$  — порядок числа со знаком;  $m$  — мантисса без знака;  $u$  — бит неопределенности;  $es$  — размер экспоненты в битах;  $fs$  — размер мантиссы в битах. Введение дополнительных бит расширяет поле возможных значений формата, объединяя в едином формате возможности чисел с плавающей точкой и интервальной арифметики [2]. Арифметические операции определяются в формате с плавающей точкой, но в случае обнаружения округления значение числа за счет бита округления переходит в достоверный интервал, и дальнейшие вычисления ведутся с интервалами. Преимуществом УПЧ является устранение ошибок округления с помощью встроенного механизма интервальной арифметики.

Самым простым методом для решения СЛАУ является метод Гаусса. Однако метод Гаусса вычислительно неустойчив из-за недостатков чисел с плавающей точкой, что делает его не пригодным для плохо обусловленных СЛАУ вследствие ошибок округления [3].

Для оценки результатов используется следующий эксперимент. Сгенерируем матрицу коэффициентов и вектор свободных членов, подсчитаем число обусловленности, получим решение тремя способами: аналитическим расчетом, методом Гаусса с плавающей точкой, методом Гаусса с УПЧ. Итог: при использовании УПЧ вектор решения является либо вектором с рациональными значениями, либо вектором с интервалами, содержащими внутри себя точное решение СЛАУ.

### Литература

1. **Bailey D.H.** High-precision floating-point arithmetic in scientific computation // Computing in science & engineering. 2005. Vol. 7. No. 3. С. 54—61.
2. **Gustafson J.L.** The End of Error. Unum Computing, 2015.
3. **Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В.** Вычислительные методы для инженеров. М.: Издательство МЭИ, 2003.

## СПЕЦИФИКА ПЕРЕНОСА ОПИСАНИЯ ПРОЕКТА СИСТЕМЫ НА КРИСТАЛЛЕ В НОВУЮ ПРОЕКТНУЮ СРЕДУ НА ПРИМЕРЕ САПР ПЛИС ФИРМЫ XILINX

В наши дни программно-аппаратные системы находят применение во многих областях техники. Одним из наиболее перспективных направлений при разработке таких систем является использование устройств, размещенных на одном кристалле (микросхеме).

Программируемые интегральные схемы (ПЛИС) семейства Zynq фирмы Xilinx включают в себя наряду с программируемыми логическими элементами ядро микропроцессора семейства Cortex ARM A9 [1].

Несмотря на то, что САПР ISE предлагает частичную поддержку разработок на ПЛИС семейства Zynq, при применении данной САПР невозможно эффективно спроектировать программный компонент проекта и организовать взаимодействие между программной и аппаратной его частями. Для более эффективного решения задач проектирования систем на кристалле фирмой Xilinx была разработана САПР Vivado. В данной работе исследуется задача переноса проекта встроенной системы на кристалле, реализованной на старой версии САПР ПЛИС фирмы Xilinx ISE, в среду новой версии САПР Vivado (рис.1).

Нетривиальность задачи переноса обоснована различиями между САПР по таким параметрам, как формат интерфейсов и структура так называемых IP-блоков, а также формат и синтаксис файла конструкторских ограничений. Вследствие того, что в САПР Vivado используются только IP-блоки, спроектированные в соответствии с двунаправленным протоколом AXI, при переносе проекта необходимо изменить структуру описания системы с учетом новых требований к интерфейсным сигналам и их временным характеристикам. В докладе раскрываются некоторые подходы к решению проблемы и детали проекта, перенесенного в новую проектную среду.

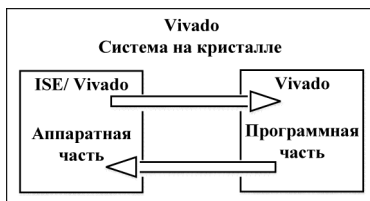


Рис. 1. Система на кристалле

### Литература

1. Louise H. Crockett, Ross A. Elliot. The Zynq Book Embedded Processing with the ARM Cortex A9 on the Xilinx Zynq-7000 All Programmable SoC, 2014.

*К.Д. Круглов, Е.С. Яковлев, студенты;  
рук. И.В. Ашарина, к.т.н., доц. (НИУ «МИЭТ», г. Зеленоград)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АЛГОРИТМОВ ВЫДЕЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ В МНОГОМАШИННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ**

При организации многозадачных параллельных вычислений в необслуживаемых многомашиных вычислительных системах (МВС) одной из важнейших является задача достижения согласованности действий различных ЦВМ системы в условиях возникновения допустимых неисправностей, формулируемая как проблема достижения взаимного информационного согласования (ВИС) [1]. Обеспечение достоверности проводимых вычислений в таких системах гарантируется применением метода репликации задач, выполняемых системой. В работе используется модель враждебной неисправности ЦВМ.

Комплексом называется группа ЦВМ, выполняющих репликацию задачи. Многокомплексная МВС — это отказоустойчивая МВС, в которой разными комплексами одновременно выполняются различные прикладные задачи, обменивающиеся данными путем использования сред межкомплексного обмена. В [2, 3] описана задача в следующей постановке: имеется динамически реконфигурируемая сеть, в которой строится система, решающая параллельно несколько взаимодействующих задач, каждая из которых решается на своем комплексе с заданной степенью отказоустойчивости.

Целью данной работы является разработка программы, которая моделирует работу алгоритмов выделения комплексов, представленных в [2, 3]. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- 1) разработаны способы представления графовой модели МВС;
- 2) разработаны форматы представления входных и выходных данных;
- 3) выполнена программная реализация алгоритмов, обеспечивающих выделение комплексов в динамически реконфигурируемой сети.

### **Литература**

1. **Генинсон Б.А., Панкова Л.А., Трахтенгерц Э.А.** Отказоустойчивые методы обеспечения взаимной информационной согласованности в распределенных вычислительных системах // Автоматика и телемеханика. 1989. № 5. С. 3—18.

2. **Ашарина И.В., Лобанов А.В.** Выделение структурной среды системного взаимного информационного согласования в многокомплексных системах // Автоматика и телемеханика. 2014. № 6. С. 115—131.

3. **Ашарина И.В., Лобанов А.В.** Выделение комплексов, обеспечивающих достаточные структурные условия системного взаимного информационного согласования в многокомплексных системах // Автоматика и телемеханика. 2014. № 8. С. 146—156.

*А.А. Ларин, асп.; рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **АДАПТИВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ**

В настоящий момент все чаще используется комплексный подход построения систем в различных объектах (центры обработки данных, «умные дома»). В таких условиях невозможно обойтись без вычислительной сети (ВС), которая одновременно является объединяющей средой, обеспечивающей работоспособность всех подсистем, но, с другой стороны, ВС добавляет накладные расходы (стоимость дополнительной сетевой инфраструктуры и задержки при передаче данных).

Актуальной задачей является снижение указанных накладных расходов. Так как при комплексном подходе не все подсистемы используют ВС эффективно, необходима оптимизация процессов. Например, в ситуации, когда по одному и тому же маршруту следуют и потоковые данные, и пакеты со значениями, снятыми с датчиков пожарообнаружения, возможна ситуация, когда критичные пакеты пропадут из-за перегруженности сетевого узла на конкретном пути.

В настоящий момент в сетевых узлах учитывается только приоритет отправки пакетов, используя установки качества обслуживания QoS [1]. Введение адаптивных механизмов на уровне всей ВС для перераспределения ресурсов и/или ввода резерва позволяет гибко управлять балансировкой сетевой нагрузки и реагировать на отказ отдельных узлов в сети. При этом для каждой задачи (каждой из подсистем) определяется соответствующий набор параметров. Обработка параметров и их установка проводятся на едином сервере-контроллере, занимающимся перераспределением ресурсов.

Для организации гибкой адаптивной ВС используется технология программно-конфигурируемых сетей [2], которая обеспечивает полный контроль сети узлом-контроллером и переконфигурирование узлов, а также мониторинг сети в каждый момент времени. Результаты исследований приводятся в докладе.

### **Литература**

1. **Росляков А.В., Самсонов М.Ю.** Модели и методы качества услуг IP-телефонии // Электросвязь. 2002. № 2.
2. **Баркова И.В., Сергеева Т.П.** Решение задачи резервирования в пакетных сетях и сетях SDN с использованием общих резервных ресурсов при различных повреждениях // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. № 6.

*Д.В. Макаров, асп.; рук. М.К. Чобану, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕНЗОРНОЙ АППРОКСИМАЦИИ И ЗАРАНЕЕ ВЫЧИСЛЕННОГО СЛОВАРЯ ДЛЯ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ВИДЕО**

В настоящее время требования к качеству контента мультимедиа постоянно растут, а с ростом качества возрастает и размер изображений и видео [1]. Кроме того, с появлением новых типов контента (трехмерное телевидение, мультивидовое видео и т.д.) возникла проблема эффективно-го представления и сжатия многомерного сигнала [2].

Тензорный анализ и теория тензорных аппроксимаций играют все более важную роль в области вычислительной математики и численного анализа. Эффективное представление  $d$ -мерного тензора (массива с  $d$  индексами) небольшим числом параметров может дать возможность работать с данными размерности  $d$ , равной 10, 100 или даже 1000 (такие проблемы возникают в квантовой молекулярной динамике, финансовом моделировании, при решении стохастических уравнений в частных производных). В условиях экспоненциального роста объемов передачи, хранения и обработки визуальной информации [1] применение данного подхода оправдано. Тензорные методы являются новым направлением и находят все большее применение в цифровой обработке сигналов. Применение тензорных методов может стать хорошей альтернативой имеющимся подходам в сжатии изображений и видео.

В работе рассмотрен метод Tensor-Train Decomposition [3] и Wavelet Tensor-Train (WTT [4]). Показана эффективность применения данных методов и рассмотрена возможность обучения словаря фильтров WTT для повышения эффективности сжатия. Эффективность методов представлена в сравнении с дискретным косинусным преобразованием (применяемом в алгоритме сжатия JPEG). Также предложено решение для повышения эффективности современных алгоритмов сжатия видео.

### **Литература**

1. **Дворкович В., Чобану М.** Проблемы и перспективы развития систем кодирования динамических изображений // MediaVision. 2011. № 2. С. 55—64.
2. **Чобану М.** Многомерные многоскоростные системы обработки сигналов. М.: Техносфера, 2009. 480 с.
3. **Oseledets I.V.** Tensor-train decomposition // SIAM J. Sci.Comput. 2011. Vol. 33. No. 5. P. 2295—2317.
4. **Oseledets I.V., Tyrtyshnikov E.E.** Algebraic wavelet transform via quantics tensor train decomposition // INM RAS. 2010. Preprint 2010-03.

*А.С. Маковец, студ.; рук. В.Ю. Харитонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МЕНЕДЖЕРА ВИДЕОПАМЯТИ ГРАФИЧЕСКОГО АДАПТЕРА ПРИ ПОМОЩИ ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ВЫСОКОГО УРОВНЯ В РАМКАХ ГРАФИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГРАФИКОЙ**

В современном обществе компьютерная графика находит применение в разных областях, начиная с часов и заканчивая большими компьютерными станциями. Одной из важных и перспективных задач исследований является повышение эффективности использования видеопамати графического адаптера.

Драйвер графического адаптера имеет в своем распоряжении программу управления видеопаматью, но она недостаточно гибкая и не всегда может прийти к эффективному решению поставленной задачи. В связи с этим разработчики графических приложений вынуждены тратить много времени на самостоятельный анализ и поиск решений.

В качестве интерфейса взаимодействия с видеоадаптером была выбрана библиотека OpenGL (Open Graphic Library), которая предоставляет базовый набор функций для работы с графикой. Выбор библиотеки также обусловлен ее работоспособностью как на Windows, так и на системах Linux и т.п., благодаря этому в будущем будет возможность перенести результат проекта на любые платформы.

Результатом данного исследования является разработка универсального алгоритма управления памятью с целью увеличения производительности графического адаптера путем распределения загруженных моделей и текстур, а также сокращения вызовов на рисование объекта. В ходе доклада будут изложены основы отображения 3D-графики и предложены пути увеличения производительности адаптера в графических приложениях.

## **МИНИМИЗАЦИЯ СТОИМОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧИ В СРЕДЕ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ**

Перед потребителями мощных вычислительных ресурсов облачных провайдеров возникает существенная проблема минимизации расходов, связанных с выполнением задачи в этой среде. Эффективное использование эластичных облачных ресурсов (масштабирование соразмерно со спросом) требует разработки метода назначения на них прикладной задачи с учетом стоимости выполнения фрагментов задачи и передачи данных между вычислительными узлами [1].

Для решения данной проблемы были предложены и разработаны два метода планирования ресурсов для задач, выполняемых в среде облачных вычислений, с целью минимизации их общей стоимости выполнения. Стратегия назначения первого метода основана на выборе вычислительного узла с наибольшим быстродействием. Основой стратегии второго является метод глобальной оптимизации рою частиц.

В рамках выпускной бакалаврской работы автором осуществлена разработка и программная реализация двух перечисленных ранее методов назначения с помощью фреймворка с открытым исходным кодом Hadoop Apache, позволяющим развернуть кластер [2] в облачной среде и анализировать результаты выполнения приложения. Поставщиком облачного сервиса была выбрана компания Amazon [3].

Как показал сравнительный анализ двух разработанных методов, с точки зрения минимизации общей стоимости эвристический алгоритм на основе метода оптимизации рою частиц эффективнее. Графическим отображением полученных в ходе исследования данных стали графики зависимости общей стоимости выполнения и загруженности вычислительных узлов кластера от размера обрабатываемого файла для каждого метода.

Разработанные методы могут быть использованы в программно совместимых системах планирования в качестве основной или вспомогательной политики назначения задач.

### **Литература**

1. **Таненбаум Э., ван Стеен М.** Распределенные системы. Принципы и парадигмы. СПб.: Питер, 2003.
2. **Кластеры** на многоядерных процессорах / И.И. Ладыгин, А.В. Логинов, А.В. Филатов, С.Г. Яньков. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
3. **Salehi M.A., Buaya R.** Adapting market-oriented scheduling policies for cloud computing // Proceedings of the 10th Int'l Conference on Algorithms and Architectures for Parallel Processing (ICA3PP 2010).



*А.А. Нестеров, Йе Мин Зо, студенты;  
рук. И.В. Ашарина, к.т.н., доц. (НИУ «МИЭТ», г. Зеленоград)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АЛГОРИТМОВ РАНЖИРОВАНИЯ ВЕРШИН В МНОГОКОМПЛЕКСНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ**

При организации многозадачных параллельных вычислений в необслуживаемых многокомплексных многомашинных вычислительных системах (МВС) одной из важнейших является задача системного взаимного информационного согласования (СВИС) [1, 2]. Для решения этой задачи применяется ранжирование вершин, которое заключается в следующем. Каждый из комплексов МВС выполняет предназначенную для него задачу и после ее завершения вычисляет согласованное значение комплекса. Это согласованное значение необходимо передать в другие комплексы (комплексы-получатели) из передающего свое согласованное значение и называемого комплексом-источником [3].

Любой комплекс МВС может выступать как в роли источника, так и в роли получателя. Передача сообщений происходит по путям, построенным при выделении сред межкомплексных посылок [2].

Ранжирование вершин комплекса-получателя определяет порядок вычисления в нем согласованных значений комплекса-источника и соответствует орграфу посылок, приписываемому каждой из вершин комплекса-источника, имеющей непустую дизъюнктивную нормальную форму исходящей смежности с ЦВМ комплекса-получателя.

Целью данной работы является разработка программы моделирования работы процесса ранжирования вершин комплекса-получателя. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- 1) разработаны форматы представления входных и выходных данных;
- 2) выполнена программная реализация алгоритмов, обеспечивающих последовательное вычисление согласованных значений в вершинах 0 и последующих рангов.

### **Литература**

1. **Ашарина И.В., Лобанов А.В.** Выделение структурной среды системного взаимного информационного согласования в многокомплексных системах // Автоматика и телемеханика. 2014. № 6. С. 115—131.
2. **Ашарина И.В., Лобанов А.В.** Выделение комплексов, обеспечивающих достаточные структурные условия системного взаимного информационного согласования в многокомплексных системах // Автоматика и телемеханика. 2014. № 8. С. 146—156.
3. **Ашарина И.В., Лобанов А.В.** Ранжирование процесса системного взаимного информационного согласования в многокомплексных вычислительных системах // Материалы V Российской мультikonференции по проблемам управления. Санкт-Петербург, 9—11 октября 2012 г. С. 349—352.

*А.В. Осипов, асп.; рук. И.И. Ладыгин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ**

В последнее время множество различных компаний, работающих не только в IT-секторе, но и в других областях, стали всерьез присматриваться к технологиям виртуализации. Пользователи почувствовали надежность и удобство платформ виртуализации, позволяющих запускать несколько операционных систем в виртуальных машинах одновременно [1]. Технологии виртуализации позволяют функционировать нескольким операционным системам вместе со всеми службами на одном физическом компьютере. Таким образом, один физический сервер делится на несколько логических. Управляющая ОС позволяет добиться максимальной изоляции каждой ОС и ее служб от соседних ОС. Это обеспечивает безопасность каждой логической машины. Довольно часто виртуализацию применяют для малотребовательных сетевых служб [2], для которых содержание целых программно-аппаратных комплексов экономически не выгодно. Существует множество готовых технологий и платформ, использующих аппаратную виртуализацию: VMware, KVM, Hyper-V. Все логические ОС в них разделяют одни и те же аппаратные средства. Однако возникают сложности, когда эти аппаратные средства находятся в распределенной среде и доступ к ним осуществляется не напрямую. Готовые платформы виртуализации в таких случаях, как правило, накладывают определенные условия и ограничения, которые стоит учитывать.

Увеличение эффективности использования распределенных ресурсов является плодородной почвой для исследования и разработки новых методик, которые позволяют учитывать особенности алгоритмов выделения ресурсов для заданных прикладных задач при проектировании аппаратно-программной платформы распределенной системы с использованием ее математической модели. Применение этих методик позволяет в дальнейшем снизить коэффициент загрузки оборудования и направить освободившиеся ресурсы на новые задачи, повысив за счет этого экономическую прибыль.

### **Литература**

1. **Гришунин М.** Не виртуальные аспекты виртуализации [Электронный ресурс] // Электронный журнал Jet Info. 2008. № 8. URL: <http://www.jetinfo.ru/stati/newirtualnye-aspekty>
2. **Олифер В.Г., Олифер Н.А.** Сетевые операционные системы. СПб.: Питер, 2009. 669 с.

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРАФИКА В КОРПОРАТИВНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

Использование беспроводных технологий в корпоративных локальных сетях (КБС) связано со стремительным развитием вычислительной техники и появлением большого количества портативных пользовательских устройств (ППУ) [1]. Увеличение количества ППУ в сети и рост трафика данных от ППУ, вызванный развитием пользовательских приложений, приводит к появлению новых стандартов беспроводных сетей [2]. В беспроводных КЛВС (БКЛВС) перед администратором сети стоит задача увеличения пропускной способности исходящих от пользователей каналов связи (КС), т.е. выработка масштабируемых и надежных решений для беспроводных сетей. Однако невозможно развитие беспроводных технологий при отсутствии *нормативных* параметров пропускной способности (характеристик трафика, структуры сети, используемого оборудования, количества пользователей и параметров управления беспроводной средой). Для преодоления этих трудностей предлагается методика оценки качества обслуживания трафика пользователей, основанная на методе контуров [3], использующем вероятностно-временные характеристики компонентов, входящих в БКЛВС. Для определения характеристик компонентов используются измерительные средства, представленные программным обеспечением для генерации трафика: агентом SNMP (*Simple Network Management Protocol* — простой протокол сетевого управления) и NMS системой сетевого управления (*Network Management System*) [4]. С помощью NMS проводится установка параметров управления беспроводной средой и фиксация количества обработанных компонентом сети кадров (пропускная способность). С помощью агента проводится взаимодействие с NMS и применение устанавливаемых параметров на устройстве. В докладе приводятся результаты выполненных исследований.

### Литература

1. **Рошан П., Лиэри Д.** Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11: пер. с англ. М.: Изд. дом «Вильямс». 2004. 304 с.
2. **Широкополосные** беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишнеvский, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович // М.: Эко-Трендз, 2005. 592 с.
3. **Абросимов Л.И.** Базисные методы проектирования и анализа сетей ЭВМ: учеб. пособие. М.: Университетская книга, 2015. — 248 с.
4. **Кевин Дж. Шмидт, Дуглас Р. Мауро.** Основы SNMP. — 2-е изд. М.: Символ-Плюс, 2012. 520 с.

*Д.А. Смирнов, студ.; рук. А.В. Филатов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ И ГЛОБАЛЬНЫХ СЕТЕЙ С ПОМОЩЬЮ RIVERBED MODELER (OPNET MODELER)**

Важное значение при построении корпоративной сети играют ее будущая эффективность и согласованность характеристик, поэтому целесообразно ее первоначально промоделировать. Возможности физического моделирования при анализе сетей сильно ограничены. Действительно, при натурном моделировании вычислительной системы практически невозможно проверить ее работу для варианта с использованием большого количества коммуникационных устройств [1]. При имитационном моделировании сети не требуется приобретать дорогостоящее оборудование, так как его работа имитируется программно, достаточно точно воспроизводя все основные особенности и параметры такого оборудования.

Целью исследований являются:

- 1) обзор программы Riverbed Modeler и создание указаний и советов по ее эффективному использованию;
- 2) показ возможностей Riverbed Modeler и преимуществ перед другими средствами моделирования сетей ЭВМ;
- 3) показ возможности применения Riverbed Modeler для использования в обучающих целях для студентов;
- 4) исследование влияния выбора протоколов, оборудования, топологий на производительность сетей.

