

# **РАДИОЭЛЕКТРОНИКА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**



**ЧЕТВЕРТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ  
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ,  
ПОСВЯЩЕННАЯ ДНЮ РАДИО**

**Тезисы докладов**

***(Тамбов, 6–7 мая 2019 г.)***

**Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2019**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Тамбовский государственный технический университет»  
ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ, ПРИБОРОСТРОЕНИЯ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

## **РАДИОЭЛЕКТРОНИКА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

ЧЕТВЕРТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ  
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ,  
ПОСВЯЩЕННАЯ ДНЮ РАДИО

**Тезисы докладов**

*(Тамбов, 6–7 мая 2019 г.)*

*Научное электронное издание*



---

Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2019

УДК 621.396.6

ББК 3844-02

P15

Редакционная коллегия:

Д. Ю. Муромцев – *ответственный редактор*,

Т. И. Чернышова – *зам. ответственного редактора*,

С. П. Москвитин, А. П. Пудовкин, С. В. Фролов, Н. Г. Чернышов

P15 **Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития [Электронный ресурс]: тезисы докладов Четвертой всероссийской молодежной научной конференции / под ред. Д. Ю. Муромцева и др. ; ФГБОУ ВО «ТГТУ».** – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дискковод ; 6,20 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-8265-2081-9 (IV)

ISBN 978-5-8265-1921-9 (III)

ISBN 978-5-8265-1730-7 (II)

ISBN 978-5-8265-1557-0 (I)

Представлены тезисы докладов участников Четвертой всероссийской молодежной научной конференции «Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития», в которых раскрываются вопросы проектирования радиоэлектронных систем различного назначения на всех стадиях производства, генерации сигналов, приема и передачи различной информации по каналам связи, а также вопросы развития и применения радиоэлектроники в медицине и биомедицинской технике.

Материалы могут быть полезны студентам, молодым исследователям, а также инженерно-техническим работникам различных отраслей промышленности.

УДК 621.396.6

ББК 3844-02

*Материалы предоставлены в электронном варианте  
и сохраняют авторскую редакцию.*

*Организаторы конференции и редакция ответственности  
за содержание предоставленных авторами материалов не несут.*

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.*

*Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.*

ISBN 978-5-8265-2081-9 (IV)  
ISBN 978-5-8265-1556-3 (общ.)

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2019

## Секция 1

# ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

---

## ОБ ОДНОМ УНИВЕРСАЛЬНОМ МЕТОДЕ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

*Е. И. Алгазин*

*Новосибирский государственный технический университет*

Существует классический метод оценки состояния радиотехнических цепей, заключающийся в оценке времени переходного процесса. Этот метод основан на составлении характеристического уравнения на основе дифференциального, описывающего состояние цепи.

Этот метод зарекомендовал себя как основной метод, давший практическую пользу при оценке состояния радиотехнических цепей.

Однако классический метод оказался не единственным, ведущим к формированию характеристического уравнения.

Возможно перейти к характеристическому уравнению на основе составления уравнения баланса энергий элементов радиотехнической цепи.

Рассмотрим последовательную R-L-C цепь без источника питания. Конденсатор предварительно заряжен до  $U_C = U_0$ . Запишем уравнение баланса энергий для данной цепи после коммутации: энергия, запасенная в электрическом поле конденсатора равна  $\frac{q^2}{2C}$ , энергия, запасенная в магнитном поле индуктивности равна  $\frac{L}{2}i^2$ , и энергия, рассеиваемая на резисторе сопротивлением  $R$  равна  $R \int i^2 dt$ . Составим функционал энергий:

$$\frac{q^2}{2C} + \frac{L}{2}i^2 + R \int i^2 dt = 0. \quad (1)$$

Зная, что  $i = \frac{dq}{dt}$ , преобразим функционал, продифференцировав его члены один раз по времени.

Получим, проведя преобразование:

$$\frac{dq}{dt} \left( \frac{q}{C} + \frac{L}{2} \frac{d^2q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} \right) = 0. \quad (2)$$

Сократим  $\frac{dq}{dt}$  и поделим все слагаемые на  $L$ :

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dq}{dt} + \frac{q}{LC} = 0. \quad (3)$$

Характеристическое уравнение будет иметь вид:

$$p^2 + \frac{R}{L} p + \frac{1}{LC} = 0. \quad (4)$$

Составим дифференциальное уравнение, описывающее последовательную R-L-C цепь без источника питания на основании второго закона Кирхгофа:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + U_C = 0. \quad (5)$$

Зная, что  $i = \frac{dq}{dt}$  и  $U_C = \frac{q}{C}$  преобразуем к виду:

$$L \frac{d^2q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0. \quad (6)$$

Преобразуем, поделив на  $L$ :

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dq}{dt} + \frac{q}{LC} = 0. \quad (7)$$

Получим характеристическое уравнение:

$$p^2 + \frac{R}{L} p + \frac{1}{LC} = 0. \quad (8)$$

Характеристические уравнения, полученные разными способами, идентичны [1, 2].

Это говорит о том, что предложенный метод можно использовать в дополнение к существующим методам получения характеристического уравнения.

### Библиографический список

1. **Зернов, Н. В.** Теория радиотехнических цепей / Н. В. Зернов, В. Г. Карпов. – М. ; Л. : Энергия, 1965. – 892 с.

2. **Веселовский, О. Н.** Основы электротехники и электротехнические устройства радиоэлектронной аппаратуры : учебное пособие для вузов / О. Н. Веселовский, Л. М. Брославский. – М. : Высшая школа, 1977. – 312 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТЫ НА ЗАТУХАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СРЕД

*Д. Р. Антоничев, С. А. Марчуков, С. П. Москвитин*

*Тамбовский государственный технический университет*

Затухание электромагнитной волны (ЭМВ) зависит от параметров среды: диэлектрической проницаемости, магнитной проницаемости, проводимости и частоты электромагнитных колебаний [1 – 4]. Затухание ЭМВ сильно влияет на дальность радиосвязи и характеризуется параметрами: коэффициент затухания ЭМВ и тангенс угла потерь, которые рассчитываются следующими выражениями [1, 5, 6]:

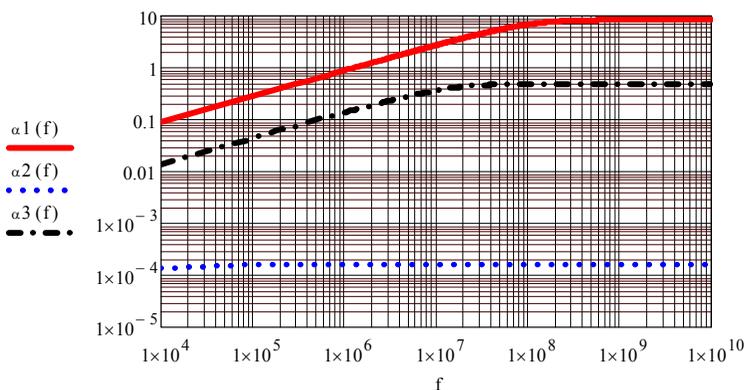
$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu_a \epsilon_a}{2}} \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{\gamma}{\omega \epsilon_a} \right)^2} - 1 \right]; \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \Delta = \frac{\gamma}{\omega \epsilon_a}, \quad (2)$$

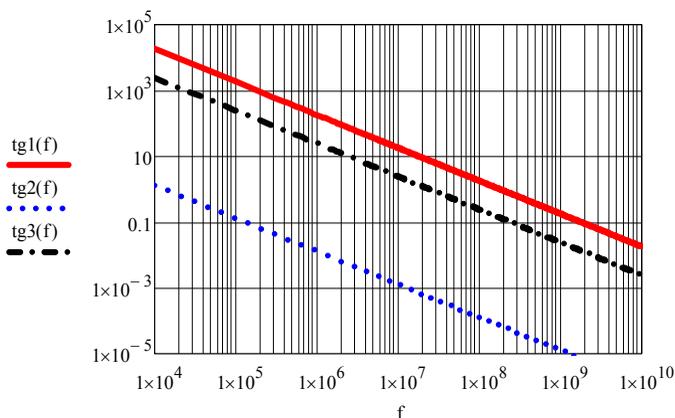
где  $\omega$  – циклическая частота;  $\epsilon_a$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды;  $\mu_a$  – абсолютная магнитная проницаемость среды;  $\gamma$  – проводимость среды.

Проведем исследования для трех сред на частотах от 10 кГц до 10 ГГц: влажная почва, снег и мерзлая почва.

На рисунке 1 показана зависимость коэффициента затухания ЭМВ от частоты для трех сред.



**Рис. 1. Графики зависимости коэффициента затухания ЭМВ от частоты для трех различных сред**



**Рис. 2. Графики зависимости тангенса угла потерь ЭМВ от частоты для трех различных сред**

На рисунке 2 показана зависимость тангенса угла потерь ЭМВ от частоты для трех сред.

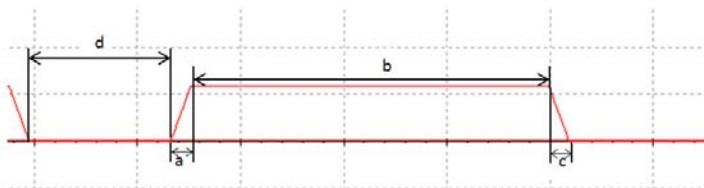
Таким образом, исследования показали, что мерзлая и влажная почва на частотах до 10 МГц является для ЭМВ проводником, на частоте свыше 1 ГГц – диэлектриком. Снег для ЭМВ свыше 100 кГц является диэлектриком.

### Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Распространение радиоволн [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк. – Тамбов : ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 180 с.
2. Панасюк, Ю. Н. Электромагнитные поля : учеб. пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 96 с.
3. **Synthesis** of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.
4. **Synthesis** of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation / A. P. Pudovkin, Yu N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.
5. Пудовкин, А. П. Основы теории антенн : учеб. пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, А. А. Иванков. – Тамбов : ТГТУ, 2011. – 92 с.



из параметров электрической цепи на сам генератор, опытным путем меняем каждый из показателей в диапазоне от +100% до -50% от его истинного значения. Получившиеся данные приведены в табл. 2.



**Рис. 2. Импульс генератора:**

$a$ ,  $c$  – интервалы динамического изменения сигнала увеличения и уменьшения сигнала;  $b$  – длина сигнала;  $d$  – скважность

### 1. Данные исследования

Результаты исследования									
$C1$	$a$	$b$	$c$	$d$	$C2$	$a$	$B$	$c$	$d$
0,025 micF	1,064	14,421	1,064	7,151	5 nanoF	1,064	16,548	1,064	7,742
0,075 micF	1,005	17,199	1,005	7,506	15 nanoF	1,064	15,839	1,064	7,388
0,1 micF	1,064	14,953	1,064	7,329	20 nanoF	1,064	16,076	1,064	7,447
$C3$	$a$	$b$	$c$	$d$	$C4$	$a$	$B$	$c$	$d$
0,5 pF	1,005	9,775	1,005	4,734	0,015 micF	1,041	15,291	1,041	7,503
1,5 pF	1,018	21,657	1,018	14,083	0,045 micF	1,005	16,000	1,005	7,787
2 pF	1,089	25,799	1,089	29,586	0,06 micF	1,041	15,834	1,041	7,236
$R1$	$a$	$b$	$c$	$d$	$R4$	$a$	$B$	$c$	$d$
5 кОм	1,064	10,556	1,064	7,337	5 кОм	1,018	14,012	1,018	5,018
15 кОм	1,018	18,438	1,018	7,598	15 кОм	1,041	18,757	1,041	10,000
20 кОм	1,064	23,865	1,064	7,870	20 кОм	1,064	17,692	1,064	13,432

Таблица 2

$R2/R3$	$a$	$b$	$c$	$d$
37600/9400 кОм	1,064	21,775	1,064	14,970
28200/18800 кОм	1,000	24,734	1,000	15,562
18800/28200 кОм	1,064	29,053	1,064	15,385
9400/37600 кОм	1,064	27,633	1,064	12,840

Анализ данных исследования показал, что с увеличением емкости конденсатора  $C3$  происходит увеличение скважности, остальные конденсаторы оказывают незначительные воздействия, кроме того значительное влияние оказывают резисторы  $R1$  и отношения резисторов  $R2/R3$ . При увеличении сопротивления этих резисторов скважность возрастает и разница между исходным и снятым значением превышает двукратное значение. Изменение других элементов схемы оказывает незначительное изменение скважности.

### Библиографический список

1. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию : в 2 т. Т. 2. Электрооборудование / под общ. ред. А. А. Федорова. – М. : Энергоатомиздат, 2007. – 592 с.
2. **Основы** теории цепей : учебник для вузов / Ю. О. Коваль и др. – М. : Харьков : ХНУРЭ ; Колегиум, 2004. – 436 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИХОДА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

***В. В. Бобров***

*Дальневосточный федеральный университет*

Вопросы увеличения степени ионизации пламени на сегодняшний день остаются актуальной задачей. Рассматривались различные варианты решения данного вопроса: от повышения температуры пламени до введения в зону реакции легко ионизирующей присадки. Однако все эти варианты имели существенные недостатки, которые ограничивали их применение в промышленности.

Исследование ионизационных процессов в пламени и влияние на них электрических полей позволило нам еще на шаг приблизиться к решению задачи управления степенью ионизации пламени.

Рассмотрим движение электрона в пламени с позиции классического движения тела под действием силы, образуемой электрическим полем.

Для нахождения длительности импульсов нам необходимо определить время воздействия на электрон, находим его через ускорение и расстояние, которое должен проделать электрон:

$$t = \sqrt{\frac{2S}{a}}, \quad (1)$$

где  $S$  – расстояние, пройденное электроном;  $a$  – ускорение.

Так как ускорение неизвестно выражаем его через силу:

$$F = ma = Eq, \quad (2)$$

где  $m$  – масса электрона;  $E$  – напряженность электрического поля;  $q$  – заряд электрона.

Получается, что ускорение можно найти как:

$$a = \frac{Eq}{m}. \quad (3)$$

Заменяем ускорение в формуле (1) и получаем:

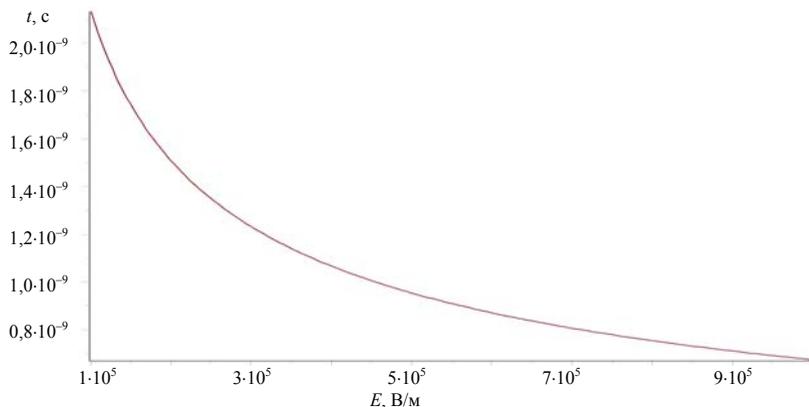
$$t = \sqrt{\frac{2Sm}{E|q|}}. \quad (4)$$

Для проведения экспериментов по повышению степени ионизации проведем предварительные расчеты исходных параметров.

Напряжение выбираем в пределах возможности экспериментальной установки от 1 кВ/см до 10 кВ/см. Расстояние между электродами 40 мм.

При этом энергия электрона, в случае прохождения без столкновений, будет повышаться 40 000 эВ. Что вполне достаточно для ионизации нейтральной компоненты пламени.

Рассмотренный случай не учитывает столкновение электронов с атомами и ионами пламени. При этом расчет показывает, какой длительностью может обладать импульс электрического поля, чтобы вызвать ионизационные процессы в пламени без образования дугового разряда.



**Рис. 1. Зависимость времени прохождения межэлектродного пространства от напряженности электрического поля**

### **Библиографический список**

1. **Степанов, К. М.** Ионизация в пламени и электрическое поле / Е. М. Степанов, Б. Г. Дьячков. – М. : Metallurgy, 1968. – 311 с.
2. **Расчет** электрических полей устройств высокого напряжения : учеб. пособие для вузов / И. П. Белоедова, Ю. В. Елисеев, Е. С. Колечицкий и др. ; под ред. Е. С. Колечицкого. – М. : Издательский дом МЭИ, 2016. – 172 с.

## **РОБОТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ В ВОЙСКАХ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ**

***А. А. Брюзгин, А. А. Ефремов, С. В. Ключенков, С. Н. Минаков***

*Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск  
радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный)*

На данный момент по всему миру используются различные роботизированные системы и комплексы в вооруженных конфликтах. Они становятся меньше, доступнее, у них появляется все больше разновидностей. Широкое распространение получили полуавтономные устройства, используемые для исследований и разведки, за управление и принятие решений которых отвечает человек (оператор) [1, с. 124]. Основной задачей всех роботизированных систем является минимизация непосредственного участия человека в действиях с целью сокра-

щения или исключения вовсе людских потерь, а также для работы в условиях, несовместимых с возможностями человека. Разновидностей боевых роботов столько же, сколько и боевых задач для войсковых подразделений. Лидерами по производству и развитию роботизированных систем в настоящее время являются следующие государства: США, Израиль, Китай и ряд европейских стран. В области радиоэлектронной борьбы (РЭБ) самыми распространенными автоматизированными комплексами, используемыми в военных конфликтах, являются беспилотные летательные аппараты (БЛА) [2]. Основными достоинствами беспилотных аппаратов, по сравнению с другими летательными аппаратами, являются: исключение потерь личного состава; уменьшение затрат при потерях; высокая маневренность и большая живучесть. Но их использование оправдано не во всех случаях, в некоторых ситуациях требуются другие технические решения в связи с условиями проведения операций. Например, применение беспилотников в городских условиях будет крайне неудобно. Рассмотрим ситуацию. Группа людей захватила часть здания. По данным разведки в подвальном помещении установлены взрывчатые вещества с радиовзрывателями, обмен информацией между ними осуществляется при помощи радиостанций и сотовой связи. К данной операции, с большей вероятностью, будут привлечены группы специального назначения, у которых на вооружении есть спецсредства, направленные на радиоэлектронное подавление. Анализируя дальнейшие действия, можно выделить основные задачи радиоэлектронного воздействия:

1. Создание помех сотовой связи между захватчиками и внешним миром.
2. Создание помех радиосвязи между захватчиками.
3. Предотвращение подрыва путем создания помех радиоканала дистанционных взрывателей.