В связи с тем, что в рунете категорически мало материала по использованию Riverbed Modeler, данная работа будет также полезна инженерам для моделирования сети предприятия и внесения в нее необходимых изменений для получения необходимых результатов. Подход с использованием программы Riverbed Modeler имеет ряд преимуществ по сравнению с экспертной оценкой, например реакция сети в целом на нестандартную и сложно предсказуемую ситуацию. К преимуществам также относятся точность моделирования и использование не максимальных значений характеристик используемого вычислительного оборудования, а характеристик, учитывающих специфику использования этого оборудования в конкретном учреждении.

### **Литература**

1. **Олифер Н.А., Олифер В.Г.** Средства анализа и оптимизации локальных сетей. Центр информационных технологий, 1998.

Д.В. Сокин, студ.; рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ СХОДИМОСТИ АЛГОРИТМА МЕТОДА ТАНГЕНСОВ

Современные вычислительные сети (ВС), как правило, имеют довольно сложные структуры, которые следует учитывать при их проектировании. В зависимости от типа трафика (разомкнутый или замкнутый) при использовании метода контуров [1] для вычисления его временных характеристик составляются линейные или нелинейные уравнения баланса, а узлы ВС рассматриваются как одноканальные системы массового обслуживания с неограниченной очередью ( $M/M/1/\infty$ ). Составляемые при использовании данного метода нелинейные уравнения баланса для замкнутых участков сети имеют следующий вид:

$$f(\lambda_q) = n_q - \bar{n}_q = 0, \quad (1)$$

где  $n_q$  — количество сообщений в контуре  $q$ ;  $\bar{n}_q = \sum_{i=1}^{nm} \frac{\lambda_q}{\mu_i - \gamma_i \sum_{q \in i} \lambda_q}$  —

математическое ожидание количества сообщений в контуре  $q$ ;  $nm$  — количество узлов;  $\lambda_q$  — базовая интенсивность входного потока сообщений контура  $q$ ;  $\mu_i$  — интенсивность обработки сообщений узлом  $i$ ;

$\gamma_i = \frac{\sum_{q \in i} n_q - 1}{\sum_{q \in i} n_q}$  — коэффициент ограниченности очереди узла  $i$ .

Основной целью решения подобных нелинейных уравнений является нахождение неизвестных интенсивностей поступления сообщений ( $\lambda_q^0$ ).

В качестве метода для решения таких нелинейных уравнений был выбран метод тангенсов, предложенный профессором Л.И. Абросимовым [1]. В процессе исследования было установлено, что если при расчете пошаговой процедуры значение функции удовлетворяет условию

$n_q > f(\lambda_q^{(s)}) \geq 0$ , а все его слагаемые не отрицательны и при этом значение

$\lambda_q^{(s)} < \min_{i \in q} (\mu_i)$ , то на уровне расчета значения нелинейного уравнения отдельного контура алгоритм сходится. Для обеспечения сходимости на уровне итерационной процедуры была использована формула для определения порядка вычислений, так как при выборе в качестве начального контура с большим значением  $\lambda_q$  возможен случай расходимости алгоритма.

Использование данных ограничений для обеих процедур расчета гарантирует сходимость алгоритма при различных значениях исходных данных сети.

### **Литература**

1. **Абросимов Л.И.** Базисные методы проектирования и анализа сетей ЭВМ: учеб. пособие. М.: Университетская книга, 2015. 248 с.

## ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ПОТОКА ДАННЫХ ОТ ИСТОЧНИКА МНОЖЕСТВУ КЛИЕНТОВ

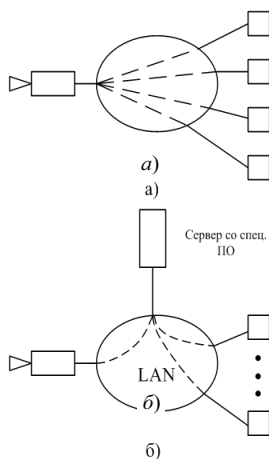
В настоящее время программное обеспечение, осуществляющее передачу потоков данных большому количеству клиентов, используется повсеместно. Подобное программное обеспечение находит применение в области доставки контента, передачи видео, аудио и прочих областях.

Одной из наиболее значимых сфер применения являются системы видеонаблюдения. В таких системах обычно есть программное обеспечение, которое передает видеопотоки с камер видеонаблюдения операторам. Такое программное обеспечение может поставляться разработчиками оборудования. Однако достаточно часто оно не работает со сторонним оборудованием и имеет существенные ограничения. Такое программное обеспечение может вообще отсутствовать, и операторы получают видеопотоки с камер напрямую, что очень сильно нагружает камеры и приводит к проблемам. Такое программное обеспечение может поставляться сторонними фирмами, которые устраняют подобные недостатки. Сценарии получения потока с камер, показаны на рис. 1.

Проектирование и разработка подобного программного обеспечения представляет собой нетривиальную задачу. При решении данной задачи необходимо обеспечить правильную обработку данных внутри программы, распределить выполняемые задачи между потоками исполнения и пр. Одним из наиболее интересных подходов к проектированию взаимодействия множества потоков исполнения в подобном программном обеспечении является событийный подход [1]. В этом исследовании рассматриваются и сравниваются различные подходы к проектированию подобного программного обеспечения для выявления наиболее подходящих подходов к конкретным задачам. В докладе раскрываются подходы к проектированию подобного ПО, а также детали проводимого исследования.

### Литература

1. **Dorian P. Yeager.** Object-Oriented Programming Languages And Event-Driven Programming, 2014.



**Рис. 1. Получение потока с камер:** *а* — напрямую (мало клиентов); *б* — с помощью спец. ПО (много клиентов)

## **ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММАХ С ЦЕЛЬЮ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПАМЯТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

Многие разработчики при создании алгоритмов своих прикладных программ заботятся в основном только о выполнении их логических и функциональных операций. Меньше уделяют внимания эффективному использованию этими программами структурных и функциональных особенностей вычислительных систем. В частности, при разработке алгоритмов обработки данных в прикладных программах важно учитывать структуру и параметры иерархии памяти вычислительной системы, а также системные алгоритмы ее функционирования [1, 2]. В зависимости от того, какой вариант алгоритма будет выбран для реализации в программе, время выполнения этой программы может значительно отличаться. Особо актуальна данная задача при осуществлении обработки больших объемов данных, располагаемых на разных уровнях иерархии памяти с разной емкостью и временем доступа. Удачно согласовав алгоритм обработки данных в программе с системным алгоритмом размещения данных в иерархии памяти, можно добиться существенного уменьшения времени выполнения программы.

Для написания эффективного кода программисты должны знать:

- 1) методы обхода кэша центрального процессора (ЦП);
- 2) методы оптимизации доступа к кэшу данных ЦП;
- 3) методы оптимизации доступа к кэшу инструкций ЦП;
- 4) способы предварительной загрузки данных в кэш ЦП;
- 5) способы выравнивания данных в памяти вычислительных систем;
- 6) порядок обхода данных в памяти вычислительных систем.

Понимая «узкие» места в памяти современных вычислительных систем и возможности их обхода в алгоритмах обработки данных, разработчик сможет писать эффективный код.

### **Литература**

1. **Ulrich Drepper**. What Every Programmer Should Know About Memory, 2007.
2. **Jonathan Rentsch**. Data alignment: Straighten up and fly right, 2005.



*С.В. Чернин, асп.; рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ В ОБЩЕМ ЧАСТОТНОМ РЕСУРСЕ СПУТНИКОВОГО КАНАЛА СВЯЗИ**

В связи с высокой стоимостью полосы пропускания спутникового канала связи (СКС) скорость передачи данных в тракте вычислительной сети (ВС) выбирается по минимуму, что создает риск прекращения обслуживания клиентов. Так как скорость, поддерживаемая СКС, меньше пиковых нагрузок ВС, то возникает необходимость в прогнозировании потребности полосы пропускания. Зная задачи, выполняемые компьютерами (ВС), можно определить типы и интенсивность трафика нагрузок, а также оценить вероятность возникновения блокировки передачи из-за занятости СКС. Множество станций СКС используют совместный радиочастотный ресурс, и решение задачи динамического выделения полосы пропускания повышает эффективность использования СКС и, как следствие, обеспечивает положительный экономический эффект, что обуславливает актуальность этой работы.

На данный момент производителями оборудования для организации распределенных централизованных ВС спутниковой связи не используется динамическое перераспределение полосы пропускания между станциями, что обусловлено прежде всего сложившимся порядком продажи услуг.

С целью разработки алгоритма, реализующего динамическое перераспределение полосы, были проведены экспериментальные исследования функционирования сетевого сегмента ВС, подключенного через СКС для выявления параметров и закономерностей, влияющих на потребность в полосе пропускания. На их основе были определены коэффициенты одновременной загрузки (КОЗ). Вследствие нелинейности КОЗ, определяющих нагрузку на СКС, и исходя из проведенных исследований по работоспособности используемых приложений в условиях дефицита пропускной способности СКС получены эмпирические формулы расчета пропускной способности СКС в зависимости от включенных сервисов и количества пользователей. Это дает возможность ввести метрики для критериев динамического выделения полосы пропускания СКС, по которым будет работать механизм динамического выделения полосы пропускания.

В докладе приведены численные значения параметров и коэффициентов, полученные в результате исследований.

*Е.С. Яковлев, К.Д. Круглов, студенты; рук. И.В. Ашарина, к.т.н., доц.  
(НИУ «МИЭТ», г. Зеленоград)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АЛГОРИТМОВ ВЫДЕЛЕНИЯ СРЕД МЕЖКОМПЛЕКСНОЙ ПОСЫЛКИ В МНОГОМАШИННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ**

В данной работе рассмотрены результаты реализации программы, которая моделирует алгоритмы выделения сред межкомплексного обмена в сбое- и отказоустойчивых системах, представленных в [2, 3]. Такие системы имеют возможность без участия человека: 1) обнаруживать возникающие неисправности; 2) идентифицировать их по типу и месту возникновения; 3) восстанавливать вычислительный процесс и реконфигурировать систему при отказах; 4) безопасно останавливать работу системы при такой степени управляемой деградации [1—3], при которой дальнейшее ее функционирование невозможно.

Для выполнения перечисленных действий отказоустойчивые системы предполагают необходимость выполнения системного взаимного информационного согласования (СВИС). Чтобы несколько задач могли параллельно обрабатываться и обмениваться данными, в таких системах организуется выделение комплексов (подсистем, решающих заданные задачи, с определенной степенью отказоустойчивости [2, 3]), сред межкомплексного обмена для организации передачи данных между комплексами и выполнению СВИС.

Для достижения поставленной цели на данный момент решены следующие задачи: 1) разработаны способы представления графовой модели МВС; 2) разработаны форматы представления входных и выходных данных; 3) выполняется программная реализация алгоритмов, обеспечивающих выделение комплексов в динамически реконфигурируемой сети.

### **Литература**

1. **Генинсон Б.А., Панкова Л.А., Трахтенгерц Э.А.** Отказоустойчивые методы обеспечения взаимной информационной согласованности в распределенных вычислительных системах // Автоматика и телемеханика. 1989. № 5. С. 3—18.
2. **Ашарина И.В., Лобанов А.В.** Выделение комплексов, обеспечивающих достаточные структурные условия системного взаимного информационного согласования в многокомплексных системах // Автоматика и телемеханика. 2014. № 8. С. 146—156.
3. **Ашарина И.В., Лобанов А.В.** Выделение структурной среды системного взаимного информационного согласования в многокомплексных системах // Автоматика и телемеханика. 2014. № 6. С. 115—131.

## Секция 17

# УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАТИКА В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*Председатель секции — к.т.н., доцент Д.Н. Анисимов*

*Секретарь секции — аспирант В.Н. Новиков*

*А.К. Абд Эльрахим, студ.; рук. М.Ю. Косинский, асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Использование солнечного света является одним из основных направлений в поиске альтернативного и экологичного источника энергии. Среди различных способов преобразования солнечной энергии солнечные батареи являются наиболее распространенными.

В настоящее время уже существуют малоразмерные суда, движимые с использованием фиксированных солнечных батарей. Также прорабатываются идеи о применении гибридных ветро-солнечных систем для уменьшения расхода традиционного топлива на крупных кораблях. Следует отметить, что при использовании солнечных батарей с системой управления ориентацией можно достичь значительного увеличения получаемой от них энергии по сравнению с фиксированным вариантом.

Особенностью работы подобной системы является необходимость учета перемещений водного судна как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. Кроме того, характеристики СБ могут меняться под действием различных факторов (температуры, деградации элементов). В результате условия работы регулятора могут отличаться от расчетных, что приведет к снижению эффективности управления.

В связи с вышесказанным, в данной работе рассматривается применение интеллектуального подхода, основанного на нейро-нечетких технологиях, для управления ориентацией батарей. Среди преимуществ такого подхода можно назвать возможность использования имеющихся знаний о требуемом поведении системы при различных воздействиях для управления, а также способность обучения системы в процессе эксплуатации [1].

Также нейро-нечеткие регуляторы хорошо работают в условиях наличия помех, неточностей описания объекта управления и внешних факторов [2].

Эффективность разработанной системы управления ориентацией солнечных батарей подтверждается результатами моделирования.

### **Литература**

1. **Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С.** Нечеткие модели и сети. М.: Горячая линия — Телеком, 2007.
2. **Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.** Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия — Телеком, 2006.

## ЛОКАЛЬНОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ КОРРЕЛЯЦИОННО- ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ

Задача корреляционно-экстремальных систем навигации (далее — КЭСН) состоит в статистическом поиске внутри обучающей выборки одной или нескольких записей, наиболее похожих на вектор текущих наблюдений [1].

Такая постановка задачи позволяет рассматривать решающие функции алгоритмов КЭСН как метрики расстояния для модифицированного метода  $k$ -ближайших соседей, применяемого в системах локального позиционирования [2].

В большинстве случаев в КЭСН применяется один из следующих алгоритмов — квадратичный разностный алгоритм или корреляционный алгоритм [3]. Результаты их применения, представленные на рис.1, свидетельствуют об эффективности применения корреляционных алгоритмов при решении задачи локального позиционирования с высокой точностью.

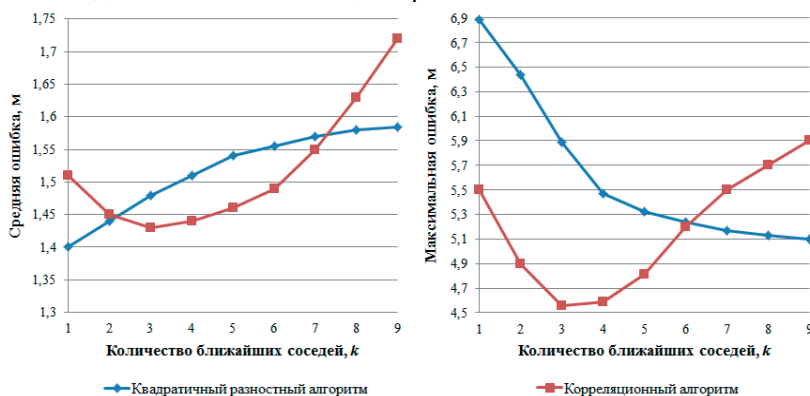


Рис. 1. Точность локального позиционирования при использовании алгоритмов КЭСН

### Литература

1. **Баклицкий В.К.** Корреляционно-экстремальные методы навигации и наведения. Тверь: ТО «Книжный клуб», 2009.
2. **Bahl P., Padmanabhan V.N.** RADAR: An in-building RF based user location and tracking system. // Proceedings of IEEE INFOCOM. 2000.
3. **Антюфеев В.И., Быков В.Н.** Сравнительный анализ алгоритмов совмещения изображений в корреляционно-экстремальных системах навигации летательных аппаратов // Авиационно-космическая техника и технология. 2008. Т. 48.

*В.С. Байжуманов, студ.; рук. А.Д. Золотов, к.т.н., доц.  
(ГУ им. Шакарима, г. Семей, Казахстан)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА СЫРЬЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ОБЖИГА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА**

В последние годы в Казахстане наблюдается значительное увеличение темпов роста строительства. Обеспечение эффективной финансово-хозяйственной деятельности строительных компаний зависит, в том числе, от качества и стоимости строительных материалов, в частности цемента. Основным сырьем для производства цемента является клинкер.

Наиболее сложным энергоемким процессом в комплексе операций производства цемента представляется обжиг клинкера.

Для обоснования критериев управления процессами обжига целесообразно использовать переменные, определяемые физико-химическими параметрами составляющих смеси.

В качестве моделей динамики процесса как объекта управления могут быть использованы уравнения теплового баланса, описывающие изменения физико-химических свойств сырьевой смеси в процессе обжига [1].

Обеспечение оптимальных параметров технологического процесса оказывает решающее влияние как на качество получаемой продукции, так и в целом на экономические показатели производства стройматериалов.

Новизна проведенных исследований заключается в том, что на основе исследований методов и моделей процесса термической обработки клинкера проведено определение оптимальных параметров обжига клинкера, полученного из материалов семейского региона.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- анализ и формализованное описание методов и моделей процесса термической обработки клинкера;
- разработка имитационной модели процесса термической обработки цементного клинкера и проведение имитационных экспериментов;
- разработка алгоритмов управления процессом термической обработки клинкера.

Результаты работы могут быть использованы для настройки оптимальных параметров обжига клинкера на ТОО «Казахцемент» г. Семей.

### **Литература**

1. **Емельянов В.В., Ясиновский С.И.** Имитационное моделирование систем: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009.

*А.А. Быкиев, студ.; рук-ли Т.К. Филимонова, к.ф.-м.н., с.н.с.;  
Р.Г. Минуллин, д.ф.-м.н., проф. (КГЭУ, г. Казань)*

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ АППАРАТУРОЙ ЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЛЭП**

Воздушные линии электропередачи (ЛЭП) охватывают огромные территории и являются наименее надежными элементами современной энергосистемы. Гололед, образовавшийся на проводах, оказывает дополнительную механическую нагрузку на провода и опоры, что может привести к разрушению линии. Поэтому своевременное обнаружение гололедных отложений является актуальной проблемой для электроэнергетики. Локационный метод зондирования [1, 2] является наиболее перспективным методом по обнаружению гололедных отложений на проводах. Определение появления гололедных отложений на проводах в данном методе осуществляется путем сравнения времени распространения и амплитуд отраженных сигналов при наличии и отсутствии гололедных образований.

Целью данной работы является автоматизация расчета и передачи на диспетчерский пункт данных локационного контроля гололедообразования на проводах ЛЭП. Для решения поставленной задачи разрабатывается программный комплекс на языке C#, который бы позволил решать следующие поставленные задачи:

- фильтровать помехи и выделять полезный локационный сигнал;
- определять затухание и запаздывание отраженных локационных сигналов;
- определять толщину гололедных отложений на проводах ЛЭП по изменению отраженных сигналов;
- передавать данные о наличии и толщине гололедных масс на пункт диспетчера по протоколу МЭК 60870-5-104.

Разрабатываемый программный комплекс позволит предотвратить возникновение аварий в зимний период, связанных с обрывом проводов на ЛЭП. Планируется его применение в аппаратуре, установленной на территории Татарстана, Башкортостана и Северного Кавказа.

Исследования осуществлены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства РТ в рамках научного проекта № 15-48-02243.

### **Литература**

1. **Локационное** обнаружение гололеда на воздушных линиях электропередачи / Р.Г. Минуллин, В.А. Касимов, Т.К. Филимонова, М.Р. Яруллин // Научно-технические ведомости СПбГУ. 2014. 2' (193).
2. **Минуллин Р.Г., Фардиев И.Ш.** Локационная диагностика воздушных линий электропередачи. Казань: Гос. энерг. ун-т, 2008. 202 с.

Ву Ань Хиен, асп.; рук. Т.В. Ягодкина, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ FALB—WOLOVICH ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ МНОГОМЕРНОГО ОБЪЕКТА ПО МОДЕЛЯМ ИДЕНТИФИКАЦИИ

В докладе представлен метод модального управления, предложенный Falb—Wolovich [1] для дискретной модели, полученной в результате идентификации, а также применение этого метода в системе адаптивного управления.

Для идентификации использовался метод, построенный на основе анализа подпространств.

Для получения векторов обратных связей  $P_b$  и  $P_f$  использовался метод Falb—Wolovich, и таким образом получено векторное управление

$$u_{\text{упр}} = P_f \cdot u_{\text{вх}} - P_b \cdot x, \quad (1)$$

представленное на рис. 1.

Была построена система уравнений, решением которой является векторное управление  $u_{\text{упр}}$ , согласно методике, изложенной в [1, 2]. В результате в секции Simulink MatLab был использован метод Falb—Wolovich, чтобы построить адаптивную систему для многомерного объекта ММО  $2 \times 2$ . Схема полученной адаптивной системы показана на рис. 2.

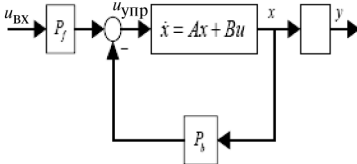


Рис. 1. Система с управлением обратной связью по методу Falb—Wolovich

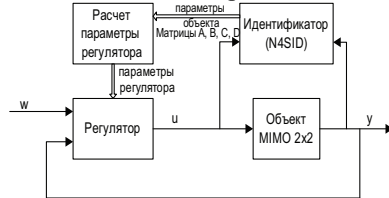


Рис. 2. Адаптивная система многомерного объекта ММО  $2 \times 2$

### Литература

1. Peter L. Falb, William A. Wolovich. Decoupling in the Design and Synthesis of Multivariable Control Systems // IEEE Transactions on automatic control. December 1967. Vol. AC-12. No. 6.

2. Ву Ань Хиен, Осина А.В. Построение библиотеки модулей в Simulink для модального управления многомерными системами с идентификатором // V Международная интернет-конференция InnoTech 2013, ПНИПУ. URL: <http://www.conference.msa.pstu.ru/publikacii/avtomatizaciya-i-upravlenie-tehnologicheskimi-processami-i-proizvodstvami/postroenie-biblioteki-modulei-v-simulink-dlya-modalnogo-upravleniya-mnogomernymi-sistemami-s-identifikatorom-avtory-vu-an-hien-osina/view>



*Е.С. Горбикова, А.В. Сахарова, студенты;  
рук. О.С. Колосов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ТЕСТИРОВАНИИ**

Определение частотных характеристик функционирующего объекта является одной из важных задач диагностики и управления таким объектом. Одним из малоизученных подходов к определению частотных характеристик динамического объекта является идентификация объекта импульсными последовательностями [1]. Причина этого кроется в необходимости раскладывания в ряд Фурье по гармоникам реакции объекта. Возможность технической реализации этой операции появилась только с развитием микропроцессорной техники. Однако простое сопоставление амплитуд и фаз гармоник выходного и входного сигнала приводит к погрешностям в определении частотных свойств объекта [2].

В докладе в общем виде определяются источники погрешности и даются их оценки при расчетах параметров частотных характеристик линейных объектов по результатам тестирования импульсными последовательностями. Дается количественная связь между величинами погрешностей, длительностью импульсов и периодом их следования. Результаты этой работы позволяют проводить построение частотных характеристик сетчатки глаза как динамического объекта путем использования записей отклика такого объекта в виде биопотенциала на действие внешних импульсных световых раздражителей. Получаемые частотные характеристики объекта меняют свой вид в зависимости от патологий и частот следования световых раздражителей. Формализация таких изменений в виде дополнительных признаков может позволить повысить эффективность создаваемых диагностических систем с применением нечеткой логики.

Работа проводилась при финансовой поддержке РФФИ (проект 13-01-00082а).

### **Литература**

1. **Особенности** диагностики динамического объекта при импульсных тестирующих воздействиях / О.С. Колосов, Е.И. Котова и др. // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: Сб. тр. XXIII Международного научно-технического семинара, 14—20 сентября 2014 г., Алушта. М.: ИКД «Зеркало-М», 2014. С. 35.

2. **Идентификация** динамических объектов диагностическими импульсными последовательностями / Д.А. Баларев, Е.С. Горбикова и др. // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: Сб. тр. XXIV Международной научно-технической конференции, 14—20 сентября 2015 г., Алушта. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. С. 86.

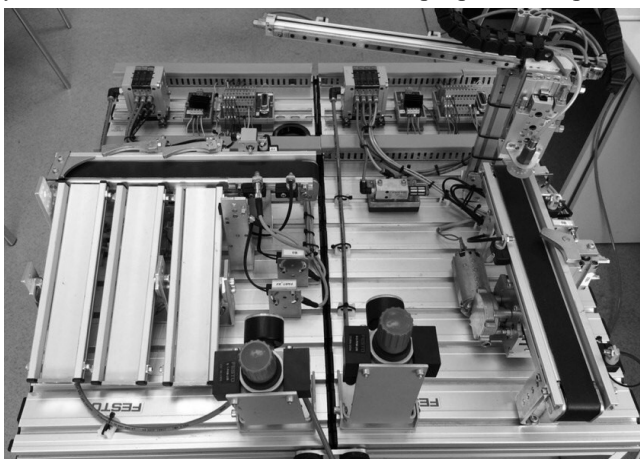
*Г.О. Гречин, студ.; рук. П.Е. Ганин, вед. инж. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛЬ БУФЕРНОЙ И СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИЙ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ СОСОРТИРОВКОЙ ДЕТАЛЕЙ**

Для имитации производственного процесса в лабораторных условиях компания Festo предлагает множество станций [1]. Рационально комбинируя отдельные станции, можно создать собственную производственную систему.

В ходе работы над проектом был разработан лабораторный комплекс, состоящий из двух работ. В этом комплексе использованы две станции Festo — буферная и сортировочная (рис. 1.). Каждая станция выполняет определенную функцию: буферная станция [2] осуществляет накапливание, пропуск и транспортировку деталей, сортировочная — проверку, перемещение и распределение деталей.

Управление станциями осуществляется посредством программируемых логических контроллеров Siemens CPU313-2DP. Передача данных между ними происходит по сети PROFIBUS. Для ручного управления сортировки деталей пультом Simulation box написан код программы в среде STEP7.



**Рис. 1. Внешний вид стенда**

### **Литература**

1. **Пашков Е.В., Осинский Ю.А.** Промышленные мехатронные системы на основе пневмопривода. СевНТУ 2007. 401 с.
2. **Головкин В.А., Могильников П.В.** Универсальная буферная станция. Центр подготовки Российско-Германский институт «МЭИ - Фесто» 2008. 55 с.

*Д.А. Демьяненко, студ.; рук. В.П. Гусев, к.т.н., доц.  
(НГТУ, г. Новосибирск)*

## **РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ БЕСПРОВОДНОЙ ИНТЕРАКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ОПРОСА В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

Применение интерактивных систем в учебном процессе позволяет значительно повысить качество образования, поэтому внедрение инновационных решений в методологию учебного процесса является актуальным вопросом. Одним из примеров таких систем является интерактивная система проведения опроса и голосования (ИСПО) — средство контрольно-оценочной деятельности, позволяющее оперативно организовывать обратную связь с аудиторией с целью проведения опросов и тестирования и автоматизировать обработку полученных результатов.

Общей целью работы является разработка аппаратной, алгоритмической и программной составляющих беспроводной ИСПО для использования в учебном процессе на базе ГУ имени Шакарима г. Семей в соответствии с техническим заданием.

Структура аппаратной части ИСПО состоит из модуля обработки сигналов и сопряжения с компьютером (ОССК) и модулей дистанционных пультов (ДП). Связь между модулями организована по радиоканалу, реализованному на базе трансиверов nRF24L01. Ядром модулей являются микроконтроллеры (МК) АТmega8, которые обеспечивают выполнение алгоритмической части работы ИСПО, реализуют протокол управления трансивером и осуществляют управление периферийными устройствами модулей ИССК и ДП [1].

Для сопряжения ОССК с компьютером было использовано схемотехническое решение программного способа организации преобразователя интерфейсов UART-USB на основе МК АТtiny2313. Одним из факторов новизны разрабатываемой ИСПО является возможность ее дальнейшего масштабирования на платформе концепции BYOD.

ИСПО может применяться не только в учебном процессе, но и на корпоративных совещаниях, при проведении конференций и семинаров путем расширения функциональных возможностей программной составляющей ИСПО (firmware и ПО для компьютера).

### **Литература**

1. Белов А.В. Конструирование устройств на микроконтроллерах. СПб.: Наука и техника, 2005. 256 с.

*О.В. Королёва, студ.; рук. А.И. Демьяненко, к.т.н.  
(ГУ им. Шакарима, г. Семей, Казахстан)*

## **ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ В СФЕРЕ ТОРГОВЛИ НА ПРИМЕРЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АПТЕК**

На сегодняшний день актуальна проблема выбора качественных лекарств, отвечающих по содержанию лечебных средств заданным критериям. Предложение лекарств на рынках имеет широкий диапазон, и потребителю не всегда просто разобраться в номенклатуре, лечебных свойствах и ценовом диапазоне лекарств [1].

Отсутствие широко разветвленной информационной сети не позволяет потребителям выбирать качественные лекарственные средства, отвечающие их финансовым возможностям.

Целью работы является разработка системы информационного поиска лекарственных средств, позволяющей из разных точек доступа (аптеки, больницы и т.д.) осуществлять поиск необходимого качественного лекарственного средства.

Анализ существующих информационно-поисковых систем показал, что их основным недостатком является их немасштабируемость, т.е. невозможность работы на разных вычислительных системах, что значительно сокращает их сферу использования [2—4]. Еще одним недостатком является сложный интерфейс общения между системой и ее пользователем.

Разработка масштабируемой информационно-справочной системы с интуитивно понятным интерфейсом, опирающейся на результаты исследований в этой области позволит устранить отмеченные недостатки. Внедрение такой системы в широкое обращение позволит производить поиск информации по имеющейся номенклатуре лекарственных средств в соответствии заданными критериями широкому кругу лиц, использующих различные технические средства.

### **Литература**

1. **Оптимизация** информационно-справочной деятельности аптек с помощью программных средств / И.В. Спичак, М.А. Журавель, А.А. Ясенев, А.С. Дудина // Научные ведомости. Серия Медицина. Фармация. 2013. № 11 (154). Вып. 22/2.
2. **Биосфера** [Электронный ресурс]. URL: <http://biosfera.kz/>
3. **Классификация** медицинских информационных систем. Электронный портал «Здоровая Чувашия». URL: <http://www.med.cap.ru/Page.aspx?id=558840>
4. **Аптека** [Электронный ресурс]. URL: <http://apteka.ru/>

*Е.И. Котова, студ.; рук. О.С. Колосов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛЬ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ЕЕ ЧАСТОТНЫХ СВОЙСТВ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ**

Разработка современных компьютерных систем диагностики сопровождается поиском ряда формализуемых признаков, характеризующих состояние диагностируемого объекта. При диагностике состояния динамического объекта важную роль играют его частотные характеристики и их изменение в зависимости от вида тестирующего сигнала. В качестве примера можно привести изменение амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) сетчатки глаза в зависимости от частоты тестирующих световых импульсов [1]. Визуально можно наблюдать, что эти изменения различны для разных видов патологий [2]. Однако извлечение формализуемых признаков из этих АЧХ без построения адекватной динамической модели практически затруднительно, так как только для линейных объектов с фиксированным видом АЧХ существующие методы идентификации позволяют получать оценки параметров передаточной функции, которые могут быть использованы при диагностике.

В докладе на примере изменений АЧХ сетчатки глаза в зависимости от частоты тестирующих световых импульсов показывается нелинейная связь между одноименными гармониками на выходе и входе объекта. Для реализации подобной связи в форме модели была предложена параллельная структура, в каждой из ветвей которой вводятся определенные линейные динамические звенья с фиксированными параметрами и нелинейные блоки в виде усилителей с зоной нечувствительности или насыщения.

Результаты этой работы позволяют получить ряд дополнительных признаков в виде параметров модели объекта с адекватной АЧХ, которые могут быть использованы для повышения эффективности создаваемых диагностических систем с применением мягких вычислений и, в частности, с использованием нечеткого логического вывода.

Работа проводилась при финансовой поддержке РФФИ (проект 13-01-00082а).

### **Литература**

1. **Особенности** диагностики динамического объекта при импульсных тестирующих воздействиях / О.С. Колосов, Е.И. Котова и др. // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: Сб. тр. XXIII Международного научно-технического семинара, 14—20 сентября 2014 г., Алушта. М.: ИКД «Зеркало-М», 2014. С. 35.

2. **Идентификация** динамических объектов диагностическими импульсными последовательностями / Д.А. Баларев, Е.С. Горбикова и др. // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: Сб. тр. XXIV Международной научно-технической конференции (14—20 сентября 2015 г., г. Алушта). М.: Издательский дом МЭИ, 2015. С. 86.

*И.Х. Кувантаев, студ.; рук. А.И. Демьяненко, к.т.н., и.о. доц.  
(ГУ им. Шакарима, г. Семей, Казахстан)*

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ДОЗИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЯЗКОПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

В условиях рыночной экономики получение многокомпонентных продуктов с заданными энергетическими и органолептическими характеристиками является актуальной задачей. Актуальным является также применение для этих целей энергосберегающих устройств, например на основе роторной технологии.

Целью работы является разработка программно-аппаратного комплекса управления получением продукта с заданными энергетическими и органолептическими характеристиками с применением роторных технологий и возможностью динамической подстройки дозирующих устройств.

Проведение исследований в области возможности использования бесконтактных способов определения характеристик вязкопластичных материалов, применяемых для получения многокомпонентных продуктов, позволяет разработать структуру, состав и техническую реализацию роторного устройства многокомпонентного дозирования с возможностью бесконтактного определения характеристик продукта и применения подстраиваемых дозирующих элементов.

Применение роторной технологии и динамически управляемых элементов дозирования в системе многокомпонентного дозирования определяет новизну разрабатываемого устройства.

В основу разрабатываемого устройства положено теоретическое обоснование построения систем многокомпонентного дозирования для получения продуктов с заданными энергетическими и органолептическими характеристиками [1].

### **Литература**

1. **Завгороднева Д.В., Никитина М.А.** Компьютерная система проектирования комбинированных мясных продуктов // Общеуниверситетская научная конференция молодых ученых и специалистов «День науки»: Сб. мат. в 4 ч. / под общ. ред. Ю.А. Тырсина. М.: ИК МГУПП, 2014.

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ НА РАБОТУ НЕЧЕТКОГО ПД-РЕГУЛЯТОРА**

В докладе представлены результаты исследования влияния различных варьируемых факторов на работу системы с нечетким ПД-регулятором второго рода [1]. Для оценки влияния параметров настройки нечеткого логического регулятора (НЛР) на динамику системы управления рассматриваются как процессы в замкнутой системе управления, так и характеристики самого НЛР как элемента системы. В качестве основных факторов рассматривались: диапазон изменения базовых шкал входных и выходных нечетких переменных, вид функций принадлежности термов, характер нечеткого соответствия между пространством предпосылок и пространством заключений [2], логический базис (Т-норма) степеней значимости подусловий в правилах нечеткого вывода. На основании проведенных исследований были сделаны следующие выводы.

При расширении диапазона базовых шкал входных переменных уменьшается влияние составляющих НЛР. При расширении диапазона базовой шкалы выходной переменной увеличивается общий коэффициент усиления. Однако при сужении диапазонов сильное влияние начинает оказывать нелинейность типа «насыщение», что делает неудобной настройку НЛР за счет изменения этого фактора. Изменение степени растяжения-сжатия функций принадлежности приводит к монотонному изменению составляющих НЛР, что позволяет использовать этот фактор для настройки НЛР. Изменение характера нечеткого соответствия также позволяет изменять свойства НЛР, но из-за того что при этом приходится изменять большое количество коэффициентов реляционной матрицы, такой способ представляется нецелесообразным. Плавный переход от одного логического базиса к другому приводит к скачкообразному и немонотонному изменению показателей качества системы, что делает невозможным использование этого фактора для настройки. Изменение степеней значимости подусловий реализуется наиболее просто и приводит к монотонному изменению свойств системы, поэтому настройка НЛР за счет этого фактора является предпочтительной.

### **Литература**

1. **Искусственный** интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов. М.: Наука, 2006.
2. **Анисимов Д.Н., Пискунова Ю.Ю.** Использование нефункциональных соответствий при построении нечетких систем управления // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 3. С. 18—21.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ МЕТОДОМ МОДУЛИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ

Доклад посвящен развитию метода модулирующих функций (ММФ) [1] для идентификации динамических объектов. Наряду с методом экспоненциальной модуляции (МЭМ) и методом Симою (МС) ММФ относится к классу интегрально-модуляционных методов, отличающихся высокой помехоустойчивостью, что обусловлено операцией интегрирования в алгоритме идентификации.

Ранее [2] проводился ряд исследований методов указанного класса, посвященных их сравнительному анализу по точности при различном уровне помех, вычислительной сложности, источникам погрешности и условиям применимости. Рассматривались метод Симою (МС), метод экспоненциальной модуляции (МЭМ) и метод модулирующих функций (ММФ). Среди указанных методов ММФ хотя и обладает наибольшей вычислительной сложностью, но по точности практически не уступает МЭМ и существенно превосходит МС, не накладывает ограничений на вид входного сигнала и начальные условия. Таким образом, ММФ можно охарактеризовать как достаточно перспективный метод, и в связи с этим представляет интерес исследование возможности повышения точности метода.

На данный момент достаточно хорошо изучены статистические свойства оценок параметров объекта при использовании ММФ для гармонических, полиномиальных, гауссовских функций и функции Пуассона [3]. В работе осуществляется поиск других модулирующих функций, которые могли бы позволить увеличить точность метода. Анализ точности осуществляется на основе безразмерного нормированного показателя качества [4]. Также рассматриваются ситуации, в которых ММФ неработоспособен в силу особенностей применяемых при выводе соотношений метода преобразований, и исследуется возможность обойти это ограничение.

### Литература

1. **Loeb J., Cahen G.** More about process identification // IEEE.Trans. Automatic Control. 1965. No. 3. P. 359—361.
2. **Анисимов Д.Н.** Сравнительный анализ интегрально-модуляционных методов идентификации линейных динамических объектов // Вестник МЭИ. 2015. № 2. С. 108—113.
3. **Тимошенкова Н.Ю.** Разработка адаптивных модуляционно-интегральных идентификаторов в АСУ ТП: дис. ... канд. техн. наук. М., 1997.
4. **Анисимов Д.Н., Хрипков А.В.** Разработка критерия качества оценивания параметров динамических объектов при идентификации различными методами // Междунар. конф. «Информационные средства и технологии» МФИ-2009. Москва, 20—22 октября 2009 г. С. 163—168.



*Д.В. Мясоедов, студ.; рук-ли А.Д. Золотов, к.т.н., доц.;  
А.И. Демьяненко, к.т.н. (ГУ им. Шакарима, г. Семей, Казахстан)*

## **РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ г. СЕМЕЙ**

Автоматизация процесса очистки сточных вод всегда имела большое значение для населенных пунктов, а с увеличением антропогенной нагрузки становится для окружающей среды решающей. Основной целью эксплуатируемых и вновь проектируемых очистных сооружений (ОС) является сокращение затрат при эксплуатации и повышение качества очистки сточных вод, что на сегодняшний день является актуальной задачей.

Целью работы является разработка структуры автоматизированной системы контроля технологических параметров (АСК ТП) ОС г. Семей и ее алгоритмического, информационного и технического обеспечения, опирающихся на результаты анализа состава и режимов работы технологического оборудования ОС.

Разрабатываемая АСК ТП предполагает трехуровневую блочно-модульную структуру, которая позволяет конфигурировать ее по заданным условиям эксплуатации оборудования ОС. Первый уровень АСК ТП представлен персональным компьютером и SCADA системой центрального диспетчерского пункта, персональным компьютером лаборанта. Второй уровень АСК ТП представлен микроконтроллерами объектов (МКО), состоящих из локальных микроконтроллеров оборудования (ЛМКО). Количество ЛМКО в составе МКО определяется количеством контролируемого на объекте оборудования. Третий уровень АСК ТП представлен ЛМКО, непосредственно контролирующими параметры работы оборудования [1].

Связь между элементами АСК ТП осуществляется посредством последовательного интерфейса с применением специального протокола передачи данных.

Автоматизированная система контроля технологических параметров позволяет контролировать эффективность работы технологического оборудования ОС г. Семей и управлять их работой в соответствии с заданными критериями.

### **Литература**

1. **Швецов Д.** Интеллектуальные системы хранения данных в АСУ ТП. Control engineering, Россия. М.: ООО «Трэйд Медиа Интернэшнл», 2012.

*Н.К. Нурманов, студ.; рук. Р.С. Бекбаева, к.т.н., доц.  
(ГУ им. Шакарима, г. Семей, Казахстан)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ**

Увеличение количества выпускаемой продукции, фасуемой в стеклотару, с одновременным увеличением рынка сбыта, требует наличия высококачественной стеклянной тары. Таким образом, производство качественной стеклотары является на сегодняшний день актуальной задачей, требующей разработки новых подходов в ее производстве, в том числе исследование режимов работы оборудования по производству стеклотары и систем управлением им.

Целью работы является оптимизация применения комплекса технического оборудования контроля работы печи и подготовки исходного материала для производства стеклотары.

На основе проведенных исследований выявлено, что основным недостатком работы печи является неравномерное распределение температуры по объему печи, что приводит к локальному перегреву исходного материала и снижению качества продукта на выходе [1].

Анализ распределения температуры по объему печи позволяет выявить проблемные зоны, требующие постоянного контроля и регулирования температуры.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить материальный баланс процесса горения угля с угольного месторождения «Қара Жыра», расположенного вблизи города Семей;
- рассчитать шихту из сырьевых материалов, добываемых в местных карьерах, для варки стекла определенного химического состава;
- разработать имитационную модель процесса термической обработки шихты и проведение имитационных экспериментов;
- совершенствовать методы дозирования шихты;
- разработать алгоритмы управления процессом варки стекла.

Полученные результаты позволяют на основе современных технических средств оптимизировать процесс производства стеклотары и повысить энергоэффективность процесса варки за счет равномерного распределения температурных полей внутри печей.

### **Литература**

1. Гулюян Ю.А. Технология стекла и стеклоизделий. Владимир, 2003. 478 с.

А.Д. Пронин, асп.; рук. О.С. Колосов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМПРЕССОРА С РЕЖИМОМ БАЙПАСИРОВАНИЯ

В связи с развитием управляющей вычислительной техники, работающей в реальном времени, в последнее время активно развивается направление, связанное с разработкой тренажеров различного назначения. Это могут быть тренажеры для настройки узлов автоматики, тренажеры для диагностики состояния узлов и цепей, тренажеры для обучения персонала, эксплуатирующего сложную технику и т.д. Одним из центральных элементов таких тренажеров является имитатор динамического объекта управления, реализуемый в виде компьютерной модели и подключаемый непосредственно к реальным управляющим устройствам.

В докладе обсуждается задача доработки существующей модели электроприводного газоперекачивающего агрегата (ЭГПА) [1] с целью реализации режима байпасирования. Этот режим на практике позволяет защитить ЭГПА от попадания в аварийный режим помпажа [2]. Показано, что включение байпаса с точки зрения теории управления — это создание своеобразного режима подключения положительной обратной связи к входу нагнетателя. При этом увеличивается объемный расход газа через нагнетатель, что позволяет уйти из опасной помпажной зоны, но одновременно растет температура перекачиваемого газа. В докладе приводятся и обосновываются основные допущения, на основании которых получены соотношения, позволяющие строить математическую модель с учетом байпасирования. Модель реализуется и проверяется в пакете MatLab (Simulink).

Результаты этой работы позволяют трансформировать полученную математическую модель ЭГПА в модель, работающую в реальном масштабе времени с помощью известных программных пакетов (например, Master SCADA). По существу, разработанная математическая модель может служить основой для построения моделей компрессоров с центробежными нагнетателями любых типов.