В данной ситуации оптимальным способом является использование носимой системы радиоэлектронной борьбы, которая способна точно подавить радиосвязь, но с уменьшением габаритов устройства так же уменьшается его мощность. Это означает, что для выполнения поставленной задачи требуется подойти практически вплотную к объекту, на которое направленно радиоэлектронное воздействие, при этом, существует опасность быть замеченным или вовсе потерять личный состав группы специального назначения [3].

Это наталкивает на создание комплексов РЭБ, которые совмещают в себе мобильность, автономность, многофункциональность и воз-

возможность дистанционного управления. Данные роботизированные комплексы РЭБ расширяют функциональность подразделений специального назначения, позволяют использовать их как систему радиоэлектронной борьбы, совмещенную с разведывательным комплексом, направленную на уменьшение вероятности потерь личного состава. Робот управляется на безопасном расстоянии, а при обнаружении, максимум чего добьется противник, это уничтожение устройства. Но к тому времени ценная информация уже будет получена [4]. Имеющиеся на данный момент роботизированные комплексы можно оснастить средствами радиоэлектронной борьбы по мере надобности, такими как:

1. Оснащение системой GPS, ГЛОНАС дистанционного управления.
2. Оснащение системой пеленгации радиоустройств.
3. Оснащение сканером диапазона используемых частот.
4. Оснащение его другой целевой нагрузкой.

Данное оснащение позволяет повышать эффективность проводимых операций в несколько раз.

### Библиографический список

1. **Мосиенко, С. А.** Концепция построения наземного робототехнического ударного комплекса [Текст] / С. А. Мосиенко, В. И. Лохтин. – М. : ООО «Самполиграфист», 2014. – 124 с.

2. **Последние** новости науки и техники. Будь на пике технического прогресса. Роботоперспективы армии России 02.08.2013 [Электронный ресурс] // Техномания: сайт. – Режим доступа : <http://texnomaniya.ru/voennaya-texnika/robotoperspektivi-armii-rossii.html> (дата обращения : 10.04.2019).

3. **Сивков, К.** Халтура в ответ на вызовы [Электронный ресурс] / К. Сивков // Военно-промышленный курьер. – 2015. – № 4(570). – Режим доступа : [http://vpk.name/news/125839\\_haltura\\_v\\_otvet\\_na\\_vyizovy.html](http://vpk.name/news/125839_haltura_v_otvet_na_vyizovy.html) (Дата обращения : 09.04.2019).

4. **Круглов, А. А.** Помеха для врага. Новейшие российские комплексы РЭБ ослепят вражеские самолеты-радары и спутники 4.05.18. [Электронный ресурс] / А. А. Круглов, А. А. Рамм //Известия: сайт. – URL: <https://iz.ru/733273/aleksei-ramm-aleksandr-kruglov/pomekha-dlia-vraga> (дата обращения : 9.04.19).

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕРАТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ СИНТЕЗА И ОПТИМИЗАЦИИ МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН**

*И. П. Бугримов, А. А. Герасименко*

*Дальневосточный федеральный университет*

Ввиду возрастающего интереса государства и бизнеса к решениям идентификации товаров, все большее применение находят новые решения и продукты, связанные с радиочастотной идентификацией. Рост конкуренции на рынке решений радиочастотной идентификации подталкивает игроков рынка изобретать новые технологии и решения. Для этого выделяются средства на исследование (R&D) и разработку, появляются новые исследователи и производители устройств и систем, предлагаются решения, влияющие на проектирование антенн для устройств радиочастотной идентификации, однако ускоряющие процесс разработки.

Топология проектируемой антенны сильно зависит от факторов: материала подложки, материала самой антенны, места установки, целевого диапазона и параметров микрочипа, где малейшее изменение одного из параметров приводит к негодности топологии антенны. Генеративные алгоритмы, как и генеративные нейронные сети нашли полноценное применение в области электромагнитной инженерии и особенно в области параметрической оптимизации и синтезе антенн [1].

Для работы с ГА необходимо ПО с реализованными необходимыми функциями окружения подобных алгоритмов, например, MATLAB. Для генеративного алгоритма обязательно выполнить два требования: во-первых, необходимо сформулировать генетическое представление, так называемый геном, области решения, и, во-вторых, функцию для оценки области решения – фитнес-функцию. Для симуляции электромагнитного поля подойдет ANSOFT ANSYS и ANSOFT DESIGNER. В таком случае MATLAB будет организовывать вывод результата работы генеративного алгоритма в виде исполняемых команд Visual BASIC, отправляемых ANSOFT ANSYS, результаты симуляции оцениваются MATLAB и показатели передаются фитнес-функции для оценивания результатов для последующего цикла генерации [2].

Таким образом, цель связи технологий – автоматический поиск наиболее близкой к искомому параметрам топологии антенны с минимальным участием инженера.

Таким образом, для ГА создается пространство с конечным количеством элементов – полигонов, каждый из которых может быть

заполнен материалом антенны, в начале работы алгоритм выдает множество вариаций, которые отправляются на симуляцию ANSYS, наиболее близкую к искомым параметрам, принимается за основную в следующем «поколении» и претерпевает некоторое количество «мутаций». Каждая мутация подвергается симуляции, и такой процесс циклично повторяется или заданное количество циклов или до достижения необходимых свойств, которые необходимы искомой антенне.

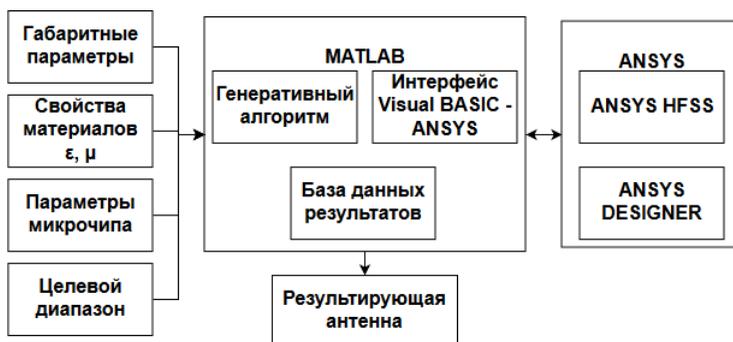


Рис. 1. Блок-схема работы автоматизированной системы

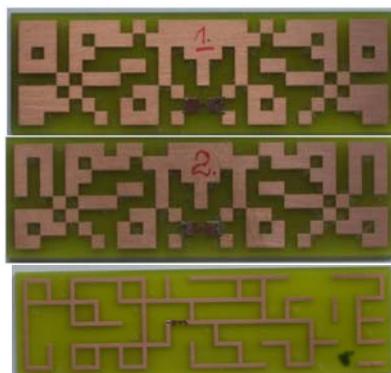


Рис. 2. Результат работы автоматизированного комплекса [3]

Как результат достигается автоматизированный поиск наиболее подходящей топологии антенны без непосредственного участия человека в процессе перебора возможных топологий. Подобная технология синтеза антенн может использоваться инженерами-проектировщиками RFID-решений, не специализирующихся на разработке микрополосковых антенн для ускорения проектировки конечных устройств.

## Библиографический список

1. **Chaabane H., Perret E., Tedjini S.** To Wards UHF RFID Robust Design Tag IEEE, 2010. – С. 223 – 229.
2. **Goojo Kim, You Chung Chung** Optimization of UHF RFID Tag Antennas Using a Genetic Algorithm Albuquerque, NM, USA: IEEE, 2006. – С. 2087 – 2090.
3. **Pichler A., Steffelbauer D., Nazarov A.** Examples for Genetic Algorithm Based Optimal RFID Tag Antenna Design IEEE, 2014. С. 223 – 227 с.

## ОПТИЧЕСКИЙ ТЕЛЕФОН «ЛУЧ»

*А. В. Володько, Ю. В. Худяков, Е. А. Сукачева*

*Воронежский государственный технический университет*

В Воронежском государственном техническом университете ведется постоянная работа по разработке нового лабораторного оборудования, поскольку покупное оборудование стоит часто необоснованно дорого и порой не соответствует современным требованиям образования. Таким образом, появилась необходимость спроектировать приемо-передающее устройство в оптическом диапазоне длин волн.

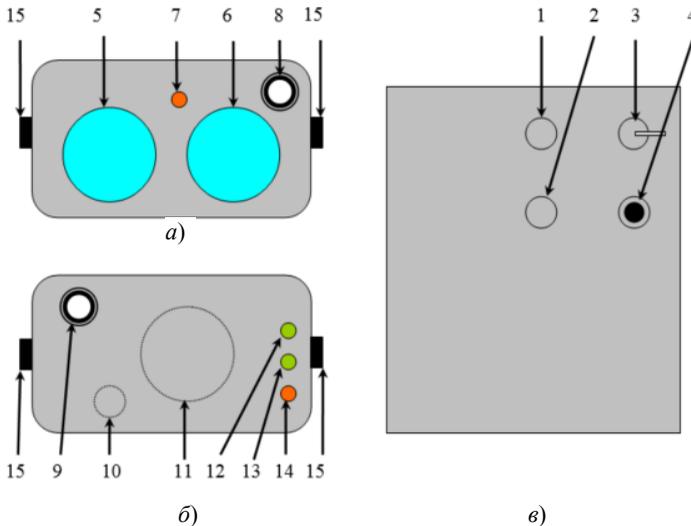
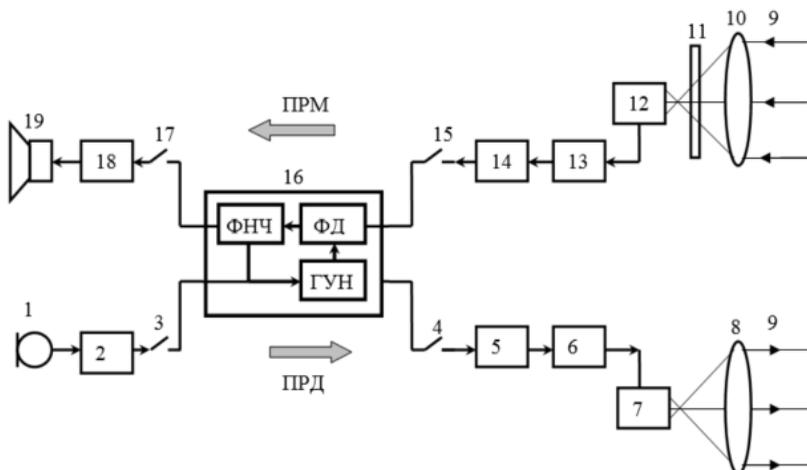


Рис. 1. Внешние элементы оптического телефона «ЛУЧ»

Разработанное устройство представляет собой удерживаемый в руках аппарат (по типу бинокля) с визирным приспособлением для визуального наведения абонентов друг на друга при осуществлении связи на расстоянии прямой видимости (до 300 м), позволяющий скрытно обмениваться речевыми сообщениями в симплексном режиме. Так как речевое сообщение передается путем модуляции невидимого узкого оптического луча, постороннему наблюдателю сложно установить сам факт ведения переговоров и тем более осуществлять его несанкционированное прослушивание.

На оптический телефон «Луч» был получен патент на полезную модель.



**Рис. 2. Структурная схема оптического телефона «ЛУЧ»**

Структурно телефон выполнен по трансиверной схеме, когда один и тот же узел (в данном случае узел фазовой АПЧ) работает в режиме приема и передачи.

Оптический телефон включает два канала: передающий (на рис. 2 – нижняя цепь блоков) и приемный (ПРМ) (на рис. 2 – верхняя цепь блоков).

У обоих каналов имеется общий блок фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) 17, включающий в себя генератор, управляемый напряжением (ГУН), фазовый дискриминатор (ФД) и фильтр низкой частоты (ФНЧ).

В состав передающего канала входит микрофон 1, микрофонный усилитель 2, электронный ключ на входе 3 и на выходе 4 блока ФАПЧ 17,

усилитель-формирователь передаваемой поднесущей частоты 5, мощный ключевой каскад 6, ИК-излучающий светодиод 7, передающая оптическая линзовая антенна 8, пучок передаваемого модулированного ИК излучения 9.

На протяжении последних трех лет оптический телефон «ЛУЧ» интенсивно эксплуатировался студентами в лабораторном практикуме специальных дисциплин и показал свою эффективность и высокую надежность.

### **Библиографический список**

1. **Попов, D. A.** Development of a Stand-alone Software and Hardware Complex for Analyzing the Technical Condition of Hardware Units in Remote Mode / D. A. Popov, A. I. Sukachev, E. A. Sukacheva // MIP-2019'AS Proceedings of the XXIV-th International Open Science Conference. – 2019. – P. 357 – 360.

## **ФРАКТАЛЬНЫЕ АНТЕННЫ. ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ**

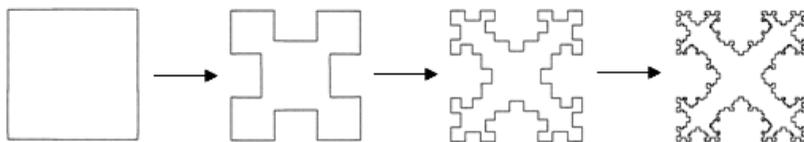
***П. А. Ворогушин***

*Тамбовский государственный технический университет*

На сегодняшний день существует множество различных видов антенн, в зависимости от назначения и области применения они имеют различную конструкцию.

Фрактальные антенны – относительно новый класс электрически малых антенн (ЭМА), принципиально отличающийся своей геометрией от известных решений. По сути, традиционная эволюция антенн базировалась на евклидовой геометрии, оперирующей объектами целочисленной размерности (линия, круг, эллипс, параболоид и т.п.). Главное отличие фрактальных геометрических форм – их дробная размерность, что внешне проявляется в рекурсивном повторении в возрастающем либо уменьшаемом масштабах исходных детерминированных или случайных шаблонов.

Фрактальные контуры (геометрии) создаются итеративным методом, приводящим к самоподобным геометрическим фигурам и контурам (геометриям). Этот метод итеративного формирования лучше всего может быть выражен графически, как показано на рис. 1.



**Рис. 1. Метод итеративного формирования**

Здесь исходной геометрией фрактала (инициатором) является евклидов квадрат. Каждой из четырех прямых сегментов исходной структуры заменен генератором новой формы – пространственным оператором. Показан инициатор-квадрат вместе с первыми тремя генерируемыми итерациями или префракталами. Префрактал – результирующий геометрический контур после отсечения структур избыточной сложности. Каждый прямой участок исходного контура заменяется новым участком в соответствии с действием пространственного оператора-генератора. Эта итеративная процедура генерирования может продолжаться бесконечное число раз. Конечным результатом является контур с бесконечно сложной основной структурой, являющейся непрерывной, но не дифференцируемой замкнутой кривой в любой точке.

Фрактал может заполнять пространство, занимаемое антенной более эффективным образом, чем антенны традиционной евклидовой формы. Это приводит к более эффективной передаче энергии от возбуждающих линий передачи в свободное пространство меньшего объема.

Большой интерес представляет использование фрактальных антенн на низкочастотных диапазонах, где размеры классических антенн достигают больших величин. Кроме того, представляет интерес возможность использовать фрактальный излучатель в качестве элемента антенной решетки.

Самоподобная сложность фрактальной антенны может уменьшить полную резонансную ширину элемента антенны при сохранении тех же характеристик, что и у евклидового элемента. Из-за того, что оба элемента резонансные и имеют похожие диаграммы направленности, фрактальные элементы могут улучшить конструкции линейных решеток, в которых использованы евклидовые элементы.

Фракталы также могут быть использованы для упаковки большего числа резонансных элементов в линейной решетке. Если полная ширина решетки фиксирована, то упаковка большего числа элементов в том же пространстве уменьшает межцентровое расстояние элементов.

Таким образом, применение фрактальных излучателей представляется весьма перспективным в мобильных устройствах, фазированных антенных решетках и в устройствах, где требуется минимизировать размеры антенны.

### **Библиографический список**

1. **Гуськов, Ю. Н.** Концепция создания бортовой радиолокационной системы с активной ФАР / Ю. Н. Гуськов. – 2002. – Вып. 64, № 8. – С. 12 – 30.

2. **Емельченко, Ф. И.** Анализ структур высокоэффективных ФАР для современных и перспективных бортовых РЛС летательных аппаратов : учеб. пособие / Ф. И. Емельников, Д. Е. Хромов // Радиотехника. – 2002. – № 9. – С. 51 – 53.

3. **Данилов, С. Н.** Мультимодельный алгоритм сопровождения со сниженными вычислительными затратами / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Р. А. Ефремов // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах : тез. докл. 2 Междунар. конф. с элементами научной школы. – Тамбов, 22 – 24 апреля 2015 года. – С. 304–305.

*Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента  
Н. А. Кольтюкова*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ АЛГОРИТМА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА**

***В. Н. Глистин, Ю. Н. Панасюк***

*Тамбовский государственный технический университет*

В настоящий момент одной из технологий повышения точности определения угловых координат воздушного судна (ВС) в информационно-измерительных комплексах (ИИК) является применение различных алгоритмов обработки радиолокационной информации. Большинство из современных алгоритмов [1 – 3] используют дополнительную информацию от бортовых датчиков ВС, описывающих его параметры перемещения и характеристики поступающих в ИИК не только от радиолокационных измерителей.