### Литература

1. **Динамическая** модель ГПА для исследований, диагностики и отладки подсистем управления компрессором / А.Ф. Гриценко, В.А. Зимин, О.С. Колосов и др. // Промышленные АСУ и контроллеры. 2010. № 6. С. 35—38.
2. **Динамическая** модель газоперекачивающего агрегата с имитацией режима байпасирования / С.А. Голиков, В.А. Зимин, О.С. Колосов, А.Д. Пронин // Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации: Тр. XXIV Междунар. науч.-техн. конф. 14—20 сентября 2015 г., Алушта. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. С. 95.

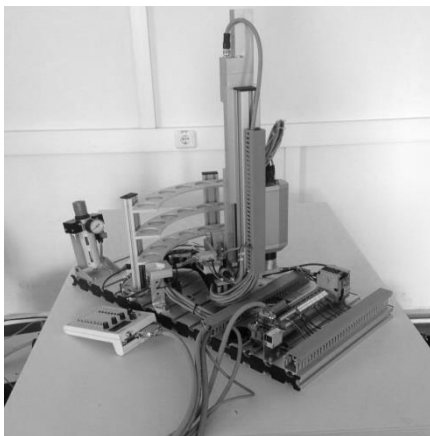
*А.А. Тамбовский, студ.; рук. П.Е. Ганин, вед. инж. («НИУ МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТАНЦИИ ХРАНЕНИЯ**

Для выполнения поставленной задачи за основу взята станция компании Festo под названием STORING STATION (рис. 1.).

В процессе выполнения данной работы был написан алгоритм для перемещения деталей с начальной подставки на ее конечное место на стеллаже, детали сортируются в зависимости от цвета. Также существует возможность выдачи любой детали, которая была доставлена на стеллаж на первом этапе программы. Для выбора детали для выдачи используется пульт управления SIMULATION BOX [1].

Программирование и управление станцией осуществляется при помощи логического контроллера компании Siemens CPU313C-2DP. Программа была разработана и написана в среде SIMATIC STEP 7 с использованием языков программирования GRAPH-S7 и STL [2].



**Рис. 1. Внешний вид станции**

### **Литература**

1. **Г. Бергер.** Автоматизация посредством STEP 7 с использованием STL и SCL и программируемых контроллеров SIMATIC S7-300/400. Germany, Siemens AG, 2001.
2. **Г. Бергер.** Автоматизация с помощью программ STEP7 LAD и FBD.

## ДИАГНОСТИКА ПАТОЛОГИЙ СЕТЧАТКИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

Вопросам оценки состояния сложного динамического объекта посвящено большое количество публикаций в отечественной и зарубежной литературе. В частности, этой проблеме уделяется серьезное внимание при построении интеллектуальных систем управления. Аналогичная задача возникает и при диагностировании неисправностей объектов. В данном докладе в качестве объекта исследования рассматривается сетчатка глаза. В работах, проведенных ранее, удалось выделить информационные признаки в виде координат экстремумов электроретинограмм (ЭРГ) [1] и параметров сетчатки как динамического объекта [2]. На их основе были построены нечеткие диагностические системы, которые обеспечивали распознавание патологий с достоверностью около 85 %.

Основой для выполнения данной работы являются известные методы нечеткой кластеризации состояний объектов на основе схожести признаков, характеризующих их состояния. При этом предполагается, что известны количество кластеров и координаты некоторых точек в пространстве признаков, относящихся к тому или иному кластеру. Поскольку состояние сложного объекта обычно характеризуется большим набором признаков, задача кластеризации в общем случае имеет довольно высокую размерность. Поэтому представляется целесообразным анализ различных комбинаций признаков с целью отбора наиболее информативных из них. В докладе показано, что для построения эффективной диагностической системы достаточно четырех признаков, представляющих собой различные соотношения координат экстремумов ЭРГ.

Рассмотрены различные метрики, задающие вид функций принадлежности, позволяющих наиболее достоверно отнести текущее состояние объекта к тому или иному кластеру. На основе методов нечеткой кластеризации построена диагностическая система, результатом работы которой являются нечеткие множества, отражающая степень уверенности в постановке того или иного диагноза.

### Литература

1. **Дифференциация** патологий сетчатки глаза на основе нечеткой логики / Д.Н. Анисимов, Ю.Ю. Астахова, Д.В. Вершинин и др. // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 2. С. 56—61.
2. **Использование** подстраиваемой динамической модели сетчатки глаза в компонентном анализе для диагностики патологий методами искусственного интеллекта / Д.Н. Анисимов, Д.В. Вершинин, О.С. Колосов и др. // Вестник МЭИ. 2008. № 5. С. 70—74.

*Д.Д. Трухачёв, студ.; рук. Г.А. Фомин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПО КОГНИТИВНОЙ МОДЕЛИ ПОСЛЕДСТВИЙ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ**

Одной из тенденций в развитии систем управления сложными объектами является использование в таких системах когнитивных моделей, позволяющих определить управляющие воздействия, обеспечивающие желаемое изменение состояния объекта.

Задача, решаемая методом прогнозирования по когнитивной модели, ставилась следующим образом: дана когнитивная модель и есть данные наблюдений за объектом управления. Предполагается принять некоторое управленческое решение, реализация которого приведет к известному изменению одного из факторов в когнитивной модели. Требуется по когнитивной модели спрогнозировать наиболее вероятные последствия этого решения.

Данная задача может возникнуть при выборе одного из нескольких возможных управленческих решений.

В процессе исследования был разработан метод, позволяющий по построенной когнитивной модели определить последствия присвоения заданному фактору значения. Метод реализован в виде совокупности из шести алгоритмов, объединенных общей логикой.

Рассмотрены шесть алгоритмов для разных сочетаний типов шкал факторов, каждый из которых анализирует, какое значение примет один фактор, если другому задать определенное значение.

Общая логика метода представляет из себя поиск и выстраивание иерархии связей, которые в последующем обрабатываются ранее упомянутыми алгоритмами.

Разработанные алгоритмы были реализованы в качестве отдельной функции в программном средстве поддержки использования когнитивной модели объекта управления. В программе пользователь вводит исходные данные: когнитивную модель и данные наблюдений за объектом управления. Результаты расчетов протоколируются, и пользователю предоставляется возможность их посмотреть.

Проведено тестирование программы на имитационных данных, а также выполнено решение задачи с данными реального объекта управления.

## АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ И НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОРРЕЛЯЦИИ

Для достоверного отображения объективно существующих процессов в любой предметной области необходимо выявить существенные взаимосвязи и дать им количественную оценку. Для этих целей зачастую применяют коэффициенты парной корреляции. Однако из-за существенных ограничений на применение параметрических коэффициентов корреляции, таких как, например, нечувствительность к нелинейностям, чувствительность к выбросам и объему выборки, полученные числовые оценки степени связи не всегда адекватно ее описывают. Цель исследования, представленного в докладе, заключается в проведении сравнительного анализа работоспособности параметрических и непараметрических показателей корреляции при нарушении ключевых предпосылок параметрического анализа. Исследуемая зависимость между случайными величинами  $X$  и  $Y$  задается линейным соотношением

$$Y = X + K E,$$

где  $X, E$  — независимые случайные величины с некоторыми законами распределения и числовыми характеристиками (математическое ожидание) и  $\sigma_x^2$  (дисперсия);  $K$  — параметр, определяющий степень зашумленности входной величины  $X$ . Методом компьютерного моделирования проведен анализ работоспособности коэффициентов корреляции Пирсона и Спирмена для случайных величин с законами распределения, отличными от нормального, и разной степенью коррелированности на выборках разного объема. Расчет оценок коэффициентов и анализ их значимости, проведенный в среде ППП Statistica 10 для случайных величин с распределениями из семейства бета-распределений, логнормального, Лапласа и Коши, показал:

- оба показателя эффективны при отклонении закона распределения от нормальности на выборках достаточно большого объема ( $N = 100$ );
- на выборках малого объема ( $N = 5$ ) ни один из показателей корреляции не дает адекватного представления о наличии взаимосвязи;
- коэффициент корреляции Спирмена оказывается предпочтительнее при отклонении закона распределения от нормального на выборках среднего объема ( $N = 20$ ).

*Е.В. Фёдорова, студ.; рук. Д.Н. Анисимов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА**

В настоящее время широкое распространение получили регуляторы, основанные на алгоритмах нечеткого логического вывода [1] (нечеткие логические регуляторы, НЛР). Исходной информацией для них служат знания экспертов, их субъективная оценка, формализованная при помощи построения функций принадлежности термов входных и выходных лингвистических переменных, и установления нечеткого соответствия между пространством предпосылок и пространством заключений [2]. Несмотря на накопленный опыт успешного применения НЛР, вопросы его целенаправленной настройки остаются еще не решенными. Это связано с недостаточной изученностью динамических свойств НЛР.

В докладе представлен программный комплекс, предназначенный для исследования характеристик нечеткого регулятора при изменении его настроек.

Исследуемыми характеристиками НЛР являются:

- статические характеристики;
- спектры выходных сигналов;
- амплитудно-частотные и фазовые частотные характеристики;
- переходные процессы в замкнутой нечеткой системе управления.

В качестве настроек регулятора рассматриваются:

- вид функций принадлежности нечетких переменных, составляющих терм-множества лингвистических переменных;
- характер нечеткого соответствия между пространством предпосылок и пространством заключений (база правил) [3];
- выбор того или иного логического базиса (Т- и S-норм);
- степени значимости подусловий при их агрегировании.

### **Литература**

1. **Анисимов Д.Н.** Нечеткие алгоритмы управления: учеб. пособие. М.: Издательство МЭИ, 2004.
2. **Pedrycz W.** Fuzzy Control and Fuzzy Systems. New York: John Wiley and Sons, 1993.
3. **Анисимов Д.Н., Пискунова Ю.Ю.** Использование нефункциональных соответствий при построении нечетких систем управления // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 3. С. 18—21.



*Д.В. Хрипков, асп.; рук. О.С. Колосов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕЧЕТКИХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МНОГОТЕРМОВЫХ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ**

Возникновение многоуровневых диагностических систем, базирующихся на мягких вычислениях [1] обусловлено необходимостью повышения эффективности их работы в условиях отсутствия достаточной статистики по связям между видами патологий (неисправностей) диагностируемого объекта и значениями формализованных признаков, характеризующих качество его работы. Подобные системы оценивают степени соответствия всех возможных патологий, и выбирается тот диагноз, степень соответствия которого приближается к единице. Вместе с тем в [2] показано, что использование простых двухтермовых функций принадлежности во многих вариантах наборов признаков, получаемых с использованием статистической модели объекта, приводит к ошибочным или трудно различимым диагнозам.

В докладе приводятся результаты исследований по сравнительному анализу эффективности диагностических подсистем нижнего уровня с разным числом треугольных термов функций принадлежности. Показывается, что треугольная форма термов является предпочтительной для подобных систем, а количество самих термов должно быть не менее числа диагностируемых патологий. Даются рекомендации по формированию многотермовых функций принадлежности, позволяющих повысить эффективность работы всей многоуровневой диагностической системы на базе нечеткого логического вывода. Исследования проводятся на прототипе системы диагностики патологий сетчатки глаза. Система призвана ставить диагнозы из пяти возможных патологий при наличии девяти формализованных признаков.

Работа проводится при финансовой поддержке РФФИ (проект 13-01-00082а).

### **Литература**

1. **Колосов О.С., Анисимов Д.Н., Хрипков Д.В.** Исследование многоуровневых нечетких диагностических систем с использованием стохастической модели. // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. Т. 16. № 4. С. 254—261.
2. **Исследование** эффективности многоуровневых систем диагностики на базе стохастической модели / Д.Н. Анисимов, Д.В. Вершинин, М.В. Зуева и др. // Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации: Труды XXIV Международной научно-технической конференции 14—20 сентября 2015 г., Алушта. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. С. 85.

## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ИНДЕКСА ФРАКТАЛЬНОСТИ В ЗАДАЧЕ АПОСТЕРИОРНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ РАЗЛАДКИ ФРАКТАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Рассматривается задача апостериорного обнаружения разладки фрактального процесса  $X(i)$ . В работе [1] приведен алгоритм вычисления геометрического индекса фрактальности  $\gamma$  и параметра суммарной кривизны  $sk(i)$ :  $sk(i) = \gamma i + a$ , где  $i$  — текущее время наблюдения. Наиболее просто обнаружение разладки фрактального процесса может быть осуществлено путем выявления факта изменения угла наклона суммарной кривизны (рис. 1).

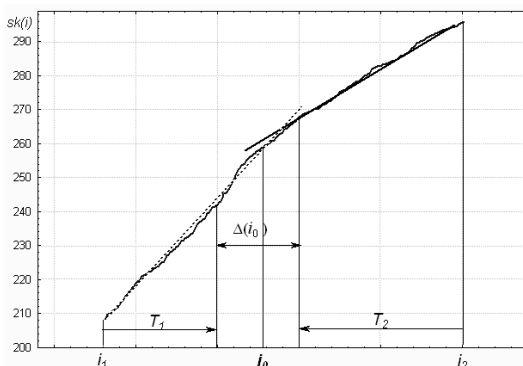


Рис. 1. Поведение кривой  $sk(i)$  при изменении показателя Херста на интервале наблюдения

В качестве оценки неизвестного момента изменения  $i_0$  можно использовать значение  $\hat{i}_0$ , рассчитываемое как точка пересечения прямых, аппроксимирующих график суммарной кривизны:  $sk(i) = a_1 + \gamma_1 i$ ,  $i = i_1, i_1 + 1, \dots, i_0 - 1$ ;  $sk(i) = a_2 + \gamma_2 i$ ,  $i = i_0, i_0 + 1, \dots, i_2$ . Тогда точка пересечения записывается в виде

$$\hat{i}_0 = \frac{|\hat{a}_1 - \hat{a}_2|}{|\hat{\gamma}_1 - \hat{\gamma}_2|}.$$

Случайная величина  $\hat{i}_0$  является нелинейной функцией четырех случайных величин:  $\hat{a}_1$ ,  $\hat{a}_2$ ,  $\hat{\gamma}_1$ ,  $\hat{\gamma}_2$ , поскольку значение  $i_0$  неизвестно, временные интервалы, которые можно использовать для оценивания коэффициентов каждой из прямых, меньше, чем указанные выше. Если обозначить их число как  $T_1$  и  $T_2$ , то должны выполняться условия:  $i_1 + (T_1 - 1) < i_0$ ;

$i_2 - (T_2 - 1) > i_0$ . Тем самым в окрестностях точки  $i_0$  создается некоторый интервал неопределенности  $\Delta(i_0) = (i_2 - i_1) - (T_1 + T_2)$ , который на начальных этапах оценивания обычно приходится выбирать достаточно широким. Для уменьшения интервала неопределенности предлагается подход, основанный на использовании метода прямого-обратного прогона процедуры фрактального АКС (АКС-Ф) [2], что позволяет весьма эффективно выделять интервалы изменения фрактальных свойств анализируемого фрактального процесса.

### Литература

1. **Филаретов Г.Ф., Червова А.А.** Геометрический индекс фрактальности одномерных процессов // Вестник МЭИ. 2013. № 5. С. 134—139.
2. **Филаретов Г.Ф., Червова А.А.** Последовательный алгоритм обнаружения разладки фрактальных временных рядов // Вестник МЭИ. 2015. № 3. С. 102—109.

*В.Д. Шорин, Р.Р. Романов, студенты; рук. Д.В. Шилин, м.н.с.  
(НИУ «МЭИ»)*

## **СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ И СОРТИРОВКИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА**

В настоящее время значительно возрос интерес к разработке автоматических систем для идентификации, анализа и последующей сортировки крупного рогатого скота.

В ходе разработки системы идентификации, были проанализированы уже существующие системы. При модулировании передаваемого сигнала за основу было взято манчестерское физическое кодирование. В посылке присутствуют: стартовый бит, бит четности, 13 бит полезной информации, стоп бит, синхронная пауза из 16 бит. При написании программного обеспечения была создана программа по прерыванию и использована трехкратная проверка полученного числа (номер объекта). Разработка велась на российском контроллере фирмы «ОВЕН» ПЛК110-30 M01. Программное обеспечение CodeSys, язык ST.

Для сбора информации о крупном рогатом скоте были использованы: тензометрические весы, доильная установка со встроенным датчиком температуры, каждое перемещение исследуемого животного фиксируется с использованием оптических диффузорных датчиков [1]. Вся полученная информация поступает в OPC-сервер, далее в MasterScada и базу данных MySQL. SQL-скрипт отбирает всю собранную информацию по номеру, полученному от животного с носимого ошейника. После анализа поступает сигнал на распределители пневмоцилиндров, открываются либо левые ворота, либо правые. В данном комплексе выход в левые ворота дает возможность провести медицинскую диагностику животного, при выходе в правые ворота — выход в поле.

Актуальность данной разработки обусловлена тем, что импортозамещение отечественными аналогами имеет перспективное значение в данный период времени.

### **Литература**

1. Краусп В.Р. Научные методы и опыт компьютеризации управления инновационными проектами АПК. Молодежная научная школа. Интернет- и нанотехнологии. Предприятия-автоматы. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. 336 с.

## **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ**

*Председатель секции — к.т.н., профессор Ю.А. Казанцев*

*Секретарь секции — к.т.н., зав. каф. ЭФИС С.В. Вишняков*

*А.О. Алексеев, студ.; рук. А.Н. Серов, ст. пр. (НИУ «МЭИ»)*

### **ОДНОКАНАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ РЕГИСТРАТОР ПАРАМЕТРОВ МОЩНОСТИ**

В связи с активным развитием и постоянным внедрением электрического оборудования, а также растущих требований к качеству электроэнергии, появляется необходимость в небольших, дешевых и структурно простых измерителях-регистраторах, способных выполнять измерения параметров качества электроэнергии с точностью, удовлетворяющей современным нормативным документам.

В ходе выполнения работы был разработан измеритель-регистратор параметров мощности, рассчитанный на использование в электрических сетях переменного тока 0,4 кВ. Измеряемые величины — активная, реактивная и полная мощности первых 40 гармоник. Усредненные среднесуточные параметры записываются в память с возможностью их передачи пользователю на внешнее устройство (например, персональный компьютер) посредством интерфейса USB.

В приборе используется метод, основанный на спектральном анализе сигнала: после приведения в цифровую форму микроконтроллер осуществляет дискретное преобразование Фурье полученных с помощью АЦП выборок напряжения и тока. Данный метод был выбран из-за простоты реализации алгоритмов вычисления параметров мощности отдельных гармоник сигналов, т.к. формирование среднесуточных значений параметров будет точным лишь тогда, когда регистрация мгновенных значений в течение суток будет происходить без потерь данных, вызванных недостаточной скоростью выполнения обработки сигналов.

Синхронизация моментов выборок напряжения и тока происходит на аппаратном уровне с помощью двухканального АЦП, способного выполнять выборки сигналов одновременно для обоих каналов. Таким образом, исключается методическая погрешность измерения, связанная с неодновременностью выборок тока и напряжения.

Конструктив прибора не предполагает наличия собственных органов управления: управление и считывание данных происходит посредством внешнего устройства (например, персонального компьютера). Поскольку разрабатываемый прибор подключен к электрическим сетям переменного тока до 0,4 кВ, то при разработке была предусмотрена схема гальванического разделения между его аналоговой и цифровой частями. Это позволяет повысить безопасность пользователя от поражения электрическим током, а также улучшить метрологические характеристики устройства за счет снижения взаимного влияния аналоговой и цифровой частей прибора.

*И.Т. Галиев, асп.; рук-ли И.Н. Желбаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»);  
А.Ю. Хренников, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТОКА, ОСНОВАННЫЙ НА ЭФФЕКТЕ ФАРАДЕЯ**

В настоящее время активно разрабатывается концепция цифровой подстанции [1], в которой организация всех потоков информации осуществляется в цифровой форме. Актуальность построения цифровых подстанций обуславливает разработку цифровых устройств для измерения параметров трансформаторов тока. В качестве одного из таких устройств предлагается измерительный преобразователь тока, использующий эффект Фарадея.

При прохождении поляризованным световым сигналом через магнитное поле, создаваемое током, плоскость поляризации сигнала подвергается повороту на угол Фарадея. Далее сигнал подвергается линейной поляризации и поступает на фазовый детектор, который формирует напряжение, пропорциональное разности фаз исходного и преобразованного сигналов.

Устройство состоит из микроконтроллера семейства TMS 320 фирмы Texas Instruments с 12-разрядным АЦП конвейерного типа, фазового детектора AD8302 фирмы Analog Devices, а также оптического приемопередатчика фирмы Laser Components типа FBLD-785-1.60-FC-6Pin. Для взаимодействия с устройством выбран OLED дисплей Volymin BL1002A, для хранения информации выбрана микросхема памяти типа FM25L16.

Погрешность устройства состоит из погрешности оптического приемопередатчика, погрешности преобразования фазового детектора и погрешности АЦП. Основной вклад в аддитивную составляющую погрешности оказывает фазовый детектор.

В докладе представлена принципиальная схема измерительного преобразователя. Проведена оценка погрешности измерения силы тока: при количестве витков оптоволокну вокруг токопровода  $N = 100$  погрешность измерения достигает 0,030 %. Возможно внедрение устройства в составе системы коммерческого учета электроэнергии на «Цифровую подстанцию» ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» [2].

### **Литература**

1. **Опытный** полигон ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» — первая в России «Цифровая подстанция» 110 кВ, использующая стандарт IEC 61850 (-8-1 и -9-2LE) / Ю.И. Моржин, С.Г. Попов, А.А. Румянцев, М.Д. Ильин // Энергия Единой сети. 2014. № 3.
2. **Власов М., Сердцев А.** Высоковольтные оптические преобразователи для систем измерения и анализа качества электрической энергии // Энергорынок. 2006. № 10.

## **КОДИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ КАК СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЖИДКОСТНОГО РАСХОДОМЕРА**

В настоящее время в расходомерии [1] широко применяются приборы, реализующие ультразвуковые (акустические) методы определения расхода жидкости. В современных зарубежных приборах имеет место использование кросскорреляционного метода измерения расхода (ККМ) [2], который фактически является модификацией времяимпульсного метода [1].

Суть ККМ состоит в определении скорости потока жидкости как функции временного сдвига между зондирующими сигналами, распространяющимися поперек трубопровода под углом к его оси вдоль и против направления потока. Временной сдвиг находится в результате последующего вычисления кросскорреляционной функции (ККФ) этих сигналов.

Необходимым условием реализации ККМ является достоверность выявления глобального максимума ККФ. Поскольку ККФ является периодической функцией, то существует вероятность возникновения ошибки при поиске глобального максимума ККФ и, как следствие, грубой погрешности измерения расхода, т.е. метрологического отказа.

Для повышения метрологической надежности (МН) следует стремиться к получению ККФ, глобальный максимум которой с достаточно большой вероятностью отличим от любого локального максимума. Соответственно существует необходимость учитывать корреляционные свойства самих зондирующих сигналов, поскольку они влияют на вид ККФ. С этой целью возможно применение кодирования зондирующих сигналов (например, с помощью последовательностей или кодов Баркера) [3].

Однако эффективность применения кодов Баркера может оказаться недостаточной вследствие искажения формы зондирующих сигналов при их трансформации электроакустическим преобразователем (ЭАП) в силу различных особенностей ЭАП и в условиях присутствия шумов.

В докладе показана зависимость МН от вида кодирования зондирующих сигналов с учетом реальных свойств ЭАП. В результате анализа сформулированы требования к параметрам ЭАП, в частности АЧХ и ФЧХ.

### **Литература**

1. **Кремлевский П.П.** Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник. Л.: Машиностроение, 1989. 701 с.
2. **Jacobson S.A., Lynnworth L.C., Korba J.M.** Differential correlation analyzer. Пат. США US4787252. МКИ G01F 1/66. 29.11.1988.
3. **Варакин Л.Е.** Теория сложных сигналов. М.: Советское радио, 1970. 376 с.



*К.В. Краюшкин, асп.; рук. В.М.Геворкян, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **АЛГОРИТМ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ЦЕПИ ГЕНЕРАТОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

Актуальность задачи мониторинга состояния изоляции высоковольтной обмотки измерительных трансформаторов напряжения (ТН) в цепи генераторного напряжения электрических станций (ЭС) определяется серьезными последствиями как экономического, так и социального характера, вызванными отказом работы ТН в ней. Предлагаемый алгоритм мониторинга состояния изоляции (штатного функционирования) ТН основан на особенностях цепи генераторного напряжения электрических станций, содержащей более трех таких ТН, подключенных к одной фазе. При этом измерение в режиме реального времени одинаковых параметров (тока в первичной высоковольтной обмотке или напряжения на вторичной низковольтной обмотке) ТН и сравнение полученных значений (анализ динамики их изменения) позволяет выявить тот ТН, который со временем начинает отличаться от остальных, а значит, потенциально представляет опасность, в том числе и по состоянию изоляции в высоковольтной обмотке.

Выбор базового параметра для оценки состояния ТН (или, точнее, состояния изоляции высоковольтной обмотки) и разработка алгоритма сравнения проведены на основе анализа эквивалентной схемы (в среде PSpice) реального ТН типа ЗНОЛ, работающего в штатном режиме, близком к холостому ходу на вторичной обмотке. Установлено, что оптимальным параметром для сравнения режимов в ТН является ток в первичной высоковольтной обмотке, а его изменение в результате перекрытия витков в этой обмотке лежит в пределах от 14 мкА при коротке 10 витков до 3,2А при коротком замыкании на 40 000 витков (из 50 000 витков первичной обмотки), что с погрешностью менее 10 %, достаточной для обеспечения своевременного отключения аварийного ТН, идентифицируется с применением 12-разрядных АЦП. Проведенный анализ возможных схем построения АЦП, формирующих систему оценки состояния обмоток 10 ТН, включенных в одну фазу сети генераторного напряжения, показал достаточность применения одного АЦП, обеспечивающего процесс измерения действующих значений напряжений на измерительных резисторах в первичных обмотках всех 10 ТН на основе мультиплексирования.

Экспериментальная оценка достоверности полученных рекомендаций предполагается на основе физического моделирования короткого замыкания обмотки в ТН.

*А.Д. Манякин, студ.; рук. В.И. Диденко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОСВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНОМ НОРМИРОВАНИИ ПРЕДЕЛОВ ДОПУСКАЕМЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

Косвенные измерения широко известны, а оценка их точности регламентирована стандартами [1]. Если прямые измерения, необходимые для нахождения результата косвенных измерений, проводятся с помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП), то возможно снижение погрешности за счет компенсации аддитивных и мультипликативных погрешностей [2].

Целью работы является исследование взаимосвязи погрешности косвенных измерений при использовании для прямых измерений технических устройств с различным видом нормирования точности.

В настоящее время сложились два типа измерительных устройств: с нормированием предела допустимой полной погрешности (например, мультиметры) и с нормированием пределов допустимых частных погрешностей, из которых основное значение обычно имеют аддитивная и мультипликативная погрешности, а также погрешность линейности (нелинейность). Ко второму типу относятся АЦП в интегральном исполнении и системы сбора данных в модульном исполнении. Для некоторых приборов первого типа дополнительно нормируется нелинейность [3]. С помощью простых выражений можно привести такие устройства ко второму типу.

Указанные соображения были использованы при измерении индуктивности короткого замыкания трансформатора напряжения в диапазоне частот от 20 Гц до 2 кГц методом трех вольтметров. В качестве вольтметра использовался мультиметр 3401А фирмы Agilent Technologies [3]. В данном эксперименте влияние мультипликативных погрешностей исключается, систематические аддитивные погрешности были пренебрежимо малы, а погрешность линейности и аддитивная погрешность были найдены экспериментально.

Оценка погрешности измерения проводилась как по известным методикам [1], так и по уточненным. Расхождение достигало десятков процента.

### **Литература**

1. **Сернеев А.Г., Крохин В.В.** Метрология. М.: Лорос, 2001. 376 с.
2. **Attivissimo F., Giaquinto N., Savino M.** Worst-case uncertainty measurement in ADC-based instruments. *Computer Standards & Interfaces*. 29 (2007). P. 5—10.
3. **Agilent Technologies**, User's Guide, 3401A Multimeters, Inc. 1991. 2012.

*Д.С. Матыцин, студ.; рук. Г.В. Антипов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ И БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ОБРАБОТКИ МОДУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА УСТРОЙСТВОМ НА БАЗЕ ЦИФРОВОГО СИГНАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА**

Датчики с выходным модулированным сигналом широко используются в ультразвуковой диагностике в промышленности и медицине, акустике, геодезии, радиотехнике и др. Выделение информативных параметров выходного сигнала таких датчиков выполняется демодуляторами. С появлением быстродействующих АЦП и цифровых сигнальных процессоров (ЦСП) операция демодуляции может быть эффективно реализована в цифровом виде [1].

Целью работы является исследование взаимосвязи точности и быстродействия выполнения операции демодуляции для амплитудно-модулированного сигнала ультразвукового диапазона.

Входным сигналом устройства является амплитудно-модулированный сигнал с частотой несущей  $f_c$  и частотой огибающей в диапазоне  $\Delta f$ . Входной сигнал преобразуется в код АЦП с частотой дискретизации  $f_{s1}$  и поступает в ЦСП. Для выделения огибающей отсчеты АЦП обрабатываются с помощью алгоритмов цифровой демодуляции посредством ЦСП и затем с более низкой частотой  $f_{s2}$  поступают на ЦАП для преобразования в напряжение. Выполнение цифровой демодуляции осуществляется в соответствии с известной моделью [2].

Погрешность демодуляции зависит от параметров АЦП, ЦАП, алгоритма и ограничений в вычислительных узлах ЦСП. При моделировании алгоритма демодуляции в пакете MatLab был оценен вклад в результирующую погрешность шумов АЦП, АЧХ цифрового ФНЧ, преобразователя Гильберта и вычислительных процедур, выполняемых ЦСП с фиксированной точкой.

Быстродействие процедуры цифровой демодуляции зависит от быстродействия АЦП, ЦАП, ЦСП, порядков цифровых фильтров и преобразователя Гильберта, типа используемых вычислительных процедур. Время выполнения цифровой демодуляции было определено для моделей конкретных АЦП (AD7264), ЦАП (AD5060), ЦСП с фиксированной точкой (ADSP-BF504F). Показано, что при частоте дискретизации АЦП  $f_{s1} = 200$  кГц, ЦАП  $f_{s2} = 10$  кГц, в реальном времени может быть обработан амплитудно-модулированный сигнал с частотой несущей до 30 кГц и полосой частот модуляции до 4 кГц.

### **Литература**

1. **Сергиенко А.Б.** Цифровая обработка сигналов: учебник для вузов. — 2-е изд. СПб.: Питер, 2007. 751 с.
2. **Лайонс Р.** Цифровая обработка сигналов. М.: Бином, 2007. 655 с.

## **ЦИФРОВОЙ ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ НА ОСНОВЕ DDS-СИНТЕЗАТОРА**

Генератор сигналов — электронный прибор, функцией которого является генерация сигналов различной формы. Генераторы сигналов используются при проектировании, тестировании, устранении неполадок и проведении ремонта электроакустических или электронных устройств.

Работа посвящена разработке генератора сигналов произвольной формы (ГСПФ). Принцип работы генератора, рассмотренного в данной статье, основан на применении технологии прямого цифрового синтеза (DDS). В качестве DDS синтезатора может выступать как готовая микросхема, так и связка микроконтроллер — ЦАП.

Особое внимание стоит обратить на метрологические характеристики разработанного ГСПФ. Необходимо оценить как методические, так и инструментальные составляющие погрешности мгновенного и действующего значений генерируемого сигнала. Оценка погрешности, вызванной фазовым дрейфом, аналитическими методами затруднена. Поэтому для выбранной микросхемы DDS (AD9102) было проведено имитационное моделирование с помощью программного пакета MatLab с учетом того, что погрешность фазы синусоидального сигнала носит случайный характер, подчиняющийся равномерному закону распределения. В результате проведенного моделирования данной составляющей погрешности была получена оценка ее максимально возможного значения. Как известно, из-за того, что дискретизирующие импульсы ЦАП отличаются от дельта-функций, происходит искажение спектра выходного сигнала. Это будет проявляться в подавлении спектральных составляющих дискретного спектра: как основных компонент в полосе Найквиста, так и неосновных компонент. Низкочастотная фильтрация сигнала подавляет все составляющие спектра с частотами, превышающими частоту Найквиста, а также приводит к сглаживанию формы выходного сигнала. Кроме того, при использовании метода DDS появляется погрешность квантования, равная для мгновенного значения выходного сигнала (без учета влияния выходного фильтра) половине кванта используемого ЦАП.

Гальванические развязки (ГР) используют для защиты выходного сигнала от статических напряжений, подавления шумов и согласования устройств с разными уровнями напряжения. Для гальванического разделения выходного сигнала и напряжения питания были применены ГР цифровых сигналов (микросхема ADuM), ГР аналогового сигнала — изолирующий усилитель или линейные ГР, а также DC/DC преобразователи для гальванического разделения цепей питания схемы генератора.

## СИСТЕМА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ С ИНТЕГРАЛЬНЫМИ ДАТЧИКАМИ

Температура является одной из наиболее часто измеряемых физических величин. В настоящее время на рынке представлен широкий выбор датчиков, позволяющих с большой точностью определять температуру. Среди них можно выделить группы: термопар; резистивных датчиков температуры; термисторов; интегральных датчиков (сенсоров).

В последнее время все более широкое распространение получают именно интегральные датчики. Их отличительными особенностями являются: линейность характеристики преобразования, относительно высокая точность (до  $1^{\circ}\text{C}$ ), малые размеры, простота применения, низкое энергопотребление.

Для одной из разновидностей интегральных датчиков, которую фирмы-изготовители относят к датчикам с цифровым выходом, результатом преобразования температуры является последовательность импульсов. Причем информативными являются как длительность импульса  $T_1$ , так и паузы  $T_2$ . Зная интервалы  $T_1$  и  $T_2$ , можно вычислить значение измеренной температуры по формуле:  $T(^{\circ}\text{C}) = (421 - 751)T_1/T_2$ . Эта задача возлагается на микроконтроллеры, входящие в состав большинства измерительно-вычислительных систем [1].

Примером такого датчика температуры являются TMP05/06 фирмы Analog Devices [2]. Их особенностью является возможность подключения датчиков, соединенных в последовательную цепочку. Эта особенность упрощает связь цепочки с микроконтроллером.

Применение интегральных сенсоров в системе централизованного контроля рассматривается в докладе.

### Литература

1. **Евланов Ю., Шатохин А.** Особенности обработки информации и возможности повышения точности преобразования микроэлектронных датчиков температуры с ШИМ выходным сигналом // Сборник докладов 21-th National Scientific Symposium with international participation «METROLOGY and METROLOGY ASSURANCE 2011», September 10—14, 2011. Sozopol, Bulgaria. С. 291—295.

2. **Serial Digital Output Thermometers TMP05/06.** Analog Devices Datasheet.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ В ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИИ

Формирование информационных признаков составляет ключевую проблему задачи распознавания образов. Рассматривается подход на основе выделения структурных признаков объектов, представленных на изображении. Решение основывается на построении разбиения области кадра треугольной сетью (триангуляции), минимизирующего в пределах элементов неоднородность яркости/цвета. Предлагаемые алгоритмы опираются на пространственное распределение изменений яркости/цвета в локальных окрестностях точек изображения — векторное поле  $f$  градиента скалярных значений яркости/цвета соответственно [1].

Базовой операцией метода является вычисление преобразования Радона  $R(\alpha)$  для векторного поля  $f$  для узлов  $p$  некоторой регулярной сети [2]. С применением итеративной процедуры строится поле, характеризующее изменение масштаба структурных особенностей (углов, и границ однородных областей)  $\rho(\alpha, p)$  при смещении в направлении  $\alpha$ . Построение триангуляции проведем с адаптивным критерием — отношением площади элемента к интегралу  $\rho(\alpha, p)$  по его области.

Предлагается динамическая система получения адаптивной сети на основе динамики узлов сети в специальном потенциале и при задании правил локальной перестройки. Пусть на каждом шаге  $i$  сеть  $M_i = (E_i, V_i)$ , где  $V_i$  — вершины сети:  $V_i = \{v_j, \dot{v}_j\}_i$ ;  $E_i$  — множество ребер. Для производной второго порядка примем выражение

$$\ddot{v}_j = \sum_{\phi} \rho(\phi, p_{\phi}) \left(1 - |v_j - p_{\phi}|\right) + \sum_k \frac{e_{j,k}}{|e_{j,k}|} \exp\left(1 - |e_{j,k}|\right).$$

Интегрируя систему и объединяя чрезмерно близкие узлы (схлопывание треугольников), получим пошаговый процесс модификации сети, сходящийся с установленным критерием. Предложенные алгоритмы обладают высоким ресурсом параллелизма и реализованы для GPU.

### Литература

1. Пехтерев В.В., Вишняков С.В., Чобану М.К. Адаптивная триангуляция и сжатие изображений// Информационные технологии. 2013. № 5. С. 41—46.
2. Яне Б. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2007.

*Э.Ф. Сабиров, студ.; рук. В.В. Косулин, к.т.н., доц. (КГЭУ, г. Казань)*

## **ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА НА БАЗЕ БЕСКОНТАКТНОГО КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

Современную микроэлектронику трудно представить без такой важной составляющей, как микроконтроллеры. Одно и то же устройство, которое раньше собиралось на традиционных элементах, будучи собрано с применением микроконтроллеров, становится проще, не требует регулировки и меньше по размерам.

В ходе выполнения работы был разработан прототип экспериментальной установки — бесконтактный кондуктометрический преобразователь для контроля качества воды. Данный прибор измеряет электропроводность растворов в непрерывном потоке, а также может использоваться как первичный преобразователь с выходным сигналом по напряжению.

Для автоматизации измерительного процесса автором был использован Arduino Uno контроллер, построенный на AT mega328 [1], а также разработано программное обеспечение, позволяющее контролировать концентрацию растворов жидкостей. В процессе программирования использовалась стандартная среда C/C++, скомпонованная с библиотекой AVR Libc и позволяющая использовать любые ее функции [2].

Разработанная информационно-измерительная система позволяет упростить работу устройства, облегчить процесс измерения электропроводности растворов, а также закрепить навыки программирования на языке C++.

### **Литература**

1. **Соммер У.** С61. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freduino. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 256 с.
2. **Дэвис, Стефан, Р.** Д94 C++ для «чайников». — 4-е изд.: пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 336 с.

*Л.В. Савкин, асп. (ПАО «Радиофизика»); рук-ли В.М. Новичков, к.т.н., доц., (НИУ МАИ, Москва); А.Е. Ширшаков, к.т.н., зам. ген. дир. (НПО им. С.А. Лавочкина, г. Химки)*

## **РЕКОНФИГУРИРУЕМАЯ СИСТЕМА ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

В работе исследуются способы организации функционального и параметрического контроля бортовых комплексов управления (БКУ) космических аппаратов (КА) на базе реконфигурируемых вычислительных систем (РВС) [1], построенных на основе ПЛИС класса FPGA. В отличие от широко распространенных программных средств контрольно-диагностического обеспечения БКУ КА системы контроля и диагностики (СКД), реализованные аппаратным образом в составе единого реконфигурируемого вычислительного поля (РВП), обладают значительными преимуществами, к основным из которых можно отнести:

- 1) высокую гибкость алгоритмов функционального и параметрического контроля БКУ КА в процессе анализа и идентификации технического состояния БКУ с заданной степенью (глубиной) локализации неисправности на условных аппаратных и программных уровнях;
- 2) возможность проведения диагностики дискретных элементов БКУ КА методами эквивалентного аппаратного дублирования путем создания требуемых аппаратных архитектур на выделенных фрагментах РВП;
- 3) прямой аппаратный синтез алгоритмов функционального и параметрического контроля БКУ непосредственно в РВП реконфигурируемой СКД;
- 4) реализацию широкого класса перестраиваемых решающих устройств с возможностью корректировки критериев (правил) принятия решений в процессе эксплуатации КА.

В докладе приводится структурная схема реконфигурируемой системы функционально-параметрического контроля и диагностики БКУ КА, основанная на усовершенствовании ранее предложенной [2] реконфигурируемой системы функционального контроля БКУ КА.

### **Литература**

1. **Реконфигурируемые** мультиконвейерные вычислительные структуры / И.А. Каляев, И.И. Левин, Е.А. Семерников, В.И. Шмойлов. — Изд. 2-е, перераб. и доп. / под общ. ред. И.А. Каляева. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009.
2. **Савкин Л.В., Ширшаков А.Е., Новичков В.М.** Построение реконфигурируемой системы функционального контроля и диагностики бортового комплекса управления космического аппарата // Авиакосмическое приборостроение. 2015. № 6.



*И.В. Сапелкин, асп.; рук. А.А. Лупачев, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОМПЛЕКС ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ**

В данной статье рассмотрен комплекс виртуальных лабораторных работ по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация». Курс лабораторных работ включает в себя работу с моделями вольтметров различных типов, аналоговым осциллографом и частотомером. Стенд включает в себя две части: аппаратную и программную.

Аппаратная часть состоит из промышленного компьютера National Instruments NI PXIe-1078 с установленными в него модулями. Компьютер осуществляет обмен данных с модулями и функции управления. Применяются модули ЦАП и АЦП. Модуль NI PXI-5402 включает в себя 14-разрядный ЦАП с частотой дискретизации 100 МГц и всю необходимую периферию (таймеры-счетики, триггеры) [1]. При помощи данного модуля проводится синтез входных сигналов различной частоты и формы, управление которым осуществляется программно из среды LabView. В модуле NI PXI-5114 применяется 8-разрядный двуканальный АЦП последовательного приближения, максимальная частота дискретизации 250 МГц [2]. Сигналы поступают на вход этого АЦП, который преобразует их в отсчеты, используемые в качестве входных данных для виртуальной модели каждого прибора.

Взаимодействие с пользователем происходит при помощи программ лабораторных работ, разработанных в среде LabView. Интерфейс состоит из лицевых панелей моделей приборов, используемых в лабораторных работах, и полностью симулирует работу данных приборов. Доступны функции: подключения разъемов входных сигналов, включения питания, переключения диапазонов измерений, также предусмотрена индикация, которая полностью соответствует реальным приборам.

В каждой модели прибора симулируются частотный диапазон его входных сигналов и погрешности: основная погрешность, зависящая от класса точности прибора; погрешность взаимодействия, вызванная наличием выходного сопротивления генератора измерительных сигналов и входного сопротивления прибора; шумы во входных сигналах.

### **Литература**

1. **NI PXI-5402**. Datasheet [Электронный ресурс]: Спецификация. Режим доступа: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/ru/nid/202642>
2. **NI PXI-5114**. Datasheet [Электронный ресурс]: Спецификация. Режим доступа: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/ru/nid/202184>

## **СПОСОБЫ КОРРЕКЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ**

Динамические параметры измерительных преобразователей (ИП) определяются наиболее просто при воздействии на него тестового сигнала в виде единичного скачка. При этом получают в качестве отклика переходную характеристику  $h(t)$  ИП, несущую об измерительной цепи полную информацию. Традиционно используется классический алгоритм динамических измерений (ДИ), основанный на ожидании окончания переходного процесса до допускаемой динамической относительной погрешности измерения. При измерении с большей точностью затраты времени на измерение существенно возрастают. Данный алгоритм применяется при измерении параметров силовых трансформаторов, например температурных режимов обмоток при их испытаниях на нагрев или сопротивления обмоток по методу амперметра-вольтметра [1].

Классификация известных методов повышения быстродействия измерителей постоянной физической величины приведена в работе [2]. Эти методы используются для коррекции динамических характеристик измерительной цепи (ИЦ) ИП. В данной работе рассмотрен метод коррекции динамических характеристик ИП, основанный на управляемом воздействии на ИП. При этом осуществляется деформация кривой переходного процесса (ПП) по уровню при помощи форсирования сигнала ПП.