Однако, имеющиеся алгоритмы используют только кинематическую информацию от бортовых датчиков, в то время как динамика полета ВС слабо учитывается, что отрицательно влияет на точность

существующих алгоритмов. Учесть изменение скорости ВС по величине и направлению и уменьшить величину ошибок определения угловых координат ВС позволят модели состояния, в основу которых положены векторы перегрузок. Такие модели были разработаны ранее [4]. Кроме того, на их основе разработаны алгоритмы функционирования ИИК, которые должны улучшить точностные характеристики определения угловых координат ВС.

Исследование корректности синтезированного алгоритма необходимо начинать с оценки потенциальной точности. Исследование потенциальной точности синтезированного алгоритма проводится в целях получения минимально возможных ошибок функционирования. Кроме того, потенциальная точность служит одним из необходимых показателей соответствия ИИК заданным требованиям точности.

Для оптимальных ИИК потенциальная точность характеризуется диагональными элементами априорной ковариационной матрицы ошибок фильтрации  $P_0$ , представляющих собой дисперсии ошибок фильтрации компонентов вектора состояния (фазовых координат)  $P_{011} \dots P_{0mm}$ , которые позволяют судить о качестве функционирования оптимального фильтра и характеризуют точность оценивания [5, 6].

Воспользовавшись методом имитационного моделирования на ЭВМ, провели исследование зависимости потенциальной точности (потенциального СКО) оценки азимута ВС от времени, для чего использовали специализируемые ПО на ЭВМ, и провели имитацию работы синтезированного ранее алгоритма функционирования угломерного канала. СКО, в итоге, будет определяться согласно выражению

$$\sigma_{\varphi} = \sqrt{P_{011}}. \quad (1)$$

Результат моделирования представлен на рис. 1.

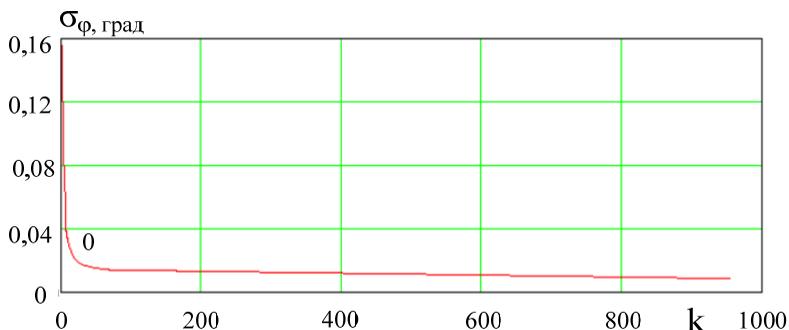


Рис. 1. Зависимости потенциального СКО азимута ВС от времени

Проведя анализ полученных результатов, можно сделать вывод, что СКО полученной величины за достаточно малый период времени (1...4 с) уменьшается от своих наибольших значений, до минимальных. Кроме того полученное СКО имеет сравнительно небольшое значение и постоянно в установившемся режиме. Результатом проведенного исследования потенциальной точности синтезированного алгоритма является вывод, что синтезированный алгоритм обладает высокой потенциальной точностью.

### Библиографический список

1. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

2. **Estimation** of Location Coordinates in the System of vehicle Control to Ensure Traffic Safety / A. P. Pudovkin, S. N. Danilov, A. V. Ivanov, Yu. N. Panasuk // International Conference on Recent Advanced in Engineering, Technology and Applied Sciens. – USA, Detroit, 2017. – С. 32 – 49.

3. **Synthesis** of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.

4. **Synthesis** of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation / A. P. Pudovkin, Yu N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.

5. **Прогнозирование** квазигармонического сигнала в пространстве состояний / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Т. И. Чернышова, С. В. Петров // Вестник Тамбовского государственного университета. – 2015. – № 3. – С. 374 – 380.

6. **Иванов, А. В.** Точностные характеристики навигационных комплексов, использующих контроль целостности спутниковых радионавигационных систем для реконфигурации / А. В. Иванов, Д. В. Комраков, С. П. Москвитин // Вестник Тамбовского государственного университета. – 2015. – № 4. – С. 572 – 577.

## **ПОСТРОЕНИЕ ПАКЕТОВ СИГНАЛА СТАНДАРТА DMR НА ФИЗИЧЕСКОМ УРОВНЕ**

*А. С. Голуб, Н. С. Ильичев, П. А. Казак*

*Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск РЭБ  
(учебный и испытательный)*

Стандарт DMR согласно спецификации [1] представлен в виде протокола трехуровневой модели: физического уровня, канального уровня и уровня управления вызовами.

К основным функциям физического уровня относятся: определение битов и символов; построение пакетов; частотная и символьная синхронизация; модуляция и демодуляция; включение передатчика и приемника. Основу физического уровня составляют 3 типа физических пакетов с различным числом битов: информационные пакеты, пакеты общего канала передачи уведомлений (CACH), пакеты обратной связи (RC).

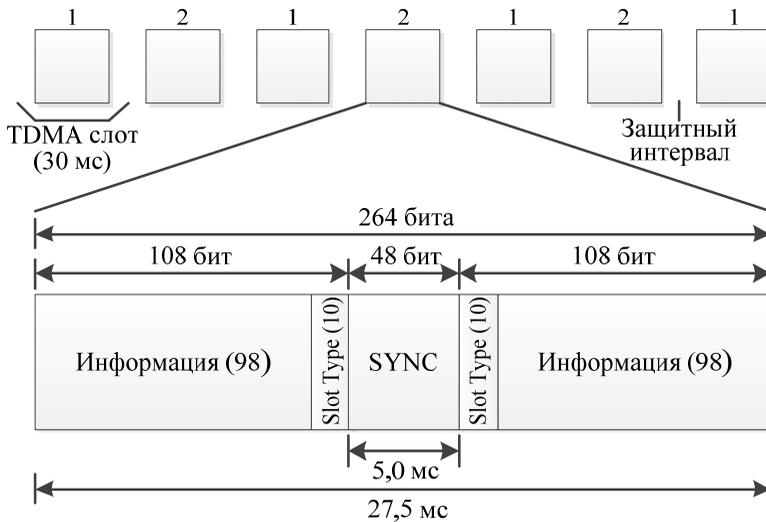
Информационные пакеты длиной в 264 бита передают голос либо данные. Во временной области такой пакет занимает TDMA слот длительностью 30 мс. Голосовые пакеты предназначены для переноса битов вокодера. Каждый голосовой пакет содержит 216 битов полезной нагрузки в «сожете вокодера», которая передает 60 мс сжатой речи. Вдобавок к битам вокодера, голосовые пакеты переносят встроенную или кадровую синхронизацию (SYNC) в центре пакета. Пакеты данных и управления предназначены для указания начала или конца передачи голоса, переноса управляющих блоков, индикатора конфиденциальности информации, управления составными пакетами заголовков и т.д.

Пакеты CACH длиной в 24 бита предоставляют информацию о фреймировании и доступе для пакетов, а также низкоскоростных данных. Из 24 бит 4 бита информации и 3 бита четности предназначены для кадрирования и определения состояния. Данные биты, которые носят названия биты типа доступа к каналу TDMA (TACT), защищены FEC кодом Хэмминга (7,4). Оставшиеся 17 бит каждого пакета CASH переносят сигнализацию.

Пакеты RC длиной в 96 бит, необходимы для поддержки определенных возможностей оборудования и могут передавать сигнализацию реверсного канала обратно источнику во время его передачи. Данный пакет объединяет 48-битную синхрогруппу RC и 48-битное поле SYNC в единый пакет. Объединение синхрогруппы и сигнализации в одном пакете делает возможным для MS посылку информации

в одном окне, длительностью 30 мс с низкой задержкой отклика. Ограничение размера до 96 бит позволяет MS перейти от получения трафика на одном канале TDMA к передаче сигнализации RC на другом канале TDMA и обратно за 30 мс.

Рассмотрим структуру информационных пакетов стандарта DMR (рис. 1). Пакет данных состоит из двух 108-битных информационных полей и 48-битной синхронизации или поля сигнализации (SYNC). Сигналы синхронизации содержат уникальные наборы битов, которые позволяют идентифицировать каждый из видов передачи (данные, речь) сигналов в соответствии со стандартом DMR [2].



**Рис. 1. Обобщенная структура информационного пакета**

Поле «Slot Type» используется для распознавания типа передаваемого пакета. Структурно поле состоит из 20 битов, однако, только 8 содержат информацию о пакете. Большая избыточность «Slot Type» объясняется использованием кода Голея (20,8), позволяющего корректировать до 3 неправильно принятых символов поля. 4 бита выделены для определения принадлежности радиостанции к сети (Color Cod), остальные 4 бита содержат информацию о типе данных. «Цветовой код» предназначен для различения групп абонентских терминалов, работающих на одной частоте.

### Библиографический список

1. ETSI TS 102 361-1: 2016, IDT Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 1: DMR Air Interface (AI) protocol.

2. **Теоретические** основы цифровой радиосвязи: учеб. пособие / Н. И. Листопад и др. – Минск : БГУИР, 2012. – 330 с.

## ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОВОЛНОВОГО ФАЗОВОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ

*С. А. Графская*

*Тамбовский государственный технический университет*

Для проверки чувствительности радиоволнового фазового метода рассчитаны значения сдвига фаз  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  при следующих параметрах:

- контролируемый материал – фторопласт;
- диапазон толщин контролируемого материала – (0,05...0,1) мм;
- диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon = 2,2$ ;
- частоты  $F_1 = 399,8$  ГГц,  $F_2 = 400$  ГГц.

Значения сдвига фаз  $\varphi_1$  рассчитаны по формуле [1]

$$d = N \frac{\lambda_1}{2\sqrt{\varepsilon}} + \frac{\varphi_1}{\pi} \frac{\lambda_1}{2\sqrt{\varepsilon}}, \quad (1)$$

из которой следует

$$\varphi_1 = \frac{d\pi 2\sqrt{\varepsilon}}{\lambda_1} - N\pi, \quad (2)$$

где  $\lambda_1 = c / kF_1$  – длина волны электромагнитного колебания;  $N$  – целое число полуволн;  $d$  – толщина контролируемого материала.

Результаты расчета  $\varphi_1$  представлены в табл. 1.

### 1. Зависимость значения сдвига фаз $\varphi_1$ от толщины фторопластового слоя $d$

$d$ , мм	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
$\varphi_1$ , град	–46,8	–20,16	6,48	33,12	59,76	86,4

Значения сдвига фаз  $\varphi_2$  рассчитаны по формуле

$$\varphi_2 = \frac{d\pi 2\sqrt{\varepsilon}}{\lambda_2} - N\pi \quad (3)$$

и результаты представлены в табл. 2.

## 2. Зависимость значения сдвига фаз $\varphi_2$ от толщины фторопластового слоя $d$

$d$ , мм	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
$\varphi_2$ , град	-32	-2,4	27,2	56,8	86,4	116

По данным таблиц построены графики зависимости значений фазового сигнала  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  от толщины  $d$  (рис. 1).

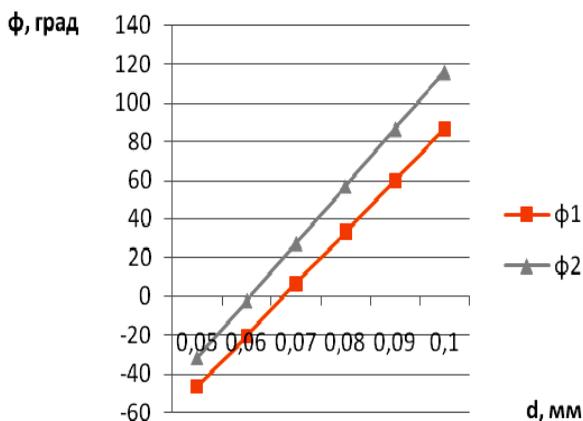


Рис. 1. График зависимости значений сдвига фаз  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  от толщины  $d$

### Библиографический список

1. С1 2579173 RU G01B22/00 Радиоволновый фазовый способ измерения толщины диэлектрических материалов / Д. В. Хаблов. – № 2014145110/28 ; заявл. 10.11.2014 ; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10.
2. Пат. Российская Федерация, МПК 7 G01B7/06. Способ непрерывного контроля толщины слоев четырехслойного металлофторопластового ленточного материала, пористости его металлического каркаса и концентрации входящих в четвертый слой компонент [Текст] / Банников А. Н., Пудовкин А. П., Чернышова Т. И. – № 2006117923/28 ; заявл. 24.05.2006 ; опубл. 20.12.2007.
3. Пат. С1 2182310 РФ, МКИ G01B7/06. Способ бесконтактного неразрушающего контроля толщины и теплофизических свойств изделий / Плужников Ю. В., Колмаков А. В., Пудовкин А. П. – № 2001100142/28 ; заявл. 03.01.2001 ; опубл. 10.05.2002 ; Бюл. № 13.

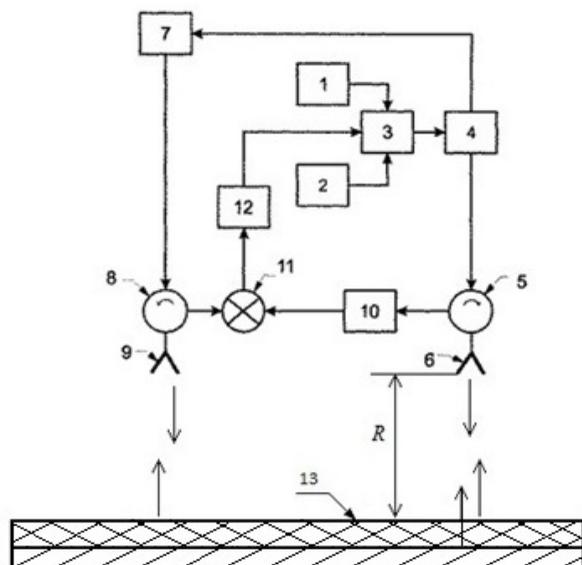
## РАДИОВОЛНОВОЙ КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*С. А. Графская*

*Тамбовский государственный технический университет*

Средства измерения толщины с использованием радиоволн обеспечивают быстрое действие, высокую точность с возможностью дистанционного контроля и проведение измерений как при одностороннем, так и двустороннем доступах к контролируемым поверхностям материалов [1].

Для бесконтактного автоматизированного контроля толщины диэлектрических материалов на металлической основе применяют радиоволновой фазовый метод. Схема устройства радиоволнового контроля толщины показана на рис. 1 [2].



**Рис. 1. Устройство радиоволнового контроля толщины**

Устройство содержит СВЧ-генераторы 1 и 2, переключатель 3, делитель мощности 4, первый циркулятор 5, первую антенну 6, первый умножитель частоты 7, второй циркулятор 8, вторую антенну 9, второй умножитель частоты 10, смеситель 11, вычислительный блок 12, контролируемый материал 13.

Сущность метода заключается в том, что одновременно излучают электромагнитные волны с частотой  $f_1$  и частотой в  $n$  раз выше  $nf_1$  в сторону диэлектрика на металлической подложке, принимают отраженные волны, вычисляют разность фаз  $\varphi_1$  между принимаемой волной с частотой  $nf_1$  и волной с частотой  $f_1$ , предварительно умноженной на  $n$ , после этого одновременно излучают электромагнитные волны с другой частотой  $f_2$  и частотой в  $n$  раз выше  $nf_2$  в сторону диэлектрика на металлической подложке, принимают отраженные волны, вычисляют разность фаз  $\varphi_2$  между принимаемой волной с частотой  $nf_2$  и волной с частотой  $f_2$ , предварительно умноженной на  $n$ , толщину диэлектрической пластины определяют по фазам  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ .

Таким образом, учитывая бесконтактность и быстродействие радиоволнового метода, использование его позволит контролировать толщину двухслойных материалов электронной техники в процессе их производства.

### Библиографический список

1. **Клюев, В. В.** Неразрушающий контроль : справочник : в 7 т. / под общ. ред. В. В. Клюева. – Т. 6 : В 3 кн. – М. : Машиностроение, 2004. – 832 с.

2. **С1 2579173 RU G01B22/00** Радиоволновый фазовый способ измерения толщины диэлектрических материалов / Д. В. Хаблов. – № 2014145110/28 ; заявл. 10.11.2014 ; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10.

3. **Пат.** Российская Федерация, МПК 7 G01B7/06. Способ непрерывного контроля толщины слоев четырехслойного металлофторопластового ленточного материала, пористости его металлического каркаса и концентрации входящих в четвертый слой компонент [Текст] / Банников А. Н., Пудовкин А. П., Чернышова Т. И. – № 2006117923/28 ; заявл. 24.05.2006 ; опубл. 20.12.2007.

4. **Пат.** С1 2182310 РФ, МКИ G01B7/06. Способ бесконтактного неразрушающего контроля толщины и теплофизических свойств изделий / Плужников Ю. В., Колмаков А. В., Пудовкин А. П. – № 2001100142/28 ; заявл. 03.01.2001 ; опубл. 10.05.2002 ; Бюл. № 13.

5. **Тихонин, Д. В.** Использование беспроводной телеизмерительной сети для контроля характеристик качества металлофторопластового ленточного материала / Д. В. Тихонин, А. П. Пудовкин // Вестник научных конференций. Современное общество, образование и наука : по материалам Междунар. науч.-практ. конф. 30 ноября 2017 г. – Ч. 5, № 11-4(26). – 140 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ОБМЕНА ДАННЫМИ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ С МНОЖЕСТВОМ ОПЕРАТОРОВ НА ОСНОВЕ СЕТЕВОГО ПРОТОКОЛА ZIGBEE

*М. С. Демидов, Н. А. Глозов, С. П. Москвитин*

*Тамбовский государственный технический университет*

Наибольшее распространение в последнее время получили беспроводные сенсорные сети (БСС), параметры которых регламентируются стандартом IEEE 802.15.4, а также спецификацией стека протоколов ZigBee [1, 6].

Под топологией БСС в работе понимается совокупность геометрического расположения ее узлов и вероятностей использования коммуникаций между ними для доставки сообщений [2]:

$$(\|R_i\|, \|p_{ij}\|), \quad i, j = 1 \dots N. \quad (1)$$

где  $\|R_i\|$  – множество узлов БСС мощностью  $N$ ;  $\|p_{ij}\|$  – множество вероятностей использования коммуникаций между узлами.

В общем виде, задача оптимизации топологии представляет собой транспортную задачу, связанную с оптимальным распределением потоков данных по сети по критерию минимума стоимости создания и технического обслуживания при ограничении на надежность передачи данных [2]:

$$C(\|R_i\|, \|p_{ij}\|) \xrightarrow{\|R_i\|, \|p_{ij}\|} \min_{P \geq P^*}, \quad (2)$$

где  $P, P^*$  – надежность и ограничение надежности сети.

Вероятностная модель обмена данными в беспроводных сенсорных сетях с множеством операторов на основе сетевого протокола ZigBee может быть описана выражением, количественно определяющим вероятность  $p_{ij}$  успешной передачи пакета от  $i$ -го узла БСС  $j$ -му. Здесь и далее предполагается, что отправка пакетов  $i$ -м узлом в процессе работы сети образует простейший поток событий с интенсивностью  $\Lambda_O$ , а прием пакетов этим же узлом – простейший поток с интенсивностью  $\Lambda_I$ , где  $I_i$  – множество узлов, которые могут передать пакет в адрес  $i$ -го узла;  $O_i$  – множество узлов, которым может быть передан пакет от  $i$ -го узла (рис. 1) [3].

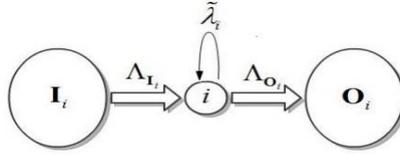


Рис. 1. Поток событий на  $i$ -м узле БСС

Величиной  $\lambda_i$  на рис. 1 обозначена интенсивность потока событий, соответствующих безуспешным попыткам передачи пакета  $i$ -м узлом. Эту величину можно определить следующим образом [3, 5]:

$$\lambda_i = \sum_{j \in O_i} (\bar{n}_{ij} - 1) \lambda_{ij}, \quad (3)$$

где  $n_{ij}$  – математическое ожидание количества попыток передачи пакета от  $i$ -го узла  $j$ -му, необходимое для успешного его приема:

$$\bar{n}_{ij} = \sum_{x=1}^{+\infty} \left( x P_{ij}^{(1)} (1 - P_{ij}^{(1)})^{x-1} \right) = \frac{1}{P_{ij}^{(1)}}, \quad (4)$$

где  $P_{ij}^{(1)}$  – вероятность передачи пакета с первой попытки от  $i$ -го узла  $j$ -му.

Успешная передача пакета может быть осуществлена при выполнении условия:

$$\sum_{z=1}^k T_{wz} + kT_L \leq \tau_j, \quad (5)$$

где  $T_{wz}$  – время ожидания узлом начала передачи перед осуществлением  $z$ -й попытки из  $k$  возможных, обусловленное конкурентным доступом к среде;  $T_L$  – время, затрачиваемое узлом непосредственно на процесс передачи (приема) пакета фиксированной длины  $L$ ;  $\tau_j$  – период времени, в течение которого возможна передача очередного пакета  $i$ -м узлом в адрес  $j$ -го;  $k$  – количество попыток передачи пакета за время  $\tau_j$ .

Таким образом, учитывая (5), выражение для определения вероятности можно записать в виде [3]:

$$P_w^{(k)}(\tau_j) = P \left( \sum_{z=1}^k T_{wz} \leq \tau_j - kT_L \right), \quad (6)$$

где правая часть представляет собой функцию распределения суммарного времени ожидания узлом начала передачи, обусловленного конкурентным доступом к среде, для  $k$  попыток [4].

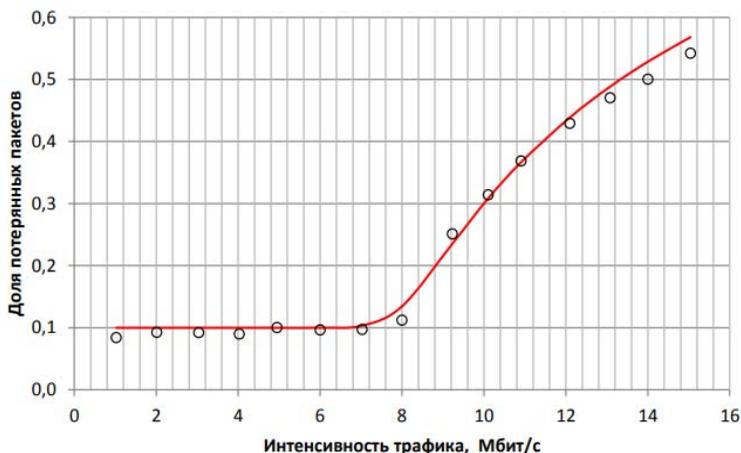


Рис. 2. Зависимость потерь пакетов от интенсивности потока

### Библиографический список

1. **IEEE Standards 802.15.4.** Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). – IEEE Computer Society, 2003.
2. **Голиков, А. М.** Модуляция, кодирование и моделирование в телекоммуникационных системах : учеб. пособие / А. М. Голиков. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2016. – С. 373 – 385.
3. **Акимов, Е. В.** Вероятностные математические модели для оценки надежности беспроводных сенсорных сетей (БСС) / Е. В. Акимов, М. Н. Кузнецов // Труды МАИ. – 2010. – № 40. – С. 3 – 6.
4. **Эволюция исследований в области беспроводных сенсорных сетей: Информационные технологии и телекоммуникации** / Р. В. Киричек, А. И. Парамонов, А. В. Прокопьев, А. Е. Кучерявый. – 2014. – № 4. – С. 29 – 41.
5. **Чурилин, О. Н.** Метод повышения энергетической эффективности передатчика мобильной связи / О. Н. Чурилин, С. Н. Данилов // Сб. : Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы V Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – 2018. – С. 371–372.
6. **Estimation of location coordinates in the system of vehicle control to ensure traffic safety** / A. P. Pudovrin, S. N. Danilov, A. V. Ivanov, Yu. N. Panasuk // International Conference on Recent Advanced in Engineering, Technology and Applied Sciens. – USA, Detroit.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 5G

*Д. М. Егоров, Д. В. Закальский, О. И. Совкова*

*Дальневосточный Федеральный Университет*

В настоящее время ведется активное развитие 5G сетей, которое должно будет прийти на смену существующим сейчас 3G и 4G системам. Радиосигналы 5G будут использовать частоты от 3 до 300 ГГц. Так использование низких частот (например, 3,4...3,6 ГГц) и широкие полосы порядка 300...400 МГц обеспечат возможность массовой межмашинной связи (mMTC) до 100 Мбит/с. В первую очередь это касается «умного» города и «умных» домов, а так же сферы «интернета вещей».

Низкие частоты в рамках концепции 5G также актуальны для подключения различных, нуждающихся в надежной сети устройств, например, беспилотные автомобили, в которых используются различные датчики и сенсоры, чувствительные к задержкам, для их бесперебойной работы используется сверхнадежная межмашинная связь (URLLC).

Высокие частоты и использование сверхширокополосной мобильной связи (eMBB) можно будет использовать для подключения пользователей с высокими пиковыми скоростями вплоть до 20 Гбит/с (в диапазонах 24,25...27,5 ГГц и 37...43,5 ГГц). Такие скорости потребуются для 3D-видео с разрешением 4K и 8K, работы и игр в «облаке», а так же систем дополненной и виртуальной реальности.

Международный союз электросвязи уже опубликовал предварительные требования к новому стандарту 5G:

- пропускная способность сети до 20 Гбит/с по линии «вниз» и до 10 Гбит/с в обратном направлении;
- поддержка одновременного подключения до 1 млн устройств на км<sup>2</sup>;
- сокращение временной задержки на радиointерфейсе до 0,5 мс (для URLLC) и до 4 мс (для eMBB).

### Библиографический список

1. Портал о современных технологиях мобильной и беспроводной связи // 5GURL: <http://1234g.ru/5g>
2. 5G // 5G GUIDES. – URL : <https://5g.co.uk/guides/>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ GPS-СИГНАЛА

*С. Д. Ерохин, А. Л. Завадский, Н. С. Ильичев, П. А. Казак*

*Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск РЭБ  
(учебный и испытательный)*

В современном мире навигационные приемные устройства повсеместно используются для определения координат пользователя, скорости его движения и других параметров. Подавляющее большинство аппаратов используют сигнал спутниковых радионавигационных систем (СРНС) GPS.

Сигнал со спутника излучается в 2-х диапазонах: открытом  $L_1 = 1575,42$  МГц и закрытом  $L_2 = 1227,6$  МГц [1]. Использовать сигнал диапазона  $L_2$  возможно лишь при наличии ключа шифрования. Открытый диапазон представляет собой совокупность сигнала санкционированного доступа ( $P/Y$ ) и сдвинутого на  $\frac{\pi}{2}$  открытого сигнала ( $C/A$ ) с модуляцией BPSK. Именно  $C/A$  сигнал применяется при решении навигационной задачи в гражданских приемниках.

Структурно  $C/A$  сигнал состоит из навигационного сообщения и дальномерного кода – 1023 битного кода Голда длительностью 1 мс. Слово кода Голда  $G_{C/A}$  образуется сложением по модулю 2 двух последовательностей  $G_1$  и  $G_2$  такой же длины [2]. Генераторные полиномы приведены ниже (1а,1б):

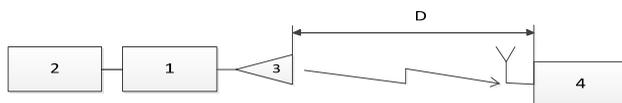
$$G_1 = X^{10} + X^3 + 1; \quad (1a)$$

$$G_2 = X^{10} + X^9 + X^8 + X^6 + X^3 + X^2 + 1. \quad (1б)$$

Основной причиной использования кода Голда в спутниковой навигации являются низкие взаимокорреляционные свойства кода с псевдослучайными последовательностями, что позволяет многоканальному приемнику различать сигнал на фоне шумов. В таком случае, с точки зрения эффективности применения преднамеренных помех, будет иметь преимущество метод, при котором имитируется  $C/A$  сигнал от одного или нескольких спутников. Помеховый сигнал, сформированный путем сложения дальномерного кода со случайными навигационными данными, воспринимается приемником как реальный, однако, информация навигационного сообщения не может быть прочитана.

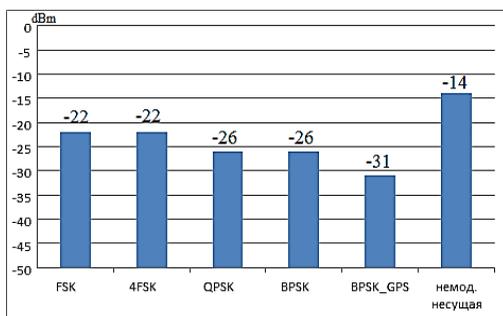
С целью исследования помехоустойчивости был произведен эксперимент, в ходе которого на частоте  $L_1$  излучали помеховый сигнал разной структуры и вида модуляции. Один из помеховых сигналов является копией дальномерного  $C/A$ -кода с модуляцией BPSK, а в основе остальных находится  $m$ -последовательность.

Исследование производили с помощью GPS-приемника U-block 4, находящегося на расстоянии  $D = 80$  м от рупорной антенны 3. Сигналы до проведения эксперимента записывались с ЭВМ 2 на векторный генератор 1 и последовательно излучались в эфир с постепенным увеличением мощности. Помеховое воздействие считалось успешным в случае полного отказа работы GPS-приемника. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.



**Рис. 1. Экспериментальный стенд исследования помехоустойчивости GPS-сигнала**

На рисунке 2 приведены значения уровня излучаемого помехового сигнала, при котором навигационному приемнику не удалось определить свое местоположение.



**Рис. 2. Результаты анализа помехоустойчивости GPS-сигнала**

В результате эксперимента было выявлено, что различие GPS-сигнала приемником на фоне преднамеренных помех тем хуже, чем больше структура помехи совпадает со структурой сигнала. Оптимальной помехой является BPSK-сигнал, модулированный кодом Голда. Выигрыш относительно сигнала BPSK, модулированного  $m$ -последовательностью, составляет 5 дБ, что равносильно разнице в 3,16 раза.

### Библиографический список

1. **IS-GPS-200G**: 2012, Global Positioning System Directorate Systems Engineering & Integration Interface Specification. – 219 с.
2. **Синякин, А. К.** Физические принципы работы GPS/ГЛОНАСС : монография / А. К. Синякин, А. В. Кошелев. – Новосибирск : СГГА, 200 с.

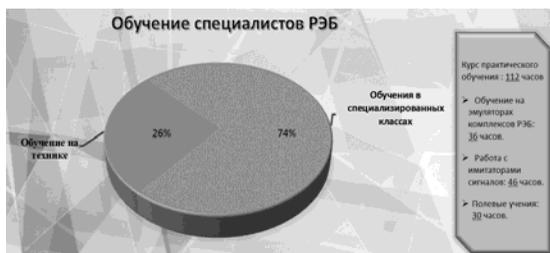
## ИМИТАТОР СИГНАЛОВ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ БПЛА

*А. А. Ефремов, А. А. Брюзгин, С. В. Ключенков, В. В. Шатских*

*Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный)*

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) активно применяются вооруженными силами (ВС) в различных военных конфликтах. На вооружении ВС Российской Федерации (РФ), по данным из открытых источников на 2016 г., стоит 1980 шт. БПЛА. В качестве полезной нагрузки используются различные виды устройств, такие как стабилизированные дневные и ночные камеры, а кроме этого используются комплексы радиоэлектронной борьбы (РЭБ). БПЛА с комплексами РЭБ выполняют следующие виды задач: мониторинг радиообстановки, сканирование диапазонов, выявление ложных целей, пеленгация, подавление частот противника и защита собственных частот [1, с. 33].

Обучение операторов БПЛА, оснащенных комплексами РЭБ, протекает в три этапа (рис.1): 1) обучение на эмуляторах комплексов РЭБ; 2) работа с имитаторами сигналов; 3) полевые учения на технике.



**Рис. 1.** Схематическое распределение времени обучения специалистов РЭБ

Одним из этапов обучения операторов БПЛА является пеленгация (обнаружение) сигнала и подавление его. Для этого в процессе обучения используются имитаторы сигналов (далее имитатор), позволяющие моделировать работу различных видов радиопередающих устройств. Данный этап обучения позволяет значительно повысить качество обучения.

После проведенных исследований и анализов было решено разработать алгоритмы модуляции сигналов и написать прошивку для программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) [2, с. 124]. Разрабатываются 7 блоков модуляции, представленные на рис. 2.

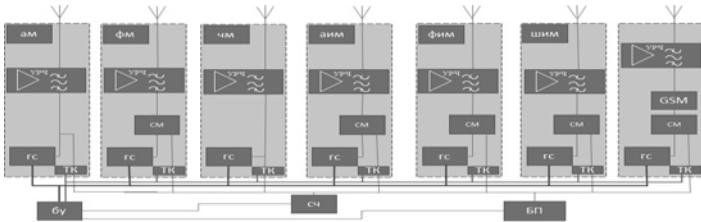


Рис. 2. Структурная схема имитатора сигналов

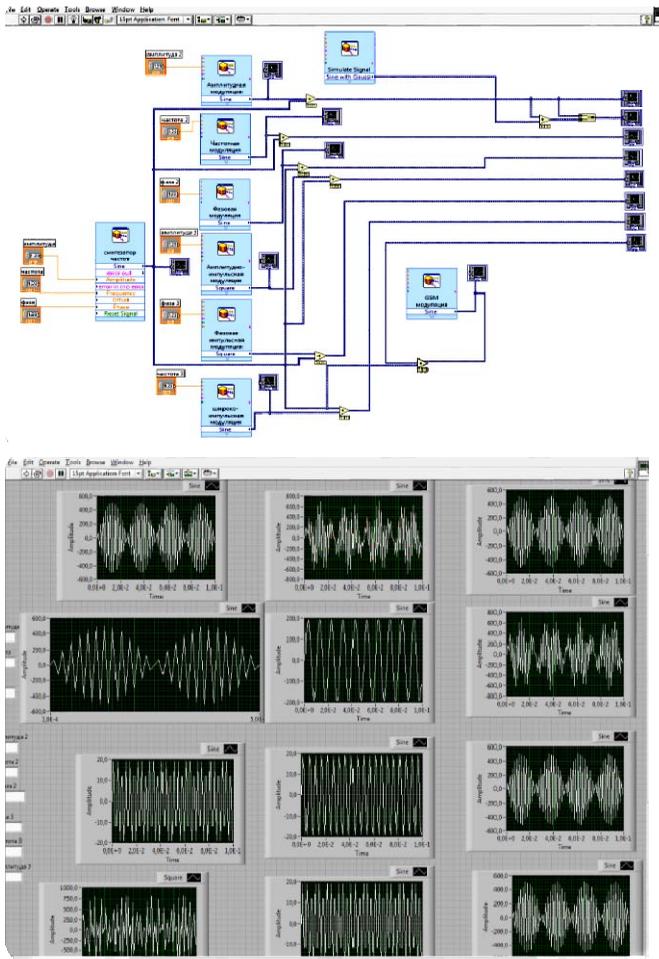


Рис. 3. Тестирование работоспособности виртуального устройства

Для имитации работы устройства был использован программный продукт *LabVIEW*. На данной платформе была разработана и протестирована работоспособность и стрессоустойчивость устройства. Прделанная работа представлена на рис. 3.