Так как установившееся значение сигнала априорно неизвестно и само определяется в измерительном эксперименте, то заранее рассчитать длительность интервала управления и значение момента переключения управляющих сигналов в ИЦ ИП невозможно. Следовательно, необходимо устанавливать фиксированную длительность режима форсирования рабочего тока в ИЦ в зависимости от ожидаемой постоянной времени цепи. Для реализации гибкого алгоритма форсирования необходима информация об установившемся значении постоянной измеряемой величины.

### **Литература**

1. **Мелентьев В.С.** Методы и средства измерения параметров электрических цепей на постоянном токе. Самара: Самарский государственный технический университет, 2004. 120 с.
2. **Шахов Э.К., Долгова И.А., Мельников А.А.** Патент РФ № 2319122. Компенсационный способ ускоренного измерения температуры. G01K7/16. 13.10.2006.

С.А. Синев, студ.; рук. С.И. Герасимов, асс. (НИУ «МЭИ»)

## УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВРЕМЯИМПУЛЬСНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

В настоящее время для учета расхода жидкости в России и за рубежом широко используются ультразвуковые расходомеры [1], среди которых выделяются времяимпульсные расходомеры. Измерение температуры жидкости с помощью накладных электроакустических преобразователей может создать больше возможностей для регистрации параметров потока жидкости, например, с помощью портативного теплосчетчика.

Принцип действия времяимпульсных расходомеров [1] основан на измерении времени прохождения импульсов по потоку  $t_-$  и против  $t_+$  потока жидкости.

Время прохождения определяется следующим соотношением:

$$t = L/c \pm Lv_L \cos(\alpha)/c^2, \quad (1)$$

где  $L$  — длина пути импульса;  $c$  — скорость звука в неподвижном веществе;  $v_L$  — скорость потока, усредненная по длине  $L$ ;  $\alpha$  — угол между осью трубы и нормалью к плоскости электроакустических преобразователей.

Разность времен прохождения  $\tau$  связана со скоростью потока и длиной пути следующим соотношением:

$$\tau = 2Lv_L \cos(\alpha)/c^2. \quad (2)$$

При суммировании времен прохождения можно получить выражение для скорости звука:

$$c = 0,5(t_+ + t_-)/L. \quad (3)$$

Скорость звука в жидкости изменяется при изменении ее температуры и давления [2]. Вследствие этого при известном давлении температуру можно косвенно измерить через скорость звука. Такой подход позволяет облегчить конструирование портативных устройств путем использования одного тракта для измерения расхода и температуры.

В данном докладе показана зависимость температуры от скорости звука в жидкости. Проведен метрологический расчет для применения метода к напорным трубопроводам.

### Литература

1. **Кремлевский П.П.** Расходомеры и счетчики количества: справочник.— 4-е изд. Л.: Машиностроение, 1989.
2. **Александров А.А., Ларкин Д.К.** Экспериментальное определение скорости ультразвука в широком диапазоне температур и давлений // Теплоэнергетика. 1976. № 2. С. 75.

## **КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ЗНАЧЕНИЯ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ**

Обеспечить высокие метрологические характеристики измерительных процедур позволяет использование априорной информации о модели объекта диагностики или измерительного сигнала, вид которого обусловлен физическими законами исследуемых процессов. Алгоритмы динамических измерений (ДИ), основанные на обработке мгновенных значений переходных процессов (ПП) в измерительных цепях (ИЦ), применяются для получения оценки асимптоты ПП.

При классическом подходе [1] априорно заниженное значение постоянной времени (ПВ), по которому рассчитывается необходимый момент измерения от начала ПП, приводит к существенной дополнительной динамической погрешности. Такой критерий, который связывает длительность ПП до установившегося значения с требуемой погрешностью установления процесса, можно назвать «мгновенный».

В нормативных документах используется другой критерий установившегося значения ПП, который может быть определен как «интервальный», и использует информацию о допустимом значении изменения сигнала ПП на заданном интервале времени. При этом интервальные критерии предполагают независимость результата от ПВ ИЦ [2].

Найдено ограничение на использование интервального критерия при определении момента наступления установившегося значения переходного процесса в измерительной цепи.

### **Литература**

1. **Орнатский П.П.** Автоматические измерения и приборы. Киев: Вища школа. 1980. 560 с.
2. **Технология** динамического измерения постоянной физической величины / А. Лупачев, И. Сапелкин, Н. Серов и др. // Сб. докл. 25-th National Scientific Symposium with international participation «METROLOGY and METROLOGY ASSURANCE 2015», September 7—11, 2015. Sozopol, Bulgaria. С. 163—174.

## СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ОСНОВЕ ГРАФИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ LABVIEW

Сегнетоэлектрики с размытыми фазовыми переходами являются объектами непрерывного, интенсивного исследования и в них открыто множество различных неординарных физических свойств [1].

С целью изучения диэлектрических свойств сегнетоэлектриков появилась необходимость создания системы измерения электрической емкости материалов данного типа.

Создание программного обеспечения для решения поставленной задачи осуществлялось в среде программирования NI LabVIEW 2012. Для реализации системы была использована платформа NI PCI 6221.

Блок измерения емкости подключается к выводам платы PCI-6221. Данная плата осуществляет подачу напряжения питания на схему измерения (аналоговый выход) и снимает напряжения с обкладок конденсатора и нагрузочного сопротивления  $R_H$  (аналоговый вход). Образец исследуемого материала помещается между обкладками конденсатора. В процессе измерения на образец могут оказывать воздействие внешние факторы, что в свою очередь сказывается на величине измеряемой емкости. Зная напряжения на обкладках и напряжения нагрузочного конденсатора, по известной формуле высчитывается величина емкости. При необходимости с помощью полученных данных можно вычислить значение диэлектрической проницаемости материала.

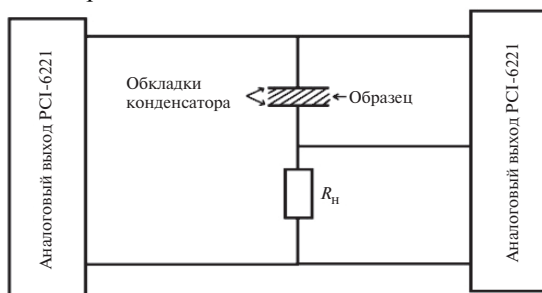


Рис. 1. Блок-схема измерения емкости

### Литература

1. Фотостимулированные явления в релаксорах / Р.Ф. Мамин, С.А. Мигачев, М.Ф. Садыков и др. // Письма в ЖЭТФ. Т. 78. 2003. Вып. 11. С. 1232—1236.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗМЕРЕНИЯ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ**

Силовые трансформаторы являются важнейшим узлом электрических систем и сетей. Одной из актуальных проблем при эксплуатации силовых трансформаторов (СТ) является своевременное обнаружение их дефектов, которые выявляются на основе анализа параметров СТ (например, активного сопротивления обмотки), образующих измерительную цепь (ИЦ).

Известны методы определения параметров ИЦ по отдельным мгновенным значениям переходного процесса в цепи при подаче скачка напряжения постоянного тока. Наибольшее распространение имеют методы косвенного измерения параметров ИЦ через постоянную времени (ПВ) ИЦ [1]. Эти методы используют не менее двух отчетов переходного процесса [2]. Однако отсутствуют оценки погрешностей этих методов измерения ПВ от существенных параметров измерительных алгоритмов.

В работе для анализа предельных погрешностей используется моделирование измерительных алгоритмов [3]. Реализован метод статистического моделирования Монте-Карло. Выбор последнего обусловлен простотой решения задачи по сравнению с аналитическим вариантом, наглядностью получения оценок погрешностей, слабой зависимостью точности моделирования от размерности пространства (числа независимых переменных).

Получены оценки погрешности косвенного измерения постоянной времени ИЦ. Проведено сравнение результатов, полученных методами аналитического и имитационного моделирования, которое показало адекватность используемых моделей. Результатом работы можно считать вывод о соотношении предельных погрешностей при одинаковых параметрах эксперимента.

### **Литература**

1. **Михеев Г.М.** Цифровая диагностика высоковольтного оборудования. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. 304 с.
2. **Мелентьев В.С.** Аппроксимационные методы измерения параметров линейных электрических цепей // Измерительная техника. 2010. № 10. С. 55—59.
3. **Диденко В.И., Тепловодский А.В., Иванов А.В.** Точность моделирования измерительных устройств // Датчики и системы. 2009. № 7.

## Секция 19

# **НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА**

*Председатели секции — д.т.н., профессор В.П. Лунин,  
к.т.н., доцент В.А. Барат  
Секретарь секции — аспирант Д.В. Чернов*

*В.В. Бардаков, студ.; рук. В.А. Барат, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ПРИ ЕГО ТВЕРДЕНИИ НА НОРМАТИВНЫЙ СРОК ПО ДАННЫМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

Данная работа посвящена исследованию процесса твердения бетона при помощи метода акустической эмиссии. Метод акустической эмиссии (АЭ) имеет огромный потенциал во многих отраслях промышленности, а также в строительстве [1]. При строительстве, пожалуй, единственным материалом, прочность которого возрастает с течением времени, является бетон.

Задача определения прочности бетона со сформировавшейся структурой является достаточно хорошо изученной и может быть решена с применением как разрушающих, так и неразрушающих методов. Однако наибольший интерес для строительной области представляет прогнозирование прочности бетона на нормативный срок еще на стадии твердения.

Для оценки эффективности метода акустической эмиссии в данном направлении было проведено два эксперимента по регистрации сигналов АЭ, возникающих в процессе твердения бетонных составов, отличающихся друг от друга прочностью и составом [2]. Целью экспериментальных исследований было создание методики прогнозирования прочности бетона на нормативный срок на основании АЭ данных, полученных в первые сутки твердения состава.

Метод АЭ позволяет в режиме реального времени наблюдать процесс структурообразования бетона, что достигается благодаря высокой чувствительности, присущей методу.

Анализ полученных экспериментальных данных позволил по характеру изменения АЭ параметров во времени выделить три основных периода процесса твердения, а именно: период растворения, период коллоидации и период кристаллизации. Было установлено, что длительность периода коллоидации напрямую связана с финальной прочностью бетона. При этом чем меньше длительность данной стадии, тем интенсивней протекает процесс структурообразования и тем выше финальная прочность.

### Литература

1. **Grosse C.U.** Acoustic Emission Testing. Concrete. Ohtsu. — Berlin: Springer, 2008. 396 с.
2. **The Use of Acoustic Emission Method in the Modern Construction** / A. Sagaidak, V. Bardakov, S. Elizarov, D. Terentyev // Abstracts and Exhibition Catalogue «31<sup>st</sup> Conference of the European Working Group on Acoustic Emission (EWGAE)», 3—5 September 2014, Dresden, Germany. P. 65.



*В.В. Бардаков, студ.;*  
*рук-ли В.М. Матюнин, д.т.н., проф.; В.А. Барат, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОД ОЦЕНКИ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ХРУПКИХ ПОКРЫТИЙ**

В настоящее время наравне с испытаниями на растяжение/сжатие широкое распространение для определения физико-механических характеристик материалов получили методы, основанные на вдавливании индентора в поверхность исследуемого образца (индентирование). Данные методы, помимо лабораторных испытаний опытных образцов, позволяют проводить экспресс-диагностику контролируемых объектов без их вывода из эксплуатации путем локального (точечного) нагружения участков конструкции.

Использование методов индентирования позволяет проводить количественное определение таких характеристик, как твердость, модуль Юнга, вязкость разрушения, предел текучести на макро-, микро- и наноуровне, а также исследовать склонность материалов к трещинообразованию при помощи оптических методов наблюдения отпечатка на поверхности образца. Однако метод не позволяет исследовать процессы зарождения трещин в режиме реального времени. С целью устранения вышеуказанного недостатка исследование процесса трещинообразования при вдавливании индентора может сопровождаться регистрацией сигналов акустической эмиссии (АЭ).

Метод акустической эмиссии благодаря высокой чувствительности позволяет в режиме реального времени, синхронно с диаграммой вдавливания регистрировать сигналы, вызванные перестройкой структуры материала в результате нагружения.

В рамках данной работы были проведены экспериментальные исследования процесса зарождения трещин в микронных покрытиях, нанесенных на стальное основание при вдавливании в них индентора в виде пирамиды Виккерса. При этом синхронно с вдавливанием осуществлялась регистрация сигналов АЭ с последующим оптическим контролем зоны отпечатка и сравнением полученных результатов.

Анализ полученных данных позволил сделать вывод, что метод АЭ позволяет фиксировать момент начала образования трещин, а также хронологию их дальнейшего развития. При этом в отличие от оптического контроля метод обладает большей чувствительностью благодаря возможности регистрации образования как поверхностных, так и подповерхностных трещин.

*А.А. Демидов, соиск.; рук. А.В. Степанов, к.т.н., доц.  
(ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, Москва)*

## **ИЗМЕРЕНИЕ ФОКУСНОГО ПЯТНА РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКИ С ПОМОЩЬЮ ДИАФРАГМЫ**

В результате процессов, происходящих на аноде рентгеновской трубки при генерации тормозного рентгеновского излучения, происходит изменение размеров фокусного пятна. Это негативно влияет на качество рентгеновских изображений, поэтому необходимо периодически измерять фокусное пятно. Это регламентировано российскими и зарубежными нормативными документами. Измерения могут быть только косвенными. Исследованы два способа измерения фокусных пятен рентгеновских трубок посредством диафрагмы. Первый способ предусматривает получение изображения фокусного пятна на рентгеновском снимке с последующим измерением его. Средства измерения: измерительная лупа, компаратор или микрофотометр. Второй способ заключается в получении изображения на экране монитора плоскопанельного детектора рентгеновского излучения Perkin Elmer XRD0822. Измерение размеров изображения предусмотрено программой установки. Проведено сравнение двух способов по точности и трудоемкости проведения операции и показано, что второй способ менее трудоемкий и более точный. Изображение фокусного пятна излучателя рентгеновского аппарата RE320/14 было получено с использованием рентгеноскопической системы, включающей в себя плоскопанельный детектор рентгеновского излучения и специальное программное обеспечение для визуализации изображений.

Схема экспонирования была построена таким образом, чтобы расстояния «диафрагма–детектор» и «фокусное пятно–диафрагма» были равны между собой, тогда размеры изображения фокусного пятна равны размерам эффективного фокусного пятна. При визуализации было получено изображение фокусного пятна. Размер фокусного пятна определяли по уровню, равному половине высоты импульса, изображенного на экране монитора.

### **Литература**

1. **Каблов Е.Н.** Современные материалы — основа инновационной модернизации России // *Металлы Евразии*. 2012. № 3. С. 10—15.
2. **Майоров А.А.** Цифровые технологии в неразрушающем контроле // *Сфера Нефтегаз*. 2009. № 9. С. 26—37.
3. **Макро- и микропористость** в сплавах на основе алюминия и никеля, обнаружение ее рентгеноскопическими методами неразрушающего контроля / *А.В. Степанов, Е.И. Косарина, Н.А. Саввина, В.Е. Усачев* // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. № 5. С. 423—430.

*А.Д. Кадосов, Т.Д. Павлова, соискатели (ФГУП «ВИАМ», Москва)*

## **ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТНЫХ ИНДИКАТОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МАГНИТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЯ**

На чувствительность магнитопорошкового контроля оказывают влияние такие факторы, как чистота обработки поверхности контролируемых деталей, наличие на них поверхностных загрязнений и покрытий, шероховатость поверхности объекта контроля, режимы намагничивания, вид намагничивающего тока и другие, однако одним из основных факторов, влияющих на чувствительность магнитопорошкового метода неразрушающего контроля, является качество дефектоскопических материалов.

Данная работа посвящена изучению влияния различных характеристик дефектоскопических материалов на чувствительность магнитопорошкового контроля, а также их влияние друг на друга.

Определены основные характеристики, влияющие на качество дефектоскопических материалов: размер частиц, дисперсность, выявляющая способность, магнитная коагуляция, концентрация магнитного порошка в суспензии, время оседания магнитного порошка в суспензии, стабильность люминесценции.

Были проведены испытания по определению размеров частиц магнитных порошков, дисперсности, магнитной коагуляции. Оценено влияние указанных выше характеристик на время оседания магнитного порошка в суспензии, его концентрацию и, как следствие, его выявляющую способность. Установлено, что наибольшей выявляющей способностью обладают магнитные порошки, имеющие средний размер частиц от 0 до 8 мкм.

Исследована стабильность люминесценции магнитных индикаторов. Стабильность люминесценции оценивается как отношение интенсивности люминесценции суспензии в исходном состоянии к интенсивности люминесценции суспензии в процессе ее использования. Определено, что с течением времени интенсивность люминесценции ухудшается, что оказывает отрицательное воздействие на чувствительность контроля.

Результаты работы позволяют грамотно подбирать дефектоскопические материалы в зависимости от уровня заданной чувствительности контроля.

### **Литература**

1. **Шелихов Г.С.** Магнитопорошковая дефектоскопия деталей и узлов. М.: НТЦ «Эксперт», 1995.
2. **Луцько С.П., Шелихов Г.С.** Контроль авиационных деталей методом магнитного порошка. Методическое руководство. 1963.

*М.А. Караваяев, асп.; рук. И.В. Соколов, д.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)*

## **БЕСКОНТАКТНЫЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕНЕВОЙ КОНТРОЛЬ СОТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) с сотовой конструкцией обладают высокими эксплуатационными характеристиками и активно применяются в судостроении, аэрокосмической, газовой и нефтяной промышленности. Типичными дефектами сотовых ПКМ, образовавшимися в процессе их изготовления или эксплуатации, являются трещины и расслоения, лишь небольшая часть которых доступна для регистрации снаружи. Для обнаружения внутренних дефектов, как правило, применяют ультразвуковые (УЗ) методы неразрушающего контроля [1].

При УЗ контроле сотовых ПКМ нежелательно применять контактную жидкость, так как она может проникнуть внутрь изделия. Оптимальным решением является использование УЗ бесконтактных преобразователей, располагающихся на некотором расстоянии от объекта контроля. Отсутствие механического контакта между преобразователями и объектом контроля позволяет создавать автоматические сканирующие системы.

Основной проблемой при бесконтактном контроле через воздушный промежуток является высокое ослабление УЗ волны при ее прохождении через границы раздела воздух — изделие. В докладе представлены описание конструкций различных широкополосных низкочастотных пьезопреобразователей, характеризующихся повышенным коэффициентом электроакустического преобразования при излучении УЗ волн в воздух, а также их частотные и пространственные характеристики. Применение разработанных УЗ преобразователей в составе комплексов УЗ теневой дефектоскопии позволяет существенно повысить достоверность результатов контроля.

В докладе приведено описание созданной установки для бесконтактного сканирования на базе разработанных УЗ преобразователей и приведены результаты контроля тестовых образцов из сотовых ПКМ различной толщины с имитаторами дефектов типа «расслоение».

Рассмотрена возможность применения ЛЧМ-сигналов и оптимальной фильтрации для бесконтактного контроля. Проанализировано сравнение результатов сканирования при использовании в качестве зондирующих сигналов ударного возбуждения и ЛЧМ-сигналов.

### **Литература**

1. **Hillger W.** Ultrasonic Testing of Composites - From laboratory Research to In-field Inspections // 15th World Conference on Non-destructive Testing, 2000.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ТОМОГРАФИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ БЕТОНА С ПОМОЩЬЮ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК**

При ультразвуковой (УЗ) томографии бетонных строительных конструкций (СК) с помощью УЗ фазированных антенных решеток (ФАР), использованием алгоритма САФТ-С точность измерения толщины СК и точность определения координат дефектов зависят от того, насколько верно задана скорость ультразвука, которую предварительно следует определять в каждом конкретном изделии из бетона. В докладе сравниваются несколько методов измерения скорости ультразвуковых колебаний (УЗК) при помощи ФАР: метод определения скорости продольных колебаний по скорости поверхностной УЗ волны, метод определения скорости при использовании известного алгоритма «фокусировки в точку» и метод определения скорости УЗК при использовании разработанного в МЭИ алгоритма «фокусировки на плоскость». Показывается, что использование алгоритма «фокусировка на плоскость» позволяет создать безэталонный метод измерения скорости, который позволяет одновременно определять и скорость УЗК, и толщину бетонного изделия [1]. Показывается преимущество алгоритма «фокусировка на плоскость» в помехоустойчивости (повышении отношения сигнал/структурный шум) по сравнению с известным алгоритмом «фокусировка в точку», что позволяет увеличить надежно измеряемую толщину изделий из тяжелого бетона.

В докладе приведены результаты экспериментальных исследований по определению скорости УЗК перечисленными методами на образцах СК с различной конфигурацией профиля изделий из бетона при помощи УЗ ФАР, использующей пьезоэлектрические преобразователи с сухим точечным контактом. Приведены рекомендации по выбору зондирующего сигнала применительно к различным методам определения скорости, по выбору радиотехнических обработок УЗ эхо-сигналов при различных профилях СК с целью повышения достоверности и точности измерений.

### **Литература**

1. **Разработка** ультразвукового низкочастотного измерителя толщины изделий, основанного на использовании алгоритма «Фокусировка на плоскость» / В.К. Качанов, И.В. Соколов, А.А.Синицын, Р.В. Концов // Измерение, контроль, информация: Материалы XVI Международной научно-технической конференции. Т.1. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. С. 131—136.

*П.П. Костенко, студ.; рук. В.А. Барат, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

В настоящее время на территории России большое количество мостовых сооружений находятся в критическом, опасном состоянии. Только с 2005 по 2011 г. было зафиксировано 23 аварии на мостах, связанных со старением мостовых конструкций. По действующим нормам срок службы пролетного соединения составляет 60 лет. Запасы прочности, заложенные при конструировании, и реальное техническое состояние объекта позволяют во многих случаях безопасно эксплуатировать мосты сверх установленного срока. Проблема продления срока гарантируемой эксплуатации мостов приобретает государственное значение.