### Библиографический список

1. **Рыжков, А. В.** Синтезаторы частот в технике связи / А. В. Рыжков, В. Н. Попов. – М. : Радио и связь, 1991. – 264 с.
2. **Проектирование** радиопередающих устройств с применением ЭВМ / под ред. О. В. Алексеева. – М. : Радио и связь, 1987. – 392 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СТАНЦИИ ПОМЕХ НА ДАЛЬНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ РЛС

*Д. О. Жалнин, А. П. Пудовкин*

*Тамбовский государственный технический университет*

Для исследования влияния характеристик станции помех на дальность обнаружения РЛС рассмотрим формулу для случая взаимного прикрытия коэффициента  $k$  [1 – 3]

$$k = \frac{P_{\text{п}} G_{\text{п}} \Delta f_{\text{прм}}}{P_{\text{и}} G \Delta F_{\text{п}}} \frac{D_{\text{ц}}^4}{D_{\text{п}}^2} \frac{4\pi\gamma_{\text{п}}}{\sigma_{\text{бп}}} F_{\text{днап}} F_{\text{днаа}},$$

где  $D_{\text{ц}}$  – расстояние от РЛС до боевого порядка;  $D_{\text{п}}$  – расстояние от РЛС до станции помех;  $G_{\text{п}}$  – КНД антенн станции помех;  $G$  – КНД антенны РЛС;  $P_{\text{п}}$  – средняя или импульсная излучаемая мощность станции помех;  $P_{\text{и}}$  – излучаемая импульсная мощность;  $\gamma_{\text{п}}$  – коэффициент, учитывающий потери мощности помехи из-за различия поляризации сигнала РЛС и помехового сигнала;  $\sigma_{\text{бп}}$  – эффективная отражающая поверхность целей;  $N_{\text{ц}}$  – число целей, одновременно находящихся в отражающем (разрешаемом) объеме РЛС;  $\Delta f_{\text{прм}}$  – полоса пропускания приемника РЛС ( $\Delta f_{\text{прм}} = 1/\tau_{\text{п}}$ );  $\sigma_{\text{ц}}$  – эффективная отражающая поверхность одной целей;  $\Delta F_{\text{п}}$  – ширина спектра помехи;

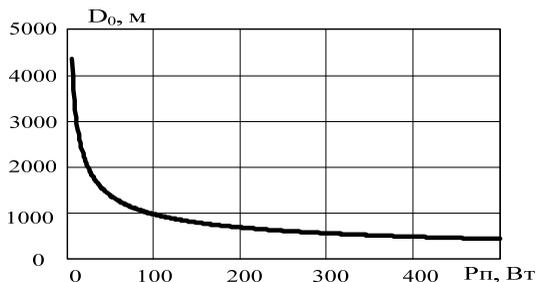
$F_{\text{днап}}$  – ширина диаграммы направленности антенны в направлении на станцию помех;  $F_{\text{днаа}}$  – ширина диаграммы направленности антенны на подавляемую РЛС.

После нахождения коэффициента  $k$ , находим дальность обнаружения РЛС по формуле [1, 4 – 6]

$$D_o = \sqrt{\frac{ak_{\Pi}}{k}} = \sqrt{\frac{ak_{\Pi}P_{\Pi}G\sigma_{\Pi}\Delta F_{\Pi}}{4\pi\gamma P_{\Pi}G_{\Pi}\Delta f_{\text{прм}}}}, \quad (1)$$

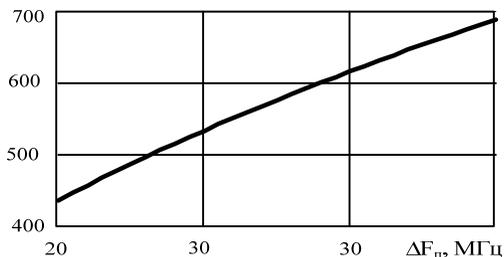
где  $a$  – коэффициент из энергетического условия обнаружения РЛС цели;  $k_{\Pi}$  – коэффициент подавления РЛС.

На рисунке 1 показана зависимость дальности обнаружения РЛС от мощности станции помех.



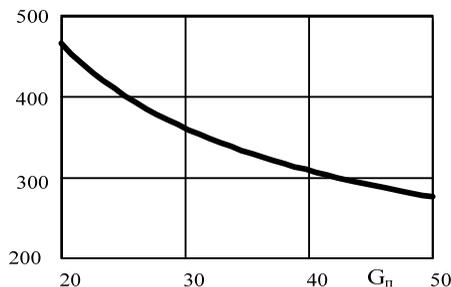
**Рис. 1. Зависимость дальности обнаружения от изменения  $P_{\Pi}$**

На рисунке 2 показана зависимость дальности обнаружения РЛС от ширины спектра помехи станции помех.



**Рис. 2. Зависимость дальности обнаружения от изменения  $\Delta F_{\Pi}$**

На рисунке 3 показана зависимость дальности обнаружения РЛС от изменения КНД антенны станции помех.



**Рис. 3. Зависимость дальности обнаружения от изменения  $G_n$**

Таким образом, для уменьшения дальности обнаружения РЛС необходимо улучшать параметры станции помех.

### **Библиографический список**

1. **Пудовкин, А. П.** Электромагнитная совместимость и помехозащищенность РЭС [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, Т. И. Чернышова. – Тамбов : ТГТУ, 2013. – 92 с.
2. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
3. **Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.**
4. **Synthesis of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation / A. P. Pudovkin, Yu N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.**
5. **Панасюк, Ю. Н.** Устройства сверхвысоких частот : учеб. пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : ТГТУ, 2015. – 80 с.
6. **Панасюк, Ю. Н.** Основы автоматизации проектирования устройств СВЧ и антенн [Электронный ресурс, мультимедиа] : учеб. пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 270 с.

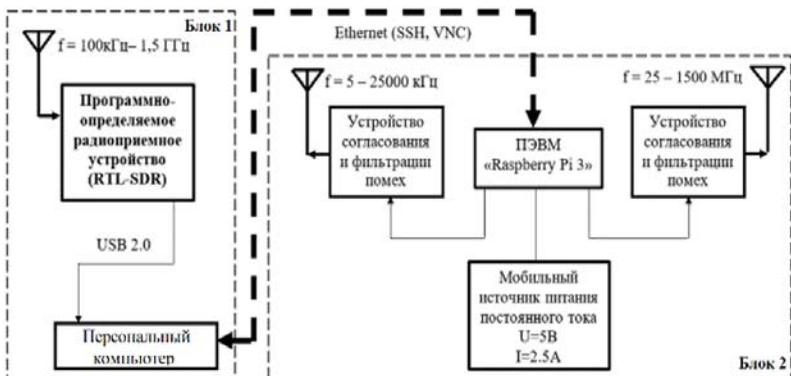
# ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС «УНИВЕРСАЛЬНАЯ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМАЯ РАДИОСИСТЕМА»

*Д. В. Журавлев, М. А. Сиваш*

*Воронежский государственный технический университет*

В данной работе объектом исследования является возможность построения универсальной программно-определяемой радиосистемы сравнительно малых размеров и широкими возможностями по выполнению. В процессе работы проводились экспериментальные исследования передачи сигналов программно-определяемым модулем микрокомпьютера Raspberry Pi модели 3В.

Лабораторная установка состоит из двух блоков. Для мониторинга и контроля работы блоков используется персональный компьютер (ПК). Общая структурная схема представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Общая структурная схема лабораторной установки**

Блок 1 предназначен для осуществления приема, анализа и контроля работающих источников радиоизлучения. Программную основу блока приема, анализа и контроля составляет ряд программ, предназначенных для обнаружения источников радиоизлучения, анализа, декодирования, дескремблирования и построения программно-определяемых радиосистем. На рисунке 2 представлена работа программы «CubicSDR».

Блок 2 состоит из устройств фильтрации помех, микрокомпьютера Raspberry Pi 3В и двух передающих антенн: регулируемый диполь и антенна Харченко. С помощью данного блока можно реализовать пе-

редачу данных типа RTTY и Bell, организовать передачу голосовых сообщений, а также осуществить радиоподавление источника радиоизлучения. На рисунке 3 приведена совместная работа блоков 1 и 2 при осуществлении радиоподавления источников радиоизлучения.

Проведенные исследования в пределах лаборатории показали высокую эффективность комплекса. Интерфейс программного обеспечения интуитивно понятен и прост. Данный комплекс имеет возможность модернизации и дальнейшего аппаратного и программного обеспечения.

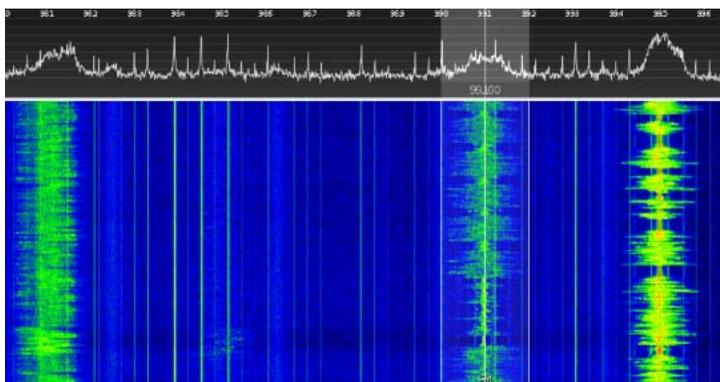


Рис. 2. Программное обеспечение блока 1

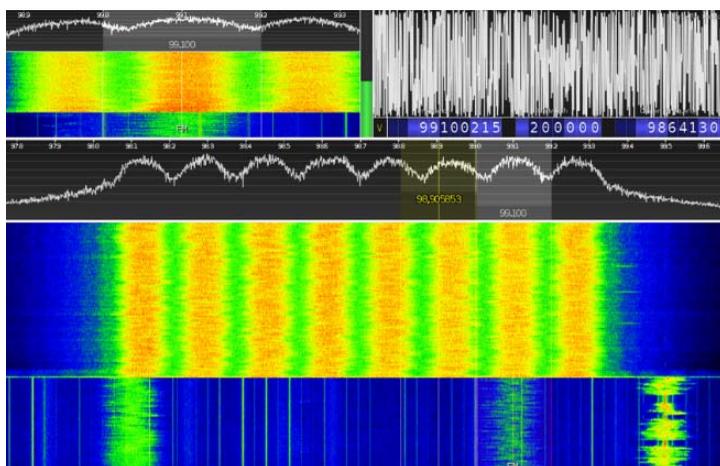


Рис. 3. Осуществление радиоподавления источников радиоизлучения белым шумом

## Библиографический список

1. **Бойко, О. В.** Исследование возможности построения системы мониторинга 2G-5G сетей на основе коммерческой SDR платформы / О. В. Бойко, Д. В. Журавлев, И. А. Сафонов // RLNC 2018 «Радиолокация, навигация, связь»: материалы XXIV Междунар. науч.-техн. конф. в 5 т. – Воронеж. 2018. – Т. 5. – С. 37 – 45.

2. **Software Defined Radio using MATLAB® & Simulink® and the RTL-SDR** / Robert W. Stewart, Kenneth W. Barlee, Dale S. W. Atkinson, Louise H. Crockett // Department of Electronic and Electrical Engineering University of Strathclyde Glasgow, Scotland, UK, 1<sup>st</sup> Edition (revised).

3. **Akshaya Kumar Nayak.** Spectrum Sensing & Signal Identification Using RTL-SDR / **Akshaya Kumar Nayak** // Department of Electronics & Communication Engineering National Institute of Technology Rourkela.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ПРИЕМНИКОВ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ STM32

*Е. А. Ильин, С. Ю. Кругликов*

*Рыбинский государственный авиационный технический университет  
имени П. А. Соловьева*

Тепловизионные приемники сравнительно давно и успешно применяются в промышленности и военной технике [1]. Однако, цены на изделие отнюдь не низкие. Основную часть стоимости составляет тепловизионный сенсор – микроболометр. Снизить цену на изделие можно используя сенсоры небольшого разрешения (160×120, 320×240) и электронные комплектующие с максимальной интеграцией. К последним, в частности, относятся микроконтроллеры STM32.

Недорогой микроболометр, как правило, имеет аналоговый выход и, следовательно, требуется аналого-цифровое преобразование с разрядностью не менее 14 бит и с режимом дифференциального входа. Кроме того, необходимо обеспечить решение следующих функциональных задач:

1) оперативное хранение видеок кадров, с целью организации видеобуфера и цифровой обработки;

2) оперативное хранение служебной информации, выводимой в поле видеок кадров;

3) долговременное хранение калибровочных коэффициентов [2] (требуется хранить до 30 таблиц объемом в 3 раза больше видеобуфера);

4) управление питанием микроболомера (требуется не менее 2 ЦАП);

5) мониторинг температуры микроболомера (АЦП не менее 12 разрядов).

В настоящее время на рынке появились микроконтроллеры с ресурсами для решения обозначенных задач. Например, stm32 серии F7, H7: stm32h743, stm32h753 и stm32h750, stm32F730, stm32F750. Они имеют АЦП 12 – 16 разрядов, 2 ЦАП, контроллер видеодисплея с разрешением до 1024×768, ОЗУ 256...1000 Кбайт, внутреннюю Flash-память до 2 Мбайт. При необходимости можно подключить внешнюю память.

Наиболее эффективно использовать микроконтроллеры stm32 из серии Value Line. Они имеют наименьшую стоимость по причине малого объема Flash-памяти (128 кБайт). Недостаток памяти компенсируется внешними микросхемами QSPI Flash.

Тепловизионный сигнал представляет собой слабую составляющую тепловизионного изображения на фоне постоянной составляющей, зависящей от изменения температуры микроболометра. По этой причине количество разрядов АЦП должно быть равно 14. Для управления подстройкой среднего уровня можно изменять напряжение питания. Воспользовавшись этой возможностью получается усилить сигнал в 4 раза внешним аналоговым усилителем, а разрядность АЦП снизить до 12 разрядов. Это расширяет перечень микроконтроллеров двумя видами stm32F730 и stm32F750.

Для управления микроболометром требуется сформировать периодические сигналы различной длительности и фазы. Микроконтроллеры stm32 имеют более 15 таймеров с количеством каналов от 1 до 6. Таймеры могут объединяться по принципу: выход одного – есть вход другого, с различными режимами управления. Кроме обычного тактирования можно включать и выключать управляемый таймер. Так получится реализовать практически любой сложный сигнал, в том числе с нарушением периодичности.

Для формирования видеоизображения в микроконтроллерах stm32 используется периферийный контроллер. Он гибко настраивается на любой размер изображения. Доступ к видеопамяти осуществляется по прямому доступу без участия ядра микроконтроллера.

При проектировании тепловизионных приемников были предложены оригинальные алгоритмы повышения эффективности изделий. Среди них: эффективное соединение таймеров, автоматизированная калибровка, цифровая фильтрация.

Автоматизированная калибровка выполняется на основе алгоритма [2] полностью сосредоточенного внутри микроконтроллера с использованием управляемого инфракрасного излучателя на элементах Пельтье.

Цифровая фильтрация пространственная (в том числе медианная) и временная, а также система АРУ позволяют улучшить информативность изображения.

### **Библиографический список**

1. **Uncooled** Microbolometer Camera [Текст] / User'sGuide, Version 1.2 414-0060-10, IndigoSystems, USA.

2. **Серов, С. М.** Повышение эффективности калибровки тепловизионных модулей в условиях серийного производства [Текст] / С. М. Серов, С. Ю. Кругликов // Сб. тр. 69 Всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов ВУЗов с международным участием. – Ярославль : ЯГТУ, 2016. – С. 656 – 659.

## **АДАПТАЦИЯ PSPICE-СИМУЛЯТОРОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ АДАПТИВНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УЗЛОВ НА ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ КОНДЕНСАТОРАХ**

***Е. А. Ильин, В. В. Сахарчук, А. В. Печаткин***

*Рыбинский государственный авиационный технический университет  
имени П. А. Соловьева*

Развитие интегральных аналоговых устройств и, в частности, операционных усилителей и электронных коммутаторов, в 1960 – 1970 гг. позволило выйти на совершенно новый уровень развития устройств и систем обработки информации и управления. Примерно в тоже время стали активно развиваться схемы на переключаемых конденсаторах, объединение которых с операционными усилителями позволяло не только воспроизводить практически любую вычислительную или преобразовательную функцию, но и оперативно изменять характеристики и параметры электронного устройства. Таким образом появилась

возможность аппаратной реконфигурации аналогового устройства в реальном масштабе путем изменения единственного легко контролируемого и управляемого параметра – частоты коммутации конденсаторов, находящихся во входных и выходных цепях и обратных связях. Однако типовые схемотехнические САПР допускают крайне ограниченное использование инструментального парка для моделирования схем на переключаемых конденсаторах. Такое ограничение в равной степени проявляется и при использовании специализированных САПР, ориентированных исключительно на проектирование подобных устройств. Например, специализированный САПР AnadigmDesigner, разработанный специально для поддержки ПАИС, не способен осуществлять анализ проектируемых устройств в частотной и спектральной областях [1].

Для устранения этих недостатков, а также для возможности подробного изучения принципов и особенностей функционирования дискретно-аналоговых электронных устройств, предлагается создать библиотеку функционально-параметрических моделей (ФПМ) элементов, узлов и структур на коммутируемых конденсаторах, построенных по принципу современных технологий объектно-ориентированного программирования, свойственных языкам высокого уровня. Также как и создаваемые на их основе программируемые аналоговые узлы, ФПМ соответствуют четырем основным требованиям: абстракция, наследование, полиморфизм и инкапсуляция (рис. 1).



**Рис. 1. Принципы синтеза ФПМ дискретно-аналоговых компонентов**

Создаваемая библиотека ФПМ ориентирована на использование в составе широко распространенных PSpice-симуляторов и включает субструктуры, макросы, математическое описание и стандартные пассивные и активные компоненты. На рисунке 2 показаны примеры отдельных реализаций ФПМ.

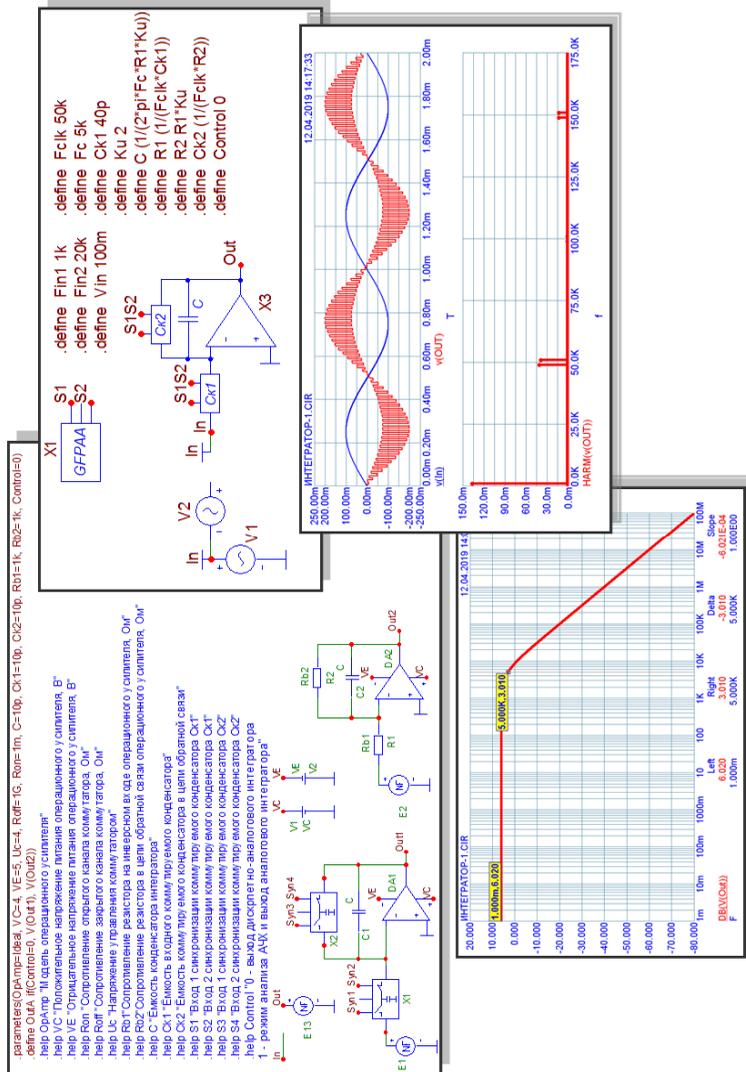


Рис. 2. Фрагменты реализации использования ФПМ

## Библиографический список

1. **Полищук, А.** Система автоматизированного проектирования программируемых аналоговых интегральных схем Anadigm Designer®2. Ч. 2. Особенности разработки проектов в среде программирования ПАИС Anadigm [Электронный ресурс] / А. Полищук, А. Полищук // Компоненты и технологии. – 2005. – № 9. – URL : <http://www.prosoft.ru/>

### **МОДЕРНИЗАЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИНВАРИАНТНОГО РАСЧЕТА УЗКОПОЛОСНЫХ СОГЛАСУЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА СОСРЕДОТОЧЕННЫХ КОМПОНЕНТАХ**

*Е. А. Ильин, В. В. Сахарчук, А. В. Печаткин*

*Рыбинский государственный авиационный технический университет  
имени П. А. Соловьева*

Для взаимного согласования иммитансов электрических цепей широко используются узкополосные согласующие цепи на сосредоточенных реактивных компонентах и их многокаскадные комбинации. Использование вычислительной техники для реализации аналитических моделей позволяет оперативно и очень точно рассчитать различные конфигурации согласующих цепей и предоставить проектировщику реализуемые на практике варианты.

Описанная в [1] обобщенная аналитическая модель для расчета узкополосных согласующих цепей позволяет рассчитать как низкочастотные  $LC$ , так и высокочастотные  $CL$  реализации. Однако она обладает тремя существенными недостатками:

1) ее основной критерий реализации (осуществимости) не работает в т.н. «недоступных зонах» [2] (рис. 1);

2) расчет номиналов реактивных элементов в этих зонах при переходе от цепей вида  $LC/CL$  к цепям вида  $LL/CC$  приводит к значительным погрешностям;

В ходе реализации интерактивной компьютерной модели в среде MatchCAD, был разработан ряд предложений, позволивших создать на указанной выше аналитической платформе универсальную модель для анализа реализуемости НЧ и ВЧ узкополосных цепей согласования, автоматического перехода от неоднородных цепей  $LC/CL$  к однородным цепям  $LL/CC$ , а также инвариантного целостного расчета номиналов сосредоточенных реактивных компонентов. При этом в модели используется лишь аналитика адмиттансов.

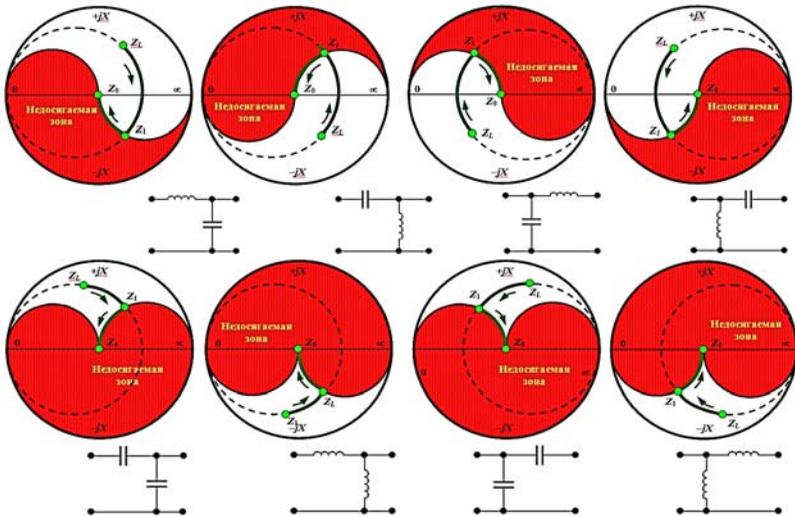


Рис. 1. Поведение иммитанса согласующих цепей на комплексной плоскости

Результаты аналитического расчета полностью коррелируют с визуальным проектированием аналогичных цепей в среде AWR и с помощью электронной диаграммы Смита (рис. 2) [3].

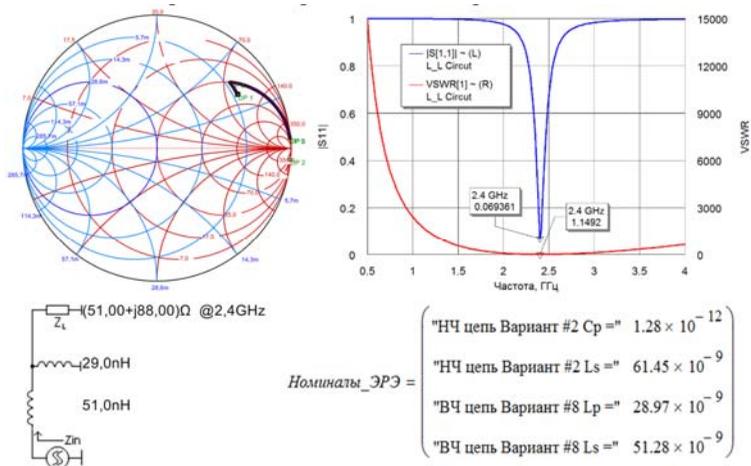


Рис. 2. Результаты визуального и аналитического проектирования ВЧ согласующей цепи на границе «неопределенной» зоны

## Библиографический список

1. **Самуилов, А. А.** Методика «визуального» проектирования цепей на сосредоточенных элементах для широкополосного согласования двух комплексных нагрузок / А. А. Самуилов, М. В. Черкашин, Л. И. Бабак // Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь. Доклады ТУСУРа. – 2013. – № 2(28).
2. **Смит, Ф.** Круговые диаграммы в радиоэлектронике / Ф. Смит ; пер. с англ. М. Н. Бергера, Б. Ю. Капилевича. – Изд-во «Связь», 1976.
3. **Dellsperger, Fritz** Circuit Designwith Smith Chart [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.fritz.dellsperger.net> (дата обращения : 15.02.2018)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ГЕНЕРАТОРА ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ

*А. П. Илясов, Д. С. Курепина, Д. С. Луцков*

*Тамбовский государственный технический университет*

Использование импульсного генератора в процессах сжигания топлива позволяет значительно повысить эффективность получения как тепловой, так и электрической энергии. Основной характеристикой импульсного генератора является его частота. В этой связи было проведено исследование влияния основных параметров различных элементов на частоту следования импульсов в рассматриваемом генераторе (рис. 1).

Исходные значения параметров элементов схемы представлены в табл. 1.

При данных значениях получаем частоту равную 41,15 кГц.

Частоту рассчитывал как  $1/0,0243 = 41,15$  кГц.

Исследования показали, что наиболее весомое влияние на частоту оказывает такие элементы как конденсатор С2 и С3, а так же резистор R1 и R4.

Результаты измерений представлены на рис. 2 в виде графиков зависимости частоты от параметров элементов схемы. Как видно из графиков, значительное влияние на частоту оказывают конденсаторы С2 и С3, а также резисторы R1 и R4.

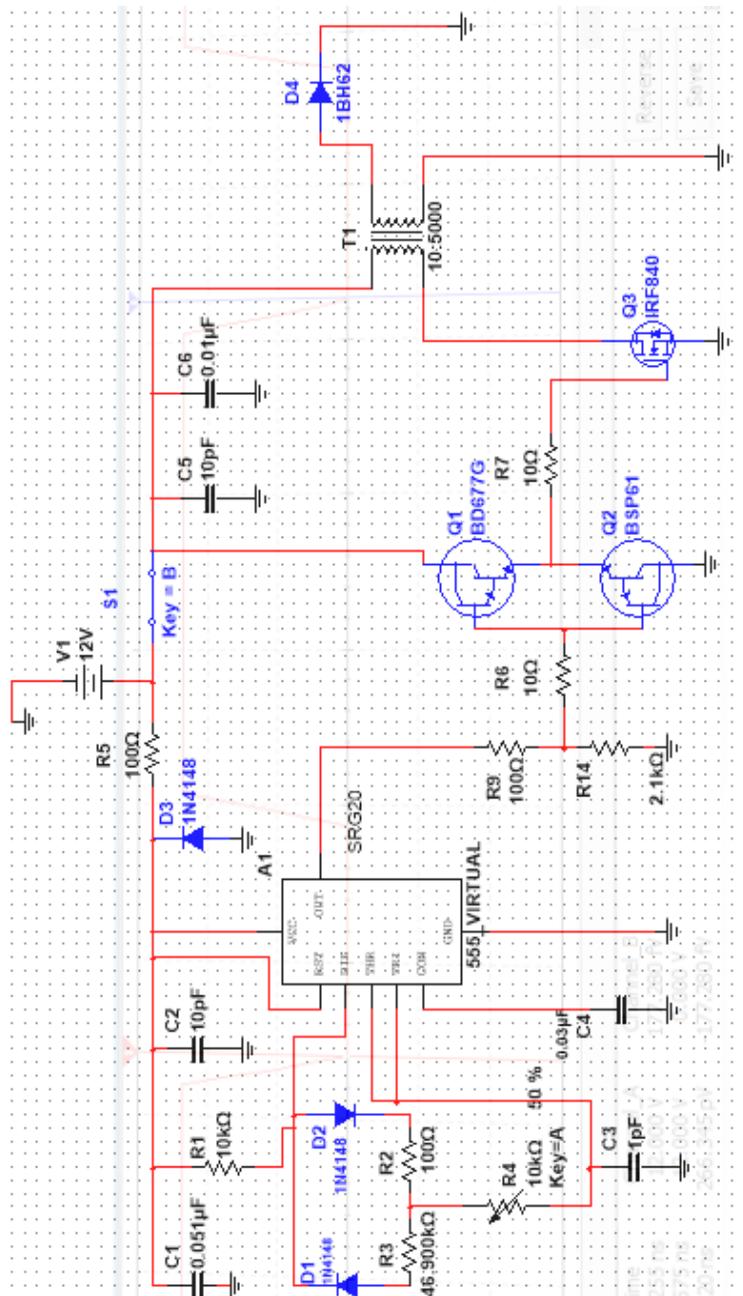
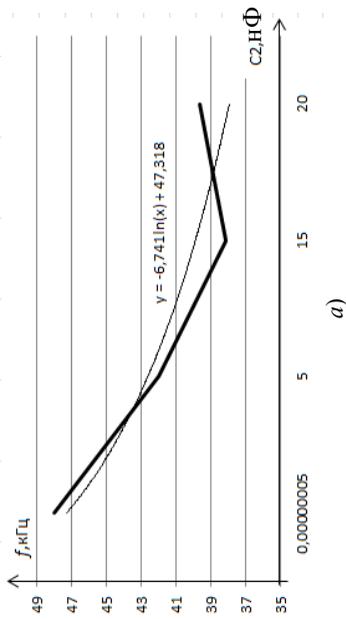
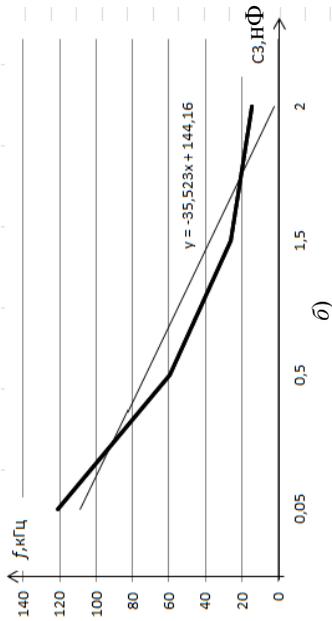


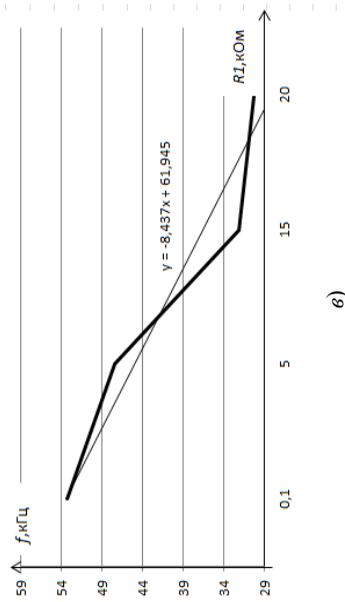
Рис. 1. Схема генератора высоковольтных импульсов



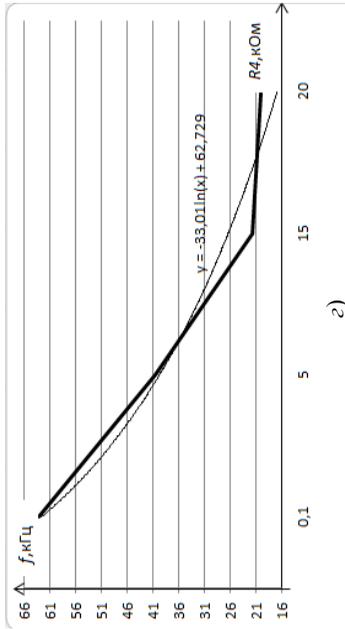
a)



б)



в)



г)

Рис. 2. Графики зависимости частоты от различных параметров цепи:

a – C2; б – C3; в – R1; г – R4

Таблица 1

Исходное значение						
C1	C2	C3	C4	R1	R2/R3	R4
0,05 мкФ	10 нФ	1 нФ	0,03 мкФ	10 кОм	46.90 кОм/ 100 Ом	10 кОм

Анализ графиков показал наличие нелинейной зависимости частоты от параметров элементов схемы, а попытки аппроксимации экспериментальных данных для конденсатора C3 и резистора K1 с помощью линейной модели приводит в рассматриваемом диапазоне к большим отклонениям от экспериментальных данных, что подтверждается при проверке адекватности модели с помощью критерия Фишера.

### Библиографический список

1. **Курепина, Д. С.** Метод исследования электрических характеристик пламени / Д. С. Курепина, Д. С. Луцков, С. Н. Баршутин // Энергетическая безопасность : сб. науч. ст. II Междунар. молодежного конгресса. – Курск : Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2017. – С. 146–147.
2. **Мешкова, Э. А.** Исследование скорости электронов в пламени / Э. А. Мешкова, Д. С. Луцков, С. Н. Баршутин // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы V Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов ; Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов, 2018. – С. 257 – 259.

## МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭНЕРГОЕМКОГО ОБОРУДОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*В. Г. Клемешов, Е. С. Кузина, Н. А. Кольтюков*

*Тамбовский государственный технический университет*

Любое предприятие, занимающееся производством радиоэлектронной аппаратуры, использует в своей деятельности различное энергоемкое оборудование. Например, различного рода станки и оборудование с электроприводами и нагревательными элементами. На их долю приходится основные производственные затраты электроэнергии, помимо этого от их режима функционирования зависит количество брака.

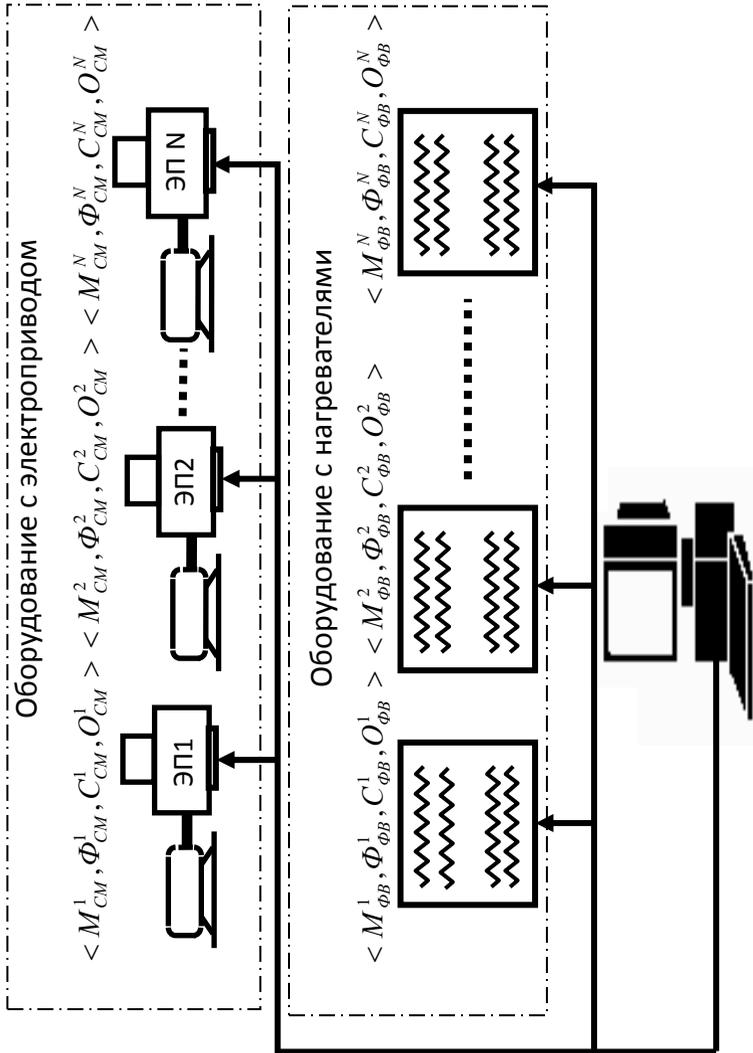


Рис. 1. Система оптимального энергосберегающего управления энергоемким оборудованием

На рисунке 1 представлен возможный вариант построения системы оптимального энергосберегающего управления энергоемким оборудованием радиоэлектронного предприятия.