В настоящее время практически вся информация о техническом состоянии моста формируется на основе его периодических визуальных освидетельствований, которые не могут считаться достоверными.

Наиболее перспективным направлением при контроле мостовых сооружений является установка АЭ систем мониторинга [1]. Такие системы позволяют контролировать мостовое сооружение непрерывно и сигнализировать о появлении дефекта. На основе данных мониторинга возможен прогноз дальнейшей пригодности моста к эксплуатации. Однако мостовое сооружение является довольно сложным объектом для контроля с помощью АЭ из-за большого количества шумов [2].

В докладе описаны основные источники шумов при контроле мостовых сооружений. Проанализированы данные, снятые системой мониторинга на реальном эксплуатирующемся мостовом сооружении, которое находится на р. Белая (около г. Уфа). Выделена сезонность показаний преобразователей АЭ, установленных на мосту.

Так как в большинстве случаев развитие дефектов происходит при нагрузках на объект контроля, предложен алгоритм выделения моментов нагрузки мостового сооружения при проезде тяжелых автомобилей. Такой алгоритм позволяет анализировать данные, полученные в моменты наибольшей нагрузки, за длительные периоды времени.

### **Литература**

1. **Иванов В.И., Власов И.Э.** Неразрушающий контроль: Справочник. Т. 7 / под общ. ред. В.В. Клюева.
2. **Власов К.В.** Разработка методики акустико-эмиссионного контроля несущих элементов пролетных строений железнодорожных мостов: Дис...канд. техн. наук. М., 2007.

*О.А. Крупнина, асп.; рук. Е.И. Косарина, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕНТГЕНОСКОПИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Достигнутые в последние годы успехи в развитии электроники и вычислительной техники привели к появлению принципиально новых систем, предназначенных для визуализации радиационного изображения. Преимущества рентгеноскопических систем следующие: визуализация в режиме реального времени, снижение продолжительности контроля, простота обработки и архивирования изображений. Таким образом, весь процесс получения изображения значительно упрощается. Однако открытым остается вопрос получения изображения требуемого качества.

Основными характеристиками рентгеноскопического изображения, важными с точки зрения неразрушающего контроля, являются: контрастная чувствительность, нерезкость изображения, отношение сигнал—шум [1, 2]. Были проведены исследования контрастной чувствительности при изменении анодного напряжения до значений, превышающих регламент, указанный в ГОСТ 20426 [3] и показаны допустимые пределы его увеличения

Автором были проведены исследования влияния параметров настроек детектора (время накопления кадра, величина усиления) и величины анодного напряжения на такие параметры качества рентгеноскопического изображения, как контрастная чувствительность и отношение сигнал—шум. Рассмотрены и конкретизированы условия, при выполнении которых гарантировано достижение требуемой величины нерезкости изображения.

### **Литература**

1. **ISO 17636-2: 2013(E)** Non-destructive testing of welds — Radiographic testing — Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors.
2. **Bavendiek K., Heike U.** Uwe ZSCHERPEL // New Digital Radiography Procedure Exceeds Film Sensitivity Considerably in Aerospace Applications ECNDT — 2014.
3. **ГОСТ 20426.** Контроль неразрушающий. Методы дефектоскопии радиационные. Область применения.

А.С. Крюков асп.; рук-ли В.П. Лунин, д.т.н., доц.;  
В.В. Чегодаев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ЭЛЕМЕНТОВ МНОГОЭЛЕМЕНТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРИ ВИХРЕТОКОВОМ КОНТРОЛЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ИЗДЕЛИЙ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

В современной вихретоковой дефектоскопии большое распространение получили матричные или многоэлементные преобразователи (МП). Преобразователи данного типа позволяют повысить чувствительность, информативность и производительность контроля электропроводящих изделий с различной степенью сложности геометрических форм.

Многоэлементный преобразователь состоит из нескольких одиночных накладных преобразователей, как правило, содержащих ферритовые сердечники. При проектировании МП очень важным является расчет количества его элементов, которое должно быть таким, чтобы вихревые токи охватывали всю контролируемую поверхность, но при этом взаимное влияние соседних элементов было минимально.

В работе предложены два способа расчета количества одиночных преобразователей, входящих в состав многоэлементного. Первый способ основан на понятии эффективной площади вихревых токов [1]. Ориентировочное значение количества элементов  $n$  при контроле прутка с внешним диаметром  $D$  может быть рассчитано по формуле

$$n = \pi D / 2eR_c, \quad (1)$$

где  $R_c$  — радиус ферритового сердечника одиночного преобразователя.

Второй способ основан на математическом моделировании и может быть применен для расчета элементов МП при контроле изделий более сложной формы [2].

Была осуществлена проверка разработанных методов на объекте контроля с заданными параметрами. Оба метода дали одинаковые результаты, а их справедливость была доказана экспериментально.

### Литература

1. Чегодаев В.В., Лунин В.П., Крюков А.С. Оценка эффективности вихревых токов при проектировании многоэлементного преобразователя для контроля парогенераторных труб // Вестник МЭИ. 2013. № 4. С. 90—94.

2. Расчет количества элементов матричного преобразователя с помощью компьютерного моделирования при вихретоковом контроле цилиндрических изделий / А.С. Крюков, В.В. Чегодаев, А.Г. Жданов, В.П. Лунин // 5-я Международная научно-техническая конференция «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов», Могилев, 24—25 сентября 2014 г.



## **ПОСТРОЕНИЕ АЛГОРИТМА ВЕЙВЛЕТ-ФИЛЬТРАЦИИ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

Одним из наиболее чувствительных методов неразрушающего контроля является метод акустической эмиссии. Это пассивный метод контроля, он основан на регистрации акустических волн, возникающих при пластической деформации материала и при возникновении дефектов [1].

Существенным достоинством метода АЭ является его интегральность, которая заключается в том, что, используя один или несколько преобразователей, установленных неподвижно на поверхности объекта, можно проконтролировать весь объект целиком. По зарегистрированным временам прихода сигнала на установленные на объекте пьезокерамические преобразователи, по известному значению скорости акустического сигнала в объекте и известным координатам преобразователей вычисляются координаты дефекта, являющегося источником АЭ. Анализ результатов локации, значений амплитуд АЭ сигналов и интенсивности их появления позволяет выявить наличие и определить местонахождение дефектов, а также их значимость.

В работе предложен алгоритм вейвлет-фильтрации акустических сигналов, который позволяет за счет улучшения соотношения энергии сигнала и шума уточнить момент прихода импульса акустической эмиссии, уточнив тем самым результаты локации [2].

В отличие от традиционной частотной фильтрации вейвлет-преобразование обеспечивает двумерную развертку исследуемого одномерного сигнала, при этом частота и время рассматриваются как независимые переменные. В результате появляется возможность анализировать свойства сигнала одновременно в физическом и в частотном пространствах, а также учитывать при фильтрации априорную информацию об импульсном характере исследуемого сигнала..

В результате применения предложенного алгоритма удалось увеличить точность локации приблизительно в четыре раза.

### **Литература**

1. **Муравьев В.В., Муравьева О.В.** Физические основы и технологии акустико-эмиссионного контроля металлоконструкций на железнодорожном транспорте. Ижевск.: ИжГТУ, 2014.
2. **Яковлев А.Н.** Введение в вейвлет преобразования. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003.

*С.В. Лебедев, к.т.н.; Р.В. Концов, С.А. Федоренко, аспиранты;  
рук. В.К. Качанов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБНАРУЖЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ В ПРОТЯЖЕННЫХ ИЗДЕЛИЯХ ИЗ БЕТОНА ИМПАКТ-ЭХО МЕТОДОМ**

Импакт-эхо метод — акустический метод измерения толщины протяженных строительных конструкций (СК) из бетона, чей принцип действия основан на анализе сигналов, получаемых при возбуждении в изделии акустических колебаний широкого спектра частот при помощи механического удара по поверхности СК [1]. Анализ акустического сигнала, как правило, проводится в частотной области: спектр сигнала определяется собственной резонансной частотой контролируемого изделия и при контроле протяженных изделий с толщинами до нескольких метров лежит в области низких частот, как правило, менее 25 кГц. При заранее известной скорости УЗ колебаний в бетоне по максимуму спектральной характеристики определяется толщина СК. Очевидно, что наличие дефекта в СК сказывается на спектральной характеристике, поэтому представляет интерес возможность определения дефектов с помощью импакт-эхо метода [2]. Очевидно, что при размерах дефекта, много меньших собственной толщины СК, побочный резонанс, обусловленный колебанием слоя бетона между поверхностью изделия и поверхностью дефекта, не наблюдается, а о наличии дефекта можно судить по сдвигу пика толщинного резонанса в точке над дефектом на несколько процентов в сторону низкочастотной области спектра.

В докладе обсуждаются результаты поиска цилиндрических отверстий в крупногабаритных бетонных СК. Представлены результаты импакт-эхо контроля строительных изделий из бетона с толщиной до 0,5 м. Показано, что при таких толщинах длина акустической волны на частоте резонанса позволяет косвенным образом обнаруживать отверстия в изделии диаметром до 30 мм. При этом точность измерения зависит от глубины залегания искомого отверстия.

### **Литература**

1. **Carino N.J.** The impact-echo method: an overview // Proceedings of the 2001 Structures Congress & Exposition, Washington, D.C., 2001.
2. **Schubert F., Lausch R., Wiggensauser H.** Geometrical Effects on Impact-Echo Testing of Finite Concrete Specimens // Non-Destructive Testing in Civil Engineering, Germany, 2003.

*Д.С. Ложкова, асп.; рук. А.В. Степанов, к.т.н. (ФГУП «ВИАМ», Москва)*

## **ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ГНВ В ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ**

В настоящий момент активно ведутся работы по подтверждению соответствия двигателя ПД-14 требованиям Сертификационного базиса, для которых необходима информация о достоверности проводимого на различных этапах технологического передела основных деталей газотурбинного двигателя (ГТД) неразрушающего контроля. За рубежом работы по оценке достоверности неразрушающего контроля ведутся достаточно давно. Например, методики, используемые в США при неразрушающем контроле роторных деталей в производстве и в эксплуатации, охарактеризованы графиками зависимости вероятности обнаружения дефекта от его размера. Имеющаяся информация по достоверности результатов неразрушающего контроля (например, приведенная в АС 33.14 FAA [1]), для применяемых в России средств и методик часто не подходит, так как эти методики могут существенно отличаться.

Для оценки достоверности автоматизированного ультразвукового контроля дисков из титановых сплавов в ФГУП «ВИАМ» были проведены специальные исследования, изготовлены образцы с искусственными дефектами, имитирующими наиболее опасные дефекты заготовок дисков ГТД из титановых сплавов — газонасыщенные включения (ГНВ), на которых проводились экспериментальные исследования с целью набора статистической информации о пропущенных и выявленных дефектах при автоматизированном УЗК. Однако данных, полученных в результате эксперимента, недостаточно для построения зависимостей, отражающих реальную картину. Для дополнения экспериментальных данных была разработана математическая модель, имитирующая процессы при автоматизированном ультразвуковом контроле, учитывающая всевозможную форму и ориентацию дефектов.

На основе алгоритма, описанного в документе MIL-HDBK-1823A (США) [1], был разработан математический аппарат для возможности обработки набранных статистических и смоделированных данных. Используя данный математический аппарат, были построены кривые вероятности обнаружения дефекта в зависимости от его размера.

### **Литература**

1. MIL-HDBK-1823A «Nondestructive evaluation system reliability assessment». Департамент обороны США, 2009.

*Ю.В. Мантрова, студ.; рук. А.Д. Покровский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕТОКОВОГО МАТРИЧНОГО ДАТЧИКА**

Модель вихретокового матричного преобразователя [1], имитирующая реальный преобразователь дефектоскопа, разработана в среде COMSOL MULTIPHYSICS [2]. С помощью модели исследованы сигналы, возникающие в результате взаимодействия магнитного поля преобразователя с алюминиевым объектом с дефектом. В ходе моделирования рассмотрены различные варианты контроля путем изменения типа дефекта, а также его размеров и положения относительно преобразователя. Главной задачей моделирования было исследование возможности контроля различных видов дефектов матричным вихретоковым преобразователем для определения его чувствительности к изменениям характеристик исследуемого объекта [3].

В ходе исследования проанализировано воздействие первичной (возбуждающей) катушки на вторичную (измерительную), а также подобрано их оптимальное для проведения наиболее точного контроля взаимоположение. Было найдено положение, обеспечивающее наименьшее влияние катушек друг на друга. Далее было рассмотрено взаимодействие разработанной системы катушек с объектом контроля при отсутствии дефектов. Изучена конфигурация вихревых токов на поверхности объекта при взаимодействии с полем системы катушек. Смоделированы различные типы дефектов и проверена чувствительность измерительной системы к их положению и размеру.

Результатом проведенной работы стали наглядная демонстрация возможностей смоделированного матричного преобразователя и анализ его отклика к различным параметрам дефектов.

### **Литература**

1. **Клюев В.В.** Неразрушающий контроль. Т. 2: В 2 кн. М.: Машиностроение, 2003.
2. **Гольдштейн А.Е., Белянков В.Ю.** Компьютерное моделирование различных конструктивных вариантов накладного вихретокового преобразователя дефектоскопа // Ползуновский вестник. 2014. № 2.
3. **Белянков В.Ю.** Анализ различных конструктивных вариантов накладного вихретокового преобразователя дефектоскопа // Вестник науки Сибири. 2014. № 3 (13).

*И.А. Новиков, студ.; рук. А.Д. Покровский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ**

Исследована топография намагничивающего поля при магнитной дефектоскопии, в частности при полюсном намагничивании. Проведено сопоставление топографии магнитных полей при различных условиях намагничивания. Проанализировано влияние мешающих параметров на топографию магнитного поля дефектов типа трещин. Даны рекомендации по выбору размещения полюсов электромагнита на объекте контроля, приведена оценка связи создаваемой напряженности магнитного поля и допустимым зазором между полюсами и объектом. Приведены распределения нормальной и тангенциальной составляющих напряженности магнитного поля над дефектом и показана возможность их использования с матричными преобразователями.

Полученные результаты намечают пути к оценке параметров дефектов при контроле сканирующими устройствами [1]. Для оценки положения дефекта требуется либо сканирование поверхности, либо использование матричного преобразователя, тогда появляется возможность определить не только факт существования трещины, но и оценить ее наклон по степени асимметрии. С помощью зависимости нормальной составляющей можно определить место выхода трещины на поверхность контролируемого объекта. Использование подобного рода преобразователей в магнитном неразрушающем контроле не только повышает достоверность контроля, но и существенно упрощает процедуру его применения, что вплотную подводит к задачам магнитной дефектометрии.

### **Литература**

1. **Путников Ю.Г.** Магнитный сканер-дефектоскоп нового поколения. Состояние «Итоги работы газотранспортных обществ по эксплуатации линейной части магистральных газопроводов и газоконденсатопроводов ОАО Газпром». Минск, 2015.

В.В. Плигин, студ.; рук. В.П. Лунин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛОСКОДОННЫХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКОВОГО И ВИЗУАЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

В качестве искусственных отражателей УЗ-волн в настроечных образцах могут использоваться плоскодонные отверстия, перпендикулярные акустической оси преобразователя [1—3].

В работе рассмотрен анализ сигналов от плоскодонных отверстий, выполненных в образце из углеродистой стали. Расположение отверстий показано на рис. 1.

Для получения сигналов от отверстий использовался ультразвуковой дефектоскоп OLYMPUS Omni-Scan MX с преобразователем с фазированной решеткой. Результаты контроля выявили различия в отображении сигналов от отверстий, геометрия которых должна быть одинаковой.

После проведения ультразвукового контроля и оценки результатов образец был разрезан таким образом, чтобы стало возможным получить срезы отверстий и оценить их профили с помощью средств визуального и измерительного контроля. Отверстие, для которого амплитуда отраженного сигнала оказалась ниже ожидаемой, имеет отклонение от цилиндрической формы. Фото представлено на рис. 2.

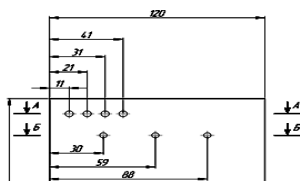


Рис. 1. Расположение отверстий в образце

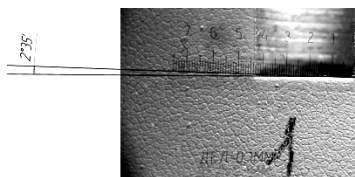


Рис. 2. Профиль отверстия

Данные о форме отверстия совпадают с результатами ультразвукового контроля. Таким образом, можно разработать методику оценки качества изготовления подобных отражателей.

Выявив факторы, влияющие на изменения геометрии отверстий, можно разработать процедуру их изготовления, не допускающую неточностей. Создание математических моделей с использованием метода конечных элементов также поможет выявлять возможные ошибки при изготовлении образцов.

### Литература

1. ГОСТ Р 55724—2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.
2. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля. М.: Машиностроение, 1981.
3. Клюев В.В. Неразрушающий контроль. Т.3. Ультразвуковой контроль. М.: Машиностроение, 2004.

*Р.В. Рязанцев, студ.; рук-ли А.И. Хвостов, к.т.н., снс.;  
М.Ю. Поляхов, к.т.н., доц., (НИУ «МЭИ»)*

## **ВИХРЕТОКОВЫЙ МЕТАЛЛОДЕТЕКТОР С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Работа посвящена актуальным вопросам совершенствования техники досмотровых металлодетекторов с возможно более полным использованием возможностей, предоставляемых современной микропроцессорной базой. Исследована возможность перехода к полностью цифровым методам управления работой и обработке выходных сигналов измерительного автогенератора вихретокового металлодетектора. В результате проведения работы спроектирован и изготовлен макет вихретокового металлодетектора на основе современного микроконтроллера STM8 и цифровых потенциометров Microchip с цифровой системой автоматической регулировки уровня сигнала автогенератора [1, 2]. Подобраны параметры пропорционально-интегрального регулятора, обеспечивающего оптимальные режимы переходных процессов в системе, при появлении в зоне действия металлодетектора обнаруживаемого объекта. Дополнительным преимуществом предлагаемой технической реализации является возможность перехода на низковольтное питание и использование современных высокоэнергоемких аккумуляторов.

Было проведено исследование чувствительности изготовленного макета. В результате исследования макет вихретокового металлодетектора с микропроцессорным управлением обнаружил чувствительность, сопоставимую с ручным металлодетектором GARRETT Super Scanner. Эта модель является самой популярной на рынке, использовалась и используется службами безопасности на мероприятиях мирового масштаба. Оценка чувствительности проводилась по стандартному набору тест-объектов ФГИМ.411449.004, который содержит в своем составе пять групп металлических тест-объектов, имеющих различную окраску. Цвета окрашивания объектов определяют уровень опасности с первого по пятый.

Следует отметить, что данная работа имеет серьезные практические перспективы. Она актуальна для производителей досмотровых металлодетекторов, а также служб, использующих их в повседневной деятельности.

### **Литература**

1. **ST Microelectronics** group of companies. STM8L05xx, STM8L15xx, STM8L162x, STM8AL31xx and STM8AL3Lxx microcontroller family reference manual. 2012.
2. **Microchip** Technology Inc. MCP453X/455X/463X/465X datasheet. 2012.

*И.С. Савин, асп.; рук-ли И.В.Терехин, к.т.н., доц.;  
А.Д. Покровский д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ДАТЧИКА УРОВНЯ РАСПЛАВА, ВСТРОЕННОГО В БЛЮМОВЫЙ КРИСТАЛЛИЗАТОР**

В течение нескольких десятилетий в металлургии идет процесс внедрения вихретоковых датчиков уровня расплава с целью улучшения точности стабилизации уровня стали при разливке в машинах непрерывного литья и улучшения качества стали. Кроме того, вихретоковый датчик необходим для автоматической подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор при совместной работе с радиоизотопным датчиком.

Наиболее распространенные на данный момент типы датчиков — подвесные (устанавливаются на штативе над зеркалом расплава) и краевые (устанавливаются на краю кристаллизатора) — чувствительны к изменению температуры кристаллизатора и подвержены заливу жидкой сталью в случае аварийных ситуаций. Этим недостатком лишены датчики встроенного типа, которые устанавливаются напротив медной стенки кристаллизатора [1]. Контроль уровня расплава осуществляется по температурному распределению в меди кристаллизатора. Встроенные датчики преимущественно применяются в сортовых кристаллизаторах с толщиной медной стенки в 10—15 мм [2]. Работа датчика в кристаллизаторе с большей толщиной стенки осложняется инерционностью тепловых процессов.

В настоящей работе приводятся результаты промышленных испытаний вихретокового датчика, встроенного в блюмовый кристаллизатор с толщиной медной стенки 24 мм. Рассматриваются основные погрешности, связанные с большой инерционностью тепловых процессов в меди, электромагнитным перемешиванием стали и непостоянством теплового контакта между стенкой кристаллизатора и слитком. Приводятся методы снижения влияния данных мешающих факторов.

Работа выполнена при поддержке «Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере».

### **Литература**

1. **D. Mörmann, J. Schmid, S. Spagnul.** Recent progress in fast and accurate meniscus level measurement for continuous casting machines Proc. 7th European Continuous Casting Conference (ECCC) 2011, 27 June — 1 July 2011, Dusseldorf.

2. **Терехин И.В.** Разработка вихретоковых средств контроля уровня жидкого металла в гильзовом кристаллизаторе при непрерывной разливке стали: Автореф. дис. канд. техн. наук. М., 2008.



*А.А. Синицын, к.т.н., с.н.с.; рук. И.В. Соколов, д.т.н., проф., (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИИ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ АППАРАТУРЫ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ**

В докладе рассмотрены проблемы неразрушающего контроля бетонных строительных конструкций сложной формы, прежде всего в области зон ограниченного доступа электроакустических преобразователей к поверхности контроля. Для обеспечения надежного контроля таких областей необходима разработка как пьезопреобразователей, так и фазированных антенных решеток (ФАР) оригинальной конфигурации, подобной конфигурации области контроля.