Здесь в общем случае энергоемкий объект описывается так называемой четверкой (фреймом) из базы знаний  $\langle M, \Phi, C, O \rangle$ , где  $M$  – модель объекта;  $\Phi$  – функционал;  $C$  – стратегия управления;  $O$  – ограничения.

Однако энергоемкие объекты на практике часто бывают сложными, например, в состав объекта условно обозначенного на рисунке как ЭП1 может входить три электропривода – главный, системы смазки и системы терморегулирования, а объект П1 может содержать несколько отдельно управляемых нагревателей.

Решение задачи оптимального управления таким объектом можно представить в виде совокупности решения отдельных задач. Например, задача оптимального управления электроприводом насоса выглядит следующим образом

$$\text{ЭП: } \dot{z} = f_2(z(t), u_M(t), A_2, B_2) \quad t \in [t_0, t_1], \quad z = (z_1, z_2)^T; \quad (1)$$

$$\forall t \in [0, t_1]: u_M(t) \in [u_H, u_B], \quad (2)$$

$$z(t=0) = 0 \rightarrow z(t_1) = z^k, \quad (3)$$

$$P_M = f_{2a}(z(t), u(t), A_{2a}, B_{2a}) \quad t \in [t_1, t_4], \quad (4)$$

$$\forall t \in [t_1, t_4]: u_M(t) \in [u_H, u_B]; \quad P_M(t) = P_{\text{ном}}, \quad (5)$$

$$I_M = \int_0^{t_1} u^2(t) dt \rightarrow \min_u, \quad (6)$$

где  $u_M$  – управление (скалярное);  $A_2, B_2$  – параметры модели;  $P_M$  – давление в системе;  $I_M$  – минимизируемый функционал.

### Библиографический список

1. **Белоусов, О. А.** Энергосберегающее управление группой мощных аппаратов с электронагревом / О. А. Белоусов, Н. А. Кольтюков, Ю. Т. Зырянов // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2015. – № 5(65). – С. 27 – 29.

2. **Данилов, С. Н.** Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

3. Данилов, С. Н. Алгоритм сопровождения с реконfigurацией модели / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Р. А. Ефремов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 3 – С. 418 – 423.

4. Данилов, С. Н. Мультимодельный алгоритм сопровождения со сниженными вычислительными затратами / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Р. А. Ефремов // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах: тезисы докл. 2-й Междуна. конф. с элементами научной школы. – Тамбов, 22 – 24 апреля 2015 года. – С. 304–305.

## МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОПРИВODНЫМ ОБЪЕКТОМ

*В. Г. Клемешов, М. В. Бесперстов, Н. А. Кольтюков*

*Тамбовский государственный технический университет*

Рассмотрим модель задачи оптимального управления (ЗОУ) многоприводным объектом на примере резиносмесителя РС-270-40, который в своем составе имеет три электропривода.

Задача оптимального управления этим объектом при  $m$ -загрузках формулируется следующим образом.

Динамика электропривода ЭП1 описывается моделями

$$M^{(1)}: \dot{z} = f_1(z(t), u_{\text{гп}}(t), w(t), A_1, B_1), \quad z = (z_1, z_2)^T; \quad (1)$$

$$w_j^{\text{пп}}(t + \Delta t) = \phi(w_j(t), \psi_j), \quad j = \overline{1, m}, \quad (1a)$$

где  $u_{\text{гп}}$  – скаляр;  $w_j^{\text{пп}}$  – прогнозируемое значение нагрузки на электродвигатель.

Задаются ограничения и условия

$$\forall t \in [t_1, t_4]: u_{\text{гп}}(t) \in [u_{\text{н}}, u_{\text{в}}], \quad (2)$$

$$z(t_{0i}) = z^{0i} \rightarrow z(t_{ki}) = z^{ki}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (3)$$

минимизируемый функционал

$$I_{\text{гп}} = \sum_{i=1}^m \int_{t_{0i}}^{t_{ki}} q_1(z, u_{\text{гп}}, t) dt \rightarrow \min_{u_{\text{гп}}, t_{ki}}, \quad (4)$$

и одна или несколько возможных стратегий реализации ОУ (программная, позиционная и т.п.). Модель (1a) используется для прогнозирования нагрузки  $w_j$  на ЭД;  $\psi_j$  – параметры этой модели.

Требуется определить вид и параметры функции ОУ, оптимальную траекторию изменения фазовых координат, значение функционала.

Для электропривода ЭП2, описываемого на этапе пуска моделью

$$M^{(2)}: \dot{z} = f_2(z(t), u_M(t), A_2, B_2), \quad z = (z_1, z_2)^T; \quad (5)$$

где  $u_M$  – скаляр.

При ограничениях и условиях

$$\forall t \in [0, t_1]: u_M(t) \in [u_H, u_B], \quad (6)$$

$$z(t=0) = 0 \rightarrow z(t_1) = z^k, \quad (7)$$

минимизируемом функционале

$$I_M = \int_0^{t_1} q_2(z, u, t) dt \rightarrow \min_u, \quad (8)$$

и возможных стратегиях реализации ОУ, требуется определить вид и параметры функции ОУ, оптимальную траекторию изменения фазовых координат, значение функционала и выбрать стратегию управления.

После разгона ЭД-2 система осуществляет оптимальное регулирование, при этом используется модель

$$M^{(2a)}: P_M = f_{2a}(z(t), u_M(t), A_{2a}, B_{2a}), \quad (9)$$

при ограничениях и условиях:

$$\forall t \in [t_0, t_4]: u_M(t) \in [u_H, u_B]; \quad P_M(t) = P_{ном}, \quad (10)$$

требуется определить стратегию оптимального управления.

Для электропривода ЭП3, описываемого на этапе пуска моделью

$$M^{(3)}: \dot{z} = f_3(z(t), u_{ХЛ}(t), A_3, B_3), \quad z = (z_1, z_2)^T; \quad (11)$$

где  $u_M$  – скаляр.

При ограничениях и условиях:

$$\forall t \in [t_2, t_3]: u_{ХЛ}(t) \in [u_H, u_B], \quad (12)$$

$$z(t_2) = 0 \rightarrow z(t_3) = z^k, \quad (13)$$

в том числе на совместную работу с ЭД-1

$$\begin{aligned} t_2 &= f_{3a}(T_{зад}, W), \\ T_{зад\min} &\leq T_{зад}(t_2) \leq T_{зад\max}, \\ W(t_2) &\leq W_1, \end{aligned} \quad (14)$$

заданных, функционале

$$I_{\text{хл}} = \int_{t_2}^{t_3} q_3(z, u, t) dt \rightarrow \min_u, \quad (15)$$

одной или нескольких возможных стратегий реализации ОУ, требуется определить вид и параметры функции ОУ, оптимальную траекторию изменения фазовых координат и выбрать стратегию управления. Здесь  $t_2$  – момент включения ЭД системы охлаждения;  $T_{\text{зад}}$  – заданная температура охлаждающей жидкости;  $W_1$  – задаваемое значение потребления энергии главным электроприводом.

Общий минимизируемый функционал для системы, с учетом вышесказанного, будет выглядеть следующим образом

$$I_{\Sigma} = I_M(u_M; 0, t) + I_{\text{гл}}(u_{\text{гл}}, t_{k_j}; t_1, t_4) + \\ + I_{\text{хл}}(u_{\text{хл}}, t_2; t_2, t_3) \rightarrow \min_{u_{\text{гл}}, u_{\text{хл}}, u_M, t_2, t_{k_j}}. \quad (16)$$

### Библиографический список

1. Белоусов, О. А. Энергосберегающее управление группой мощных аппаратов с электронагревом / О. А. Белоусов, Н. А. Кольтюков, Ю. Т. Зырянов // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2015. – № 5(65). – С. 27 – 29.

2. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

3. Данилов, С. Н. Алгоритм сопровождения с реконfigurацией модели / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Р. А. Ефремов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 3 – С. 418 – 423.

4. Данилов, С. Н. Мультимодельный алгоритм сопровождения со сниженными вычислительными затратами / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Р. А. Ефремов // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах: тезисы докл. 2-й Междуна. конф. с элементами научной школы. – Тамбов, 22 – 24 апреля 2015 года. – С. 304–305.

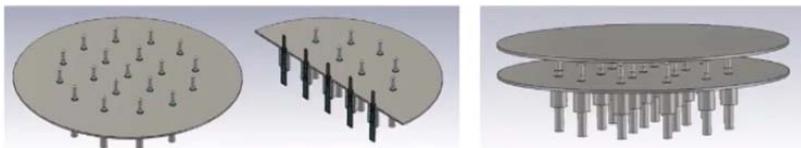
# КОЛЬЦЕВАЯ КОНЦЕНТРИЧЕСКАЯ ФАЗИРОВАННАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА С КРУГОВЫМ ОБЗОРОМ ПРОСТРАНСТВА В АЗИМУТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ ДЛЯ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ СВЧ-ДИАПАЗОНА

*И. П. Клонин, К. С. Сайфуллозода*

*Тамбовский государственный технический университет*

Фазированные антенные решетки (ФАР) являются одним из наиболее перспективных типов антенн, находящихся все большее применение в различных радиоэлектронных системах. При определении оптимальных вариантов радиосистемы немалую роль играет стоимость, возрастающая с развитием и усложнением техники. Реализация электрически сканирующих антенн встречает ряд конструктивных трудностей, одной из которых является размещение излучателей с фазовращателями и канализирующими системами (модулями) с заданным шагом, обеспечивающим однолучевой режим работы и низкий уровень боковых лепестков. Теория современных ФАР развивалась более 30 лет и к настоящему времени достигла современных методов анализа, терминологии, готовых инженерных оценок и т.д. [1].

При работе в широкой полосе частот в антенной решетке необходимо применять широкополосные излучатели относительно больших размеров и размещать их в решетке, при этом шаг между излучателями должен быть порядка длины волны и более. В процессе развития ВФАР были предложены и исследованы различные варианты размещения элементов. К ФАР относят систему плоских АР, систему ККАР (Концентрических Сферических АР, у которых излучатели располагаются на концентрических сферах и концентрические сферы входят одна в другую), также к ним можно отнести цилиндрически КАР. Частным случаем цилиндрических КАР является ККАР.



**Рис. 1. Кольцевая концентрическая фазированная антенная решетка**

Излучатели в АР можно располагать разными способами. Способ зависит от требований к уровню боковых лепестков (УБЛ), а также от технологических особенностей изготовления. Снижение УБЛ может быть достигнуто статистическим размещением. Часто структуру приходится выбирать исходя из удобства практического использования и изготовления АР [2, 3]. Так же для разных размерностей можно построить зависимость шага излучателей от направленности действия. В отличие от плоских АР в ККАР шаг можно увеличивать до нескольких длин волн. В ККАР в отличие от плоской АР расширяется рабочая полоса и частоты. С многокольцевой АР с произвольным амплитудным распределением, которое необходимо найти, используя например разложения в ряд Шлемельха или Фурье–Бесселя. Можно использовать разную форму раскрыва как в угломестной, так и в азимутальной плоскости. В азимутальной плоскости можно отклонять луч до 120° по азимуту. При этом не возрастает уровень бокового фона [2].

Таким образом, применение кольцевых концентрических фазированных антенных решеток позволит строить современные радиолокационные комплексы широкоугольным сканированием для бортовых систем.

### Библиографический список

1. **Воскресенский, Д. И.** Широкополосные антенны с широкоугольным неискаженным сканированием / Д. И. Воскресенский, Е. В. Овчинникова // Антенны. – 1999. – № 1(42).
2. **Вишневский, В. М.** Системы поллинга: теория и применение в широкополосных беспроводных сетях / В. М. Вишневский, О. В. Семенов. – М. : Техносфера, 2007. – 312 с.
3. **Применение** алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762 DOI: 10.15827/0236-235X.031
4. **Belousov, O. A.** Intelligent Sensor in Control Systems for Objects with Changing Thermophysical Properties / O. A. Belousov, D. Yu. Muromtsev, M. P. Belyaev // Journal of Physics: Conference Series : International Scientific and Technical Conference on Metrology, Standardization, Quality: Theory and Practice, MSQ 2017. – Omsk, April 2018. – V. 998, Is. 1.

## АЛГОРИТМ ИТЕРАЦИОННОГО ДЕКОДИРОВАНИЯ БЛОКОВОГО ТУРБОКОДА

*Н. С. Корж, С. М. Каданцев, П. А. Казак*

*Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск РЭБ  
(учебный и испытательный)*

Блочные турбокоды (БТК) нашли широкое применение в современных цифровых системах связи. Их использование обусловлено повышенной помехоустойчивостью (на 2...4 дБ) по сравнению с линейными блоковыми кодами [1]. Энергетический выигрыш достигается, в основном, за счет особенностей процедуры декодирования БТК в аппаратуре потребителя. Так, например, турбокод  $F(195,99)$ , образованный двумя линейными кодами Хемминга  $C_1(13, 9, 3)$  и  $C_2(15, 11, 3)$ , способен корректировать до  $t$  ошибок (1) в столбце (строке) при итеративном декодировании.

$$t = \left\lfloor \frac{d^2 - 1}{2} \right\rfloor = 4, \quad (1)$$

где  $d = 3$  – минимальное расстояние по Хеммингу.

Реализация алгоритма итеративного декодирования основана на применении SISO (softinput – softoutput) декодера мягких решений. На выходе такого декодера формируется не бит информации  $\{0, 1\}$  (либо тождественные полярные значения  $\{-1, +1\}$ ) по принципу максимального правдоподобия, а вещественное представление мягкого решения путем логарифмирования соотношения правдоподобия для принятого в канале с шумами бита информации  $y(2)$ .

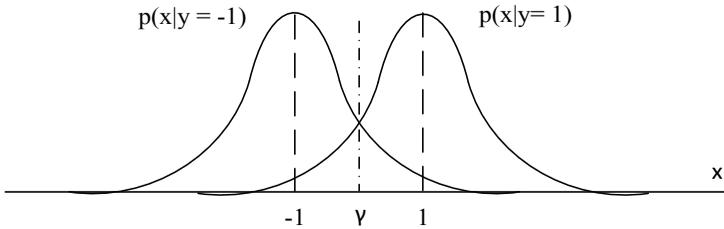
$$\mathbf{LLR}(y | x) = \frac{\ln p\left(x = \frac{1}{y}\right)}{p\left(x = -\frac{1}{y}\right)}, \quad (2)$$

где  $\mathbf{LLR}$  – логарифмическое отношение правдоподобия;  $x$  – значение бита информации на передающей стороне.

На рисунке 1 показана функция распределения вероятности при передаче сигнала по каналу с белым Гауссовским шумом (БГШ).

Мягкие решения, близкие к нулю, являются наименее правдоподобными по критерию минимальной вероятности ошибки и требуют проверки. Из  $n = 4$  проверяемых решений (согласно условия (1)) составляется матрица ошибок и рассчитываются приращения с использованием алгебраического синдромного декодирования.

Таким образом, происходит преобразование мягких решений в сторону одного из верных битовых значений, и далее после поворота турбокода итерация повторяется. Процесс декодирования продолжается до тех пор, пока не будут получены надежные решения, на основании которых принимаются жесткие значения.

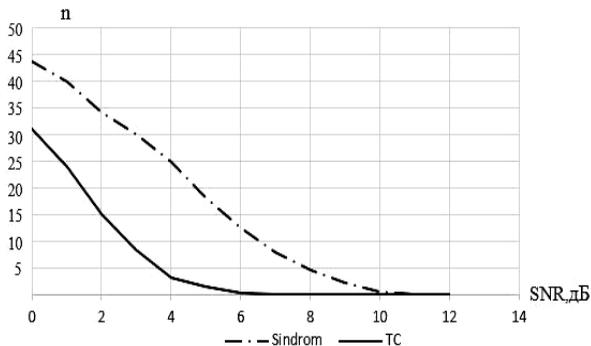


**Рис. 1. Функция правдоподобия**

Алгоритм итеративного декодирования можно описать следующими процедурами:

- 1) расчет мягких решений;
- 2) определение 4 минимальных по модулю решений (для строки турбокода) и определение их наиболее вероятных значений;
- 3) вычисление приращений элементов турбокода;
- 4) формирование нового турбокода и его поворот;
- 5) повторение расчетов по пунктам 2 – 4 до получения надежных решений.

С использованием данного алгоритма был проведен сравнительный анализ помехоустойчивости БТК Хемминга (195, 99) для итерационного и синдромного методов декодирования при изменении SNR от 0 до 12 дБ. Результаты исследования приведены на рис. 2.