В докладе приводится сравнительный анализ малоапертурных низкочастотных широкополосных пьезопреобразователей, используемых в качестве элементов ФАР. По результатам анализа показано, что конструкцией, максимально удовлетворяющей совокупности предъявляемых требований, является пьезопреобразователь с сухим точечным контактом. Его существенным недостатком является чрезвычайно низкая эффективность электроакустического преобразования. В докладе приводятся результаты работы по модернизации конструкции концентратора и прижимного механизма с целью повышения эффективности преобразования. Кроме того, в докладе приведены технологические и конструктивные особенности разработанных корпусов ФАР, в частности алгоритм оптимизации шага элементов ФАР, а также способы электрической и акустической изоляции антенных элементов [1].

На основе модернизированных антенных элементов разработаны две разновидности ФАР: одномерно-линейной и пространственно-угловой конфигураций. Проведенные исследования показали эффективность работы разработанных ФАР в составе многофункционального измерительного комплекса. Применение различных алгоритмов фокусировки позволило не только повысить точность определения координат расположения имитаторов дефектов, но и измерять скорость УЗ волн в изделии.

### **Литература**

1. **Разработка** ультразвукового низкочастотного измерителя толщины изделий, основанного на использовании алгоритма «Фокусировка на плоскость» / В.К. Качанов, И.В. Соколов, А.А. Синицын, Р.В. Концов // Измерение, контроль, информатизация: материалы XVI Международной научно-технической конференции. Т. 1. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕТОКОВОГО ДАТЧИКА УРОВНЯ МЕТАЛЛА ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ**

В настоящее время развитие вихретокового метода контроля идет в направлении поиска алгоритмов контроля изделий сложной конфигурации и многослойных объектов. Неразрушающий контроль многослойных конструкций является актуальной задачей для многих отраслей производства.

Одной из областей применения вихретоковых методов послойного контроля проводимости является металлургия. В процессе непрерывной разливки стали [1] необходимо осуществлять контроль температуры стенок кристаллизатора, который может быть реализован бесконтактно с помощью вихретокового метода. Нагрев стенок непосредственно зависит от уровня металла в кристаллизаторе, но температура внешней стенки характеризуется большей постоянной времени переходных процессов, чем внутренняя, поэтому для контроля уровня металла важно контролировать проводимость внутренних слоев стенки кристаллизатора, обращенных к металлу.

В качестве объекта исследования в работе моделируется вихретоковый датчик уровня металла при импульсном возбуждении, встроенный в кристаллизатор. Импульсный способ возбуждения вихревых токов позволяет получать информацию, поступающую последовательно слой за слоем по всей толщине объекта [2]. Вторым преимуществом импульсного способа возбуждения по сравнению с гармоническим является отсутствие трансформаторной ЭДС и связанных с трансформаторным сигналом дрейфов датчика. На основе рассчитанных сигналов преобразователя выделяются информационные параметры и оценивается возможность измерения уровня металла в кристаллизаторе.

### **Литература**

1. **Смирнов А.Н., Пилюшенко В.Л., Минаев А.А.** Процессы непрерывной разливки: Монография. Донецк: ДонНТУ, 2002.
2. **Герасимов В.Г., Покровский А.Д., Сухоруков В.В.** Неразрушающий контроль / под ред. В.В. Сухорукова. В 5 кн. Кн. 3. Электромагнитный контроль. М.: Высш. шк., 1992.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТИ МАССИВНОГО НЕМАГНИТНОГО ОБЪЕКТА НА ИМПУЛЬСНОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ**

Неразрушающий контроль многослойных изделий в настоящий момент является перспективным направлением развития вихретокового метода [1].

Среди возможных областей приложения вихретоковых методов контроля электропроводимости и коррелирующих с ней таких характеристик, как температура, структурное состояние, выделяется металлургия. В системах непрерывной разливки стали [2] необходимо проводить контроль температуры внутренних слоев стенок медного кристаллизатора путем измерения электропроводимости для последующего определения уровня металла. Контроль качества термической обработки металла также предполагает определение электропроводимости поверхностных слоев изделия. Возможность измерения проводимости слоев на произвольной глубине и определения области изменения электропроводимости в свою очередь позволяет получить наилучшее представление о свойствах металла после термообработки [3].

В данной работе проводится исследование возможности измерения электропроводимости определенного слоя изделия независимо от толщины и электропроводности прочих слоев, а также определения координат этих изменений по толщине металлического листа. Проводятся моделирование классического накладного вихретокового преобразователя, выполненного в виде спиралевидной обмотки, при импульсном возбуждении и анализ разностных сигналов преобразователя от объекта контроля, представляемого совокупностью слоев, каждый из которых характеризуется определенной величиной электропроводимости. Средой моделирования является программное обеспечение ANSYS Maxwell, основанное на методе конечных элементов. В качестве информационной величины регистрируется магнитный поток от вихревых токов.

### **Литература**

1. Герасимов В.Г., Покровский А.Д., Сухоруков В.В. Неразрушающий контроль / под ред. В.В. Сухорукова. В 5 кн. Кн. 3. Электромагнитный контроль. М.: Высш. шк., 1992.
2. Смирнов А.Н., Пилюшенко В.Л., Минаев А.А. Процессы непрерывной разливки: Монография. Донецк: ДонНТУ, 2002.
3. Коротин И.М. Контроль качества термической обработки металлов. М: Высш. шк., 1980.

*А.А. Столяров асп.; рук. В.П. Лунин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОПОСТАВЛЕНИЕ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Атомная энергетика является одним из основных источников электрической энергии в мире. Общая доля энергии, вырабатываемой с помощью АЭС, составляет порядка 20 % общего производства электроэнергии.

Работа посвящена сопоставлению параметров электропроводящих отложений на внешней поверхности теплообменных труб парогенераторов АЭС с результатами численного моделирования. Особое внимание уделено выбору электрической и магнитной проводимостей, необходимых для построения моделей процедуры контроля. При проведении работ был сделан анализ англоязычных статей, посвященных моделированию отложений на поверхности теплообменных труб. В частности, обращено внимание на то, что в ряде статей, например [1, 2], в качестве материала модели отложений используется магнетит. По результатам макетирования корейские и финские авторы строят градуировочную зависимость для определения параметров отложений. При этом не приводится анализ и не исследуется вид сигнала, подразумеваемый под индикацией от электропроводящего отложения.

После исследований сигналов с АЭС и проведения макетного эксперимента на кафедре электротехники и интроскопии Национального исследовательского университета «МЭИ» было выявлено, что совпадение вида зависимости от индикации отложений на внешней поверхности трубы парогенератора и макетного эксперимента определяется выбором материала отложения электропроводящей среды при макетировании. Эти выводы были подтверждены результатами численного моделирования. Эксперименты, проведенные с магнитным материалом, не дали вида индикации, похожего на реальный сигнал от электропроводящего отложения. Разработан алгоритм оценки слоя локальных отложений. Сопоставлены сигналы от конструктивных элементов и индикаций электропроводящих отложений, выявлены признаки, по которым может пройти их разграничение.

### **Литература**

1. **Tarja Jäppinen, Kari Lahdenperä и Sanna Ala-Kleme.** Locating Magnetite on the steam generator tubes with eddy current // Durban, 2012.
2. **Development** of scale measurement technologies for steam generator tubing / Min-Kyoung Kim, Chang-Jae Yim, Eui-Lae Kim et al. // Singapore, 2011.

## **ДЕФЕКТЫ ДЕТАЛЕЙ МОТОГОНДОЛЫ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ, ВЫПОЛНЕННОЙ ИЗ ПКМ, И СПОСОБЫ ИХ ВЫЯВЛЕНИЯ МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

В настоящее время на предприятиях отрасли ведется разработка и квалификационные испытания технологий изготовления деталей и узлов мотогондолы авиационной силовой установки из полимерных композиционных материалов (ПКМ) нового поколения. Для обеспечения выпуска качественной продукции необходим 100 %-ный неразрушающий контроль деталей и узлов мотогондолы на наличие производственных дефектов [1]. В России нормативно-технической документации, регламентирующей неразрушающий контроль изделий из ПКМ нового поколения, нет.

В работе рассмотрены типичные дефекты, возникающие при производстве деталей мотогондолы, а также способы их обнаружения. Рассмотрены способы имитации данных дефектов, а также тип и свойства образцов, которые необходимо изготовить для опробования методов неразрушающего контроля. Показаны результаты радиографического контроля, разработана методика выбора режимов экспонирования [2] (схема контроля, анодное напряжение, ток трубки, продолжительность экспозиции, фокусное расстояние, тип радиографической пленки [3]), предложен метод расчета линейных коэффициентов ослабления исходя из величины слоя половинного ослабления.

Автором были разработаны способы получения искусственных дефектов в образцах из ПКМ, определены типы дефектов выявляемых рентгеновским методом, а также чувствительность рентгеновского контроля. Эта информация позволит создавать документы, регламентирующие контроль изделий из ПКМ: отдельных деталей и узлов мотогондолы двигателя, элементов фюзеляжей летательных аппаратов. Это позволит улучшить качество продукции выпускаемой на предприятиях аэрокосмической отрасли.

### **Литература**

1. **Каблов Е.Н.** Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. № 8. С. 7—17.
2. **Добромыслов В.А.** Радиационные методы неразрушающего контроля. М.: Машиностроение, 1999. 104 с.
3. **Практическое** руководство по радиографическому методу неразрушающего контроля / Е.И. Косарина, А.В. Степанов, Н.А. Саввина и др. М., 2006. 106 с.

*С.А. Федоренко, асп.; рук. В.К. Качанов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КРАЕВОГО ЭФФЕКТА В ПРОЦЕССЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ АКУСТИЧЕСКИМ ИМПАКТ-ЭХО МЕТОДОМ**

Традиционно для контроля строительных конструкций (СК) из бетона при одностороннем доступе к изделию применяется акустический эхо-импульсный метод, однако он не позволяет контролировать СК толщиной более 1,5 м. Для контроля крупногабаритных СК используют методы собственных частот (импакт-эхо метод), не имеющие ограничений по максимальной толщине объекта контроля. Импакт-эхо метод активно развивался в последние 20 лет за рубежом [1], однако в России он практически не исследовался за исключением работ МЭИ [2,3]. Информативным параметром импакт-эхо метода является АЧХ изделия. В протяженных СК простейших форм (фундаменты, перекрытия, стены), у которых измеряемая толщина много меньше иных размеров, амплитуда пика, соответствующая толщине, существенно превышает амплитуды иных пиков. По ней рассчитывают либо скорость акустической волны при известной толщине, либо толщину, если известна скорость. Однако импакт-эхо метод не пригоден для толщинометрии «компактных» СК, у которых иные размеры сопоставимы с измеряемой толщиной, так как искомый пик АЧХ замаскирован резонансными пиками, соответствующими иным размерам [3].

В докладе приводится пример контроля «полукомпактных» СК, у которых измеряемая толщина сопоставима по размеру только с одним габаритом (2300×400×400 мм). Было показано, что достоверные результаты измерения толщины возможны при расположении приемного преобразователя только на оси симметрии. При этом была определена область расположения приемника (при смещении его на некоторое расстояние от этой оси), где влияние краевого эффекта минимально.

### **Литература**

1. **Sansalone M., Streett W.B.** Impact-Echo: Nondestructive Testing of Concrete and Masonry // Bullbrier Press, Jersey Shore, PA, 1997.
2. **Качанов В.К., Соколов И.В., Авраменко С.Л.** Проблемы акустического контроля крупногабаритных строительных конструкций из бетона // Дефектоскопия. 2008. № 12. С. 12—22.
3. **Многоканальный** мультипликативный метод акустического контроля крупногабаритных компактных строительных конструкций из бетона / В.К. Качанов, И.В. Соколов, С.Л. Авраменко, Д.В. Тимофеев // Дефектоскопия. 2008. № 12. С. 23—36.

*М. Б. Фёдоров, асп.; рук. В.К.Качанов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОДАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКОЙ НАВОДКИ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПЕРАЦИИ ВЫЧИТАНИЯ СИГНАЛОВ**

При ультразвуковом (УЗ) контроле крупногабаритных изделий для обеспечения высокой чувствительности используют относительно низкие частоты (100 кГц), на которых возрастает протяженность одного периода УЗ колебаний (в бетоне составляет 3—4 см) и длительность УЗ сигнала. Возрастает и длительность электроакустической наводки (ЭАН) при контроле изделий раздельно-совмещенными (РС) преобразователями. Паразитный сигнал ЭАН может маскировать находящийся эхо-сигнал от дефекта, может быть ошибочно принят как второй эхо-сигнал от второго дефекта. ЭАН состоит из электрической наводки (ЭН), возникающей внутри РС ПЭП из-за недостаточного экранирования излучающего (ИП) и приемного (ПП) преобразователей и акустической наводки (АН), в состав которой входят акустические наводки между ИП и ПП, в том числе наводки, обусловленные прохождением части сигнала с ИП на ПП по поверхности изделия. Возникающая в РС преобразователе ЭН не меняет своей формы и амплитуды, а АН постоянно только в случае, если неизменно соотношение акустических сопротивлений ПЭП и изделия. Другими словами, при сканировании преобразователем по поверхности одного и того же объекта ЭАН существенно не меняется, что позволяет подавлять ЭАН за счет ее вычитания: сначала запоминается «опорный» сигнал ЭАН, который формируется на бездефектном фрагменте изделия, а затем осуществляется собственно контроль изделия, при котором вычитается запомненный ранее сигнал ЭАН.

В докладе обсуждается схема многофункционального измерительного устройства, обеспечивающего операцию вычитания [1], и приводятся результаты УЗ контроля протяженных изделий УЗ низкочастотными РС преобразователями, при котором паразитный сигнал ЭАН подавляется за счет операции вычитания.

### **Литература**

1. **Применение** радиотехнических методов обработки сигналов при ультразвуковой толщинометрии изделий из сложноструктурных материалов / В.К. Качанов, И.В. Соколов, М.Б. Фёдоров и др. // Дефектоскопия. 2015. № 6. С. 32—40.

Р.А. Хуснутдинов, Г.Д. Марданов, аспиранты;  
рук. А.В. Голенцев-Кутузов, д.ф.-м.н., проф. (КГЭУ, г. Казань)

## **ДВУХКАНАЛЬНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ИЗОЛЯЦИИ**

Основным вопросом, на который должна ответить измерительная система, является возможность или невозможность дальнейшей безопасной эксплуатации высоковольтного оборудования. Одним из таких методов является метод контроля на основе компьютерного анализа ряда параметров частичных разрядов (ЧР), возникающих задолго до полного пробоя изоляции.

Система измерения ЧР сочетает в себе все достоинства современных многоканальных анализаторов, а именно: прямое детектирование амплитудно-фазовых характеристик (АФХ) ЧР, возможность построения АФХ, возможность проведения длительных измерений в целях мониторинга состояния изолятора или испытуемой модели. В разработанной двухканальной системе регистрации ЧР созданы виртуальные приборы записи сигналов с датчиков, обработки записанного массива и представления результатов измерения. В системе измерения используется принцип фазового детектирования ЧР. Этот метод позволяет поставить в соответствие два основных параметра ЧР — амплитуду и количество импульсов за определенный интервал времени фазовому положению импульсов относительно синусоиды питающего напряжения. Принцип регистрации ЧР, основанный на методе фазового детектирования, заключается в следующем. Измерение параметров ЧР осуществляется синхронно с формой питающего напряжения — аналого-цифровое преобразование данных проводится в течение периода напряжения сети  $U_0$ . Квантование или дискретизация по уровню осуществляется при помощи задания опорной амплитуды  $U_{ref}$  в течение каждого периода  $U_0$ . В течение каждого фазового интервала подсчитывается количество ЧР и амплитуда каждого ЧР, превышающего заданную опорную амплитуду  $U_{ref}$ .

Главным диагностическим признаком, отличающим исправные изоляторы от дефектных, является значительное отличие в количестве и интенсивностях ЧР, а также фазовый сдвиг этих значений. Разработанная двухканальная система измерения характеристик ЧР может быть применена для оперативного контроля и мониторинга состояния изоляции.



## **РАЗРАБОТКА МЕТОДА ФИЛЬТРАЦИИ ШУМОВЫХ СИГНАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ОПАСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

В настоящее время в эксплуатации находится большое количество опасных промышленных объектов. Согласно правилам промышленной безопасности требуется проведение оценки состояния таких объектов методами неразрушающего контроля (НК). Одним из перспективных методов НК является метод акустической эмиссии (АЭ). Он основан на явлениях генерации акустических волн при структурных изменениях материала [1]. На его основе определяется степень опасности дефектов, а не их геометрические размеры. Определение степени опасности осуществляется с помощью стандартных критериев, описанных в правилах проведения АЭ контроля [2].

К сожалению, совместно с потоком полезных сигналов промышленная система АЭ также регистрирует шумовой поток. Присутствие высокоэнергетического шумового потока усложнит как регистрацию, так и фильтрацию АЭ данных. Особое место в разнообразии шумовых сигналов занимает импульсный периодический шум [3]. Его присутствие максимально усложняет проведение стандартной процедуры оценки состояния промышленного объекта.

Исходя из вышесказанного одной из основных задач АЭ контроля является разработка универсальных методов фильтрации данных, позволяющих с высокой точностью оценивать состояние промышленных объектов. Одним из таких механизмов фильтрации может стать метод, основанный на оценке параметров временных рядов. Применение такого метода в первую очередь связано с высоким уровнем помехоустойчивости как для непрерывного случайного шумового процесса, так и импульсного периодического шума. Устранение шумовых составляющих повысит точность проведения оценки состояния промышленных объектов, а также область применения метода АЭ.

### **Литература**

1. **Иванов В.И., Власов И.Э.** Неразрушающий контроль: Справочник. Т. 7 / под общ. ред. В.В. Клюева.
2. **ПБ 03-593-03.** Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов.
3. **Елизаров С.В., Барат В.А., Шиманский А.Г.** Интеллектуальная акустико-эмиссионная система SMART нового поколения // В мире неразрушающего контроля. 2014. № 3 (65). С. 26—29.

*Д.В. Чернов, асп.; рук. В.А. Барат, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

В настоящее время композиционные материалы используются во многих отраслях промышленности. Причиной распространения является высокий уровень прочности при малом удельном весе. Из-за широкой области применения композиционных материалов актуальной задачей является разработка методик по оценке состояния объектов. Оценка состояния осуществляется с помощью стандартных методов неразрушающего контроля (НК), одним из которых является метод акустической эмиссии (АЭ). В случае контроля композиционных материалов метод АЭ обладает некоторыми преимуществами перед стандартными методами НК. Это пассивный метод контроля, регистрирующий акустические волны, которые возникают при структурных изменениях материала, таких как пластическая деформация, зарождение и рост дефектов. Он обладает высокой чувствительностью и не требует сканирования поверхности.

Стоит выделить основные этапы разрушения композиционных материалов — растрескивание матрицы, разрушение адгезионного слоя, разрушение волокон. Хрупкое разрушение матрицы характеризуется малыми значениями амплитуды и длительности АЭ сигнала. Разрушение адгезионного слоя схоже с процессом растрескивания матрицы, как по параметрам, так и по форме АЭ сигнала. Заключительной стадией является разрушение волокон. При их разрушении отмечаются высокоамплитудные широкополосные сигналы характерной формы с низкочастотной составляющей спектра. Также отмечается, что процессу разрушения волокон соответствуют сигналы АЭ определенного типа [2].

На основании проведенных исследований разработана методика идентификации АЭ сигналов различного типа [1]. С ее помощью были идентифицированы сигналы, соответствующие разрушению матрицы, а также разрушению волокон. Применение методики позволило разделить стадии деформации композита.

### **Литература**

1. **Чернов Д.В., Лепихин А.М., Елизаров С.В.** Оценка состояния металлокомпозитного сосуда давления методом акустической эмиссии: Сборник докладов конференции «Безопасность и живучесть технических систем», 2015.
2. **Kanji ONO and Antolino GALLEGO.** Research and Application of AE on Advanced Composites // 30th European Conference on Acoustic Emission Testing & 7th International Conference on Acoustic Emission University of Granada, 12—15 September 2012.

## СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЕ — РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА .....	3
Секция 1. Теоретические основы радиотехники.....	5
Секция 2. Формирование колебаний и сигналов .....	16
Секция 3. Устройства обработки радиосигналов.....	37
Секция 4. Антенные устройства и распространение радиоволн .....	63
Секция 5. Радиолокация и телевидение.....	76
Секция 6. Системы радиоавтоматики и радиоуправления .....	95
Секция 7. Сети и системы передачи информации .....	104
Секция 8. Квантовая электроника .....	111
Секция 9. Фотоника .....	126
Секция 10. Промышленная электроника .....	148
Секция 11. Полупроводниковая электроника .....	160
Секция 12. Биомедицинская электроника .....	172
НАПРАВЛЕНИЕ — ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	197
Секция 13. Математическое моделирование.....	199
Секция 14. Прикладная математика .....	213
Секция 15. Вычислительная техника и САПР .....	232
Секция 16. Вычислительные машины, сети и системы .....	240
Секция 17. Управление и информатика в технических системах .....	259
Секция 18. Вычислительно-измерительные системы .....	285
Секция 19. Неразрушающий контроль и диагностика .....	303

*Научное издание*

**РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА  
И ЭНЕРГЕТИКА**

**Двадцать вторая Международная научно-техническая  
конференция студентов и аспирантов**

Тезисы докладов  
В 3 томах

Том 1

Корректор *Г.Ф. Раджабова*  
Компьютерная верстка и подготовка  
оригинал-макета *М.Н. Маркиной*

---

Подписано в печать 29.01.16  
Печать цифровая

Формат бумаги 60×84/16  
Усл. п.л. 20,75

---

АО «Издательский дом МЭИ», 111250, Москва, Красноказарменная ул., д. 14А