**Рис. 2. Зависимость количества ошибок турбокода от SNR**

Таким образом, число ошибок, возникающих при синдромном декодировании существенно увеличивается для  $SNR < 10$  дБ, а при использовании рассмотренного алгоритма для  $SNR < 6$  дБ, что дает выигрыш в 4 дБ.

### Библиографический список

1. **Скляр, Б.** Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр.; пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОМОДУЛЕЙ ZIGBEE НА ПРОИЗВОДСТВЕ ДЛЯ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

*Д. Р. Кузьяев, А. С. Туровский, А. П. Пудовкин*

*Тамбовский государственный технический университет*

Для оценки помехоустойчивости телеметрической сети проведено исследование влияния различных, в том числе производственных источников помех на передающий сигнал между двумя радиомодулями ZigBee, при этом использовались радиомодули Xbee S2C компании DIGI и программа ХСТU для оценки уровня потери сигнала от расстояния между двумя радиомодулями и условий его распространения.

Расстояние между радиомодулями менялось в диапазоне 1...60 м коридора шириной не более 3 м. С изменением расстояний фиксировались значения уровня потери сигнала (RSSI), а так же количество отправленных и принятых пакетов.

Результаты исследования представлены на рис. 1, которые показали, что значение уровня потери сигнала на расстоянии 60 м в пределах прямой видимости механического цеха равен  $-82$  дБм, что значительно выше чувствительности приемника ( $-100...-102$ ) дБм при коэффициенте ошибок 1%. Наличие большого количества металлических объектов в цеховых условиях не оказало влияния на потерю пакетов.

Следовательно, выбор радиомодулей Xbee S2C является правильным решением для реализации беспроводной телеметрической сети для контроля характеристик качества металлофоропластового ленточного материала в процессе его производства [1].



**Рис. 1. Зависимость значения RSSI от расстояния при условии распространения сигнала в механическом цехе**

### Библиографический список

1. **Кузьяев, Д. Р.** Беспроводная телеизмерительная сеть контроля характеристик качества металлофторопластового ленточного материала [Текст] / Д. Р. Кузьяев, А. П. Пудовкин, Д. В. Тихонин // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2018. – Рязань : Рязанский государственный технический университет, 2018. – С. 162 – 165.
2. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
3. **Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters** / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id.032111.
4. **Концепция построения и структура перспективного информационно-измерительного комплекса** / У. Р. Наимов, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2018. – Т. 24, № 1. – С. 30 – 36.
5. **Панасюк, Ю. Н.** Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23. № 4. – С. 595 – 600.
6. **Данилов, С. Н.** Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин // Труды ТГТУ. Радиотехника. – М., 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЭМВ ОТ РАССТОЯНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

*С. А. Марчуков, Д. Р. Антоничев*

*Тамбовский государственный технический университет*

Класс среды определяется не только первичными электрическими параметрами, но и частотой ЭМВ. Одна и та же среда при различных частотах может являться для волны и диэлектриком, и полупроводником, и проводником [1 – 4].

Для коэффициентов фазы и затухания ЭМВ имеют место следующие выражения [2, 5, 6]:

$$\beta = \omega \sqrt{\frac{\mu_a \varepsilon_a}{2} \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{\gamma}{\omega \varepsilon_a} \right)^2} + 1 \right]}; \quad (1)$$

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu_a \varepsilon_a}{2} \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{\gamma}{\omega \varepsilon_a} \right)^2} - 1 \right]}, \quad (2)$$

где  $\omega$  – циклическая частота;  $\varepsilon_a$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды;  $\mu_a$  – абсолютная магнитная проницаемость среды;  $\gamma$  – проводимость среды.

Напряженность электрического поля ЭМВ изменяется по закону

$$E_m = E_{m_0} e^{-\alpha z}, \quad (3)$$

где  $z$  – расстояние, которое проходит ЭМВ.

Проведем исследования для трех сред на частоте 1 кГц:

1. Влажная почва с электрическими параметрами:  $\varepsilon = 20$ ,  $m = 1$ ,  $\gamma = 0,2$  См/м.

2. Снег с электрическими параметрами:  $\varepsilon = 1,2$ ,  $m = 1$ ,  $\gamma = 10^{-6}$  См/м.

3. Мерзлая почва с электрическими параметрами:  $\varepsilon = 3,7$ ,  $m = 1$ ,  $\gamma = 0,005$  См/м.

Результаты исследования представлены на рис. 1. Из рисунка 1 видно, что напряженности электрического поля ЭМВ  $E_{m_1}$  и  $E_{m_3}$  быстро убывают в 1 и 3 средах по сравнению  $E_{m_2}$  среды 2. Это связано с тем, что проводимости 1 и 3 среды значительно больше, чем во второй среде. Проводимость среды сильно влияет на коэффициент затухания ЭМВ. Коэффициенты затухания сред равны  $b_1 = 2,8 \cdot 10^{-2}$ ,  $b_2 = 6 \cdot 10^{-5}$ ,  $b_3 = 4 \cdot 10^{-3}$ .

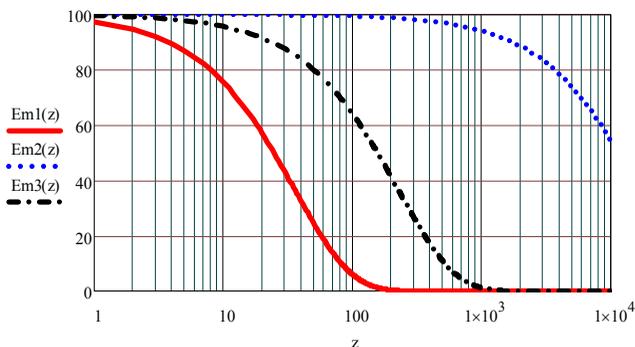


Рис. 1

Таким образом, исследования изменения напряженности электрического поля ЭМВ в различных средах позволяют использовать для обеспечения радиосвязи между двумя объектами.

### Библиографический список

1. **Пудовкин, А. П.** Распространение радиоволн [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк. – Тамбов : ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 180 с.
2. **Панасюк, Ю. Н.** Электромагнитные поля: учеб. пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 96 с.
3. **Пудовкин, А. П.** Основы теории антенн : учеб. пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, А. А. Иванков. – Тамбов : ТГТУ, 2011. – 92 с.
4. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
5. **Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters** / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.
6. **Synthesis of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation** / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.

*Работа выполнена под руководством доцента, канд. техн. наук  
Ю. Н. Панасюка*

## БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ КАК ОБЪЕКТЫ РАДИОЛОКАЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

*Д. Д. Мельникова, Д. А. Сыщикова*

*Тамбовский государственный технический университет*

Полеты беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в мирное время во многих районах ограничены по разным причинам. Особенно это важно вблизи аэропортов, мест массового скопления граждан, охраняемых объектов. Таким образом, возникает необходимость создания независимой объективной системы контроля за БПЛА. Поскольку такая система должна быть работоспособной в любых погодных условиях и круглосуточно, то предпочтительно создавать ее на основе радиолокационных датчиков. Задача обнаружения малоразмерных БПЛА, в частности, на фоне отражений от подстилающей поверхности, не нова. Зарубежные специалисты ее пытаются решать, например, с привлечением армейских модифицированных радаров AN/TPQ-50, изначально используемых для обнаружения снарядов. Однако в настоящее время необходима разработка РЛС малой дальности для обнаружения и сопровождения БПЛА. При этом, такая РЛС должна устойчиво обнаруживать их над районами городской застройки с высоким уровнем помеховых отражений от зданий и сооружений.

Новые задачи, улучшение тактико-технических характеристик БПЛА, в том числе, уменьшение их размеров, усложняют задачу обнаружения. В связи с этим, такая задача является приоритетной задачей при создании систем противодействия.

Контроль над полетами БПЛА представляет собой комплекс мер по их обнаружению и распознаванию, а возможно и уничтожению. В связи с малой заметностью эта задача является наиболее сложной и важной. Современные легкие БПЛА имеют эффективную площадь рассеяния (ЭПР) небольшой величины, поэтому для эффективного выполнения задачи необходимо одновременное использование нескольких способов обнаружения.

Основным средством обнаружения БПЛА являются РЛС, хотя БПЛА являются сложной целью. Малая ЭПР снижает дальность обнаружения [3]. Расчетные дальности обнаружения БПЛА составляют (при вероятности правильного обнаружения 0,5 и ложной тревоги  $10^{-5}$ ):

– РЛС метрового диапазона – 8...14 км для – ЭПР около  $0,1 \text{ м}^2$  и  $0,1...1,5 \text{ км}$  для БЛА с ЭПР, равной  $0,01 \text{ м}^2$ ;

– РЛС дециметрового диапазона – 9...16 км (ЭПР =  $0,1 \text{ м}^2$ ) и  $0,8...2,0 \text{ км}$  (ЭПР =  $0,01 \text{ м}^2$ );

– РЛС сантиметрового диапазона – 12...25 км и 1,4...2,8 км, соответственно [2].

Учитывая установку на БПЛА антирадарных покрытий, наибольшую эффективность дает применение двухчастных импульсных радиолокаторов. Первая группа частот в дециметровом диапазоне, вторая – в сантиметровом [3].

Наибольшую уязвимость БПЛА обуславливает наличие у них электромагнитного излучения. Это сигналы бортового ответчика, бортовой РЛС, сигналы обмена между пунктом управления и БПЛА. Для передачи видеосигнала используются различные частотные диапазоны. Наиболее распространенные частоты для передачи видео с БПЛА: 900 МГц, 1,2...1,3 ГГц, 2,4 ГГц, 5,8 ГГц. На данный момент для передачи потокового видео с камеры БПЛА наиболее распространена в большинстве стран частота 5,8 ГГц.

РЛС должны быть способны надежно обнаружить и идентифицировать летящие объекты с небольшой ЭПР, движущиеся по нелинейным, трудно прогнозируемым, практически случайным траекториям. В таких РЛС может быть применен уже давно отработанный алгоритм идентификации птиц. Повысить возможности РЛС-контроля может работа вместе с оптико-электронными станциями. Все это приводит к необходимости разработки надежных алгоритмов вторичной обработки при сильно зашумленных входных данных.

Далее решается задача по сбору информации, необходимой для проведения анализа, к которой относится скорость БПЛА, дальность до него, а также распознавание типа объекта. Общая эффективность системы зависит как от индивидуальных характеристик передатчика, антенны, приемника, слаженной работы между ними, так и от метода радиолокации. Учитывая специфику задачи, необходимо найти компромисс между мощностью передатчика и диапазоном волн, размерами антенны и диаграммы ее направленности, способностях приемника обработать поступающую информацию и выбором подходящего метода измерения, такого как частотный, фазовый и импульсный.

### Библиографический список

1. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
2. **Алгоритм** дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, И. В. Князев // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С 60 – 63.

3. **Estimation** of Location Coordinates in the System of vehicle Control to Ensure Traffic Safety / A. P. Pudovkin, S. N. Danilov, A. V. Ivanov, Yu. N. Panasuk // International Conference on Recent Advanced in Engineering, Technology and Applied Sciencs. – USA, Detroit, 2017. – С. 32 – 49.

4. **Synthesis** of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.

## **ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В РСА**

*К. А. Меркушова, Д. А. Яковлева, А. П. Рыжков*

*Тамбовский государственный технический университет*

В работе [1] на основе использования методов Марковской теории фильтрации применительно к многоканальным системам изложены теоретические положения синтеза оптимальных и квазиоптимальных алгоритмов обработки сигналов в РСА, осуществляющей обзор земной поверхности в условиях преднамеренных помех. На основе адаптивного байесовского подхода синтезированы адаптивные квазилинейные и субоптимальные алгоритмы.

В работах [2, 3] приведены результаты моделирования оптимального и квазилинейного алгоритмов для двухканальной РСА.

Анализ полученных в работах [1 – 3] структур синтезированных алгоритмов показывает, что оптимальная обработка сигнала распадается на два этапа: пространственную обработку и временную. Взвешенное суммирование, выполняемое в пространственном фильтре (ПФ), позволяет устранить нежелательные помеховые сигналы. Кроме того, в структуре адаптивного алгоритма можно выделить канал фильтрации неизвестных элементов матрицы  $V^{-1}$  (обратной корреляционной матрицы помех и шумов), которые для рассматриваемой задачи являются сопутствующими. От точности оценки этих параметров зависит качество формируемого в РСА радиолокационного изображения (РЛИ) местности. Результаты решения задачи формирования РЛИ местности применительно к идеализированным условиям, т.е. когда точно известны элементы матрицы  $V^{-1}$ , представляют интерес,

поскольку определяют потенциальные возможности рассматриваемых методов обработки.

Оценим потенциальную эффективность пространственной обработки сигналов в двухканальной РСА. При этом в качестве показателя, характеризующего работу ПФ, будем использовать коэффициент подавления помехи, представляющий собой отношение дисперсии помехового сигнала в основном канале  $\sigma_1^2$  к дисперсии помеховых составляющих  $\sigma_{\text{вых}}^2$  выходного сигнала ПФ [4]:

$$K_{\text{п}} = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_{\text{вых}}^2}.$$

Выходной сигнал  $y_v$  ПФ представляет сумму сигнала основного канала  $\xi_1$  и сигнала компенсационного канала  $\xi_2$ , умноженного на весовой коэффициент  $\omega_v$ :

$$y_v = \xi_{1v} + \omega_v \xi_{2v},$$

где  $\omega_v = \vartheta_{12v} / \vartheta_{11v}$ ,  $\vartheta_{ijv}$  – элементы матрицы  $V^{-1}$ .

Эффективность подавления помех зависит от модуля коэффициента корреляции между комплексными огибающими напряжений помехи в каналах приема, несоответствия мощностей помех в каналах приема, амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик каналов приема, а также наличия в этих каналах собственных шумов.

С учетом отмеченных факторов коэффициент подавления будет определяться выражением:

$$K_{\text{п}} = \frac{1}{a^2 + q_{\text{шп}} - \frac{b|\rho|^2}{b + q_{\text{шп}}}(2a \cos \Phi - 1)}.$$

Здесь  $a$  – коэффициент, учитывающий амплитудные искажения в первом канале;  $\Phi$  – фазовая погрешность первого канала;  $\rho$  – коэффициент корреляции помех основного и компенсационного каналов;  $q_{\text{шп}} = \sigma_{\text{ш}}^2 / \sigma_1^2$  – отношение мощности шума к мощности помехи в основном канале. Дисперсии помеховых сигналов в каналах приема связаны соотношением  $\sigma_2^2 = b\sigma_1^2$ .

Результаты выполненного моделирования показывают степень влияния исследуемых факторов на эффективность пространственной обработки сигналов в РСА.

## Библиографический список

1. **Рыжков, А. П.** Синтез алгоритмов функционирования РСА в условиях активного радиоэлектронного противодействия / А. П. Рыжков, Г. Н. Нурутдинов // Радиотехника. – 2017. – № 2. – С. 37 – 46.
2. **Рыжков, А. П.** Алгоритмы обработки сигналов в РСА, учитывающие структуру корреляционной матрицы помех и шумов / А. П. Рыжков, И. А. Скобеев // Вопросы радиоэлектроники. Серия РЛТ. – 2008. – Вып. 3. – С. 84 – 90.
3. **Рыжков, А. П.** Чувствительность адаптивных алгоритмов обработки сигналов в РСА к неизвестным параметрам помех / А. П. Рыжков, И. А. Скобеев // Радиотехника. – 2007. – № 5. – С. 114 – 118.
4. **Адаптивная** компенсация помех в каналах связи / Ю. И. Лосев и др. ; под ред. Ю. И. Лосева. – М. : Радио и связь, 1988. – 208 с.

## УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В ДВУХКАНАЛЬНОЙ РСА

*К. А. Меркушова, Д. А. Яковлева, А. П. Рыжков*

*Тамбовский государственный технический университет*

В работе [1] синтезированы адаптивные алгоритмы оптимальной пространственно-временной фильтрации функции радиолокационного рельефа (РЛР) для РСА, осуществляющей телескопический обзор земной поверхности. В работах [2 – 4] приведены результаты моделирования оптимального и квазилинейного алгоритмов для двухканальной РСА.

Анализ полученных в работах [1 – 3] структурных схем показывает, что оптимальная обработка сигнала распадается на два этапа: пространственную обработку и временную. Взвешенное суммирование, выполняемое в пространственном фильтре, позволяет устранить нежелательные помеховые сигналы. Однако методы линеаризации, использовавшиеся при синтезе адаптивных алгоритмов, не гарантируют их безусловную сходимость. Поэтому важной задачей является определение условий, в которых эти алгоритмы работают достаточно устойчиво, а также поиск путей повышения устойчивости их работы и сходимости процедур настройки весовых коэффициентов пространственного фильтра к асимптотически оптимальным решениям.

В установившемся режиме наиболее существенное влияние на качество работы алгоритма оказывают элементы  $b_{12}, r_{22}, g_{21}, h_{11}$  матрицы  $\mathbf{P}$  – апостериорной дисперсии ошибок фильтрации элементов обратной корреляционной матрицы помех и шумов  $\mathbf{V}^{-1}$ . Матрица  $\mathbf{P}$  определяется как математическое ожидание кронекеровского произведения  $M\{V^{-1} \otimes (V^{-1})^*\}$ . Влиянием остальных элементов матрицы  $\mathbf{P}$  можно пренебречь. Выходной сигнал пространственного фильтра определяется выражением

$$y_v = \xi_{1v} + \frac{\mathfrak{G}_{12v}}{\mathfrak{G}_{11v}} \xi_{2v},$$

где  $\mathfrak{G}_{ijv}$  – элементы обратной корреляционной матрицы помех и шумов  $\mathbf{V}^{-1}$ .

Рассмотрим сходимость алгоритма определения параметра  $\mathfrak{G}_{12}$ . Для большей наглядности, параметр дискретного времени  $v$  запишем в виде переменной, стоящей в скобках.

Алгоритм определения параметра  $\mathfrak{G}_{12}$  можно представить в виде:

$$\hat{\mathfrak{G}}_{12}(v+1) = \hat{\mathfrak{G}}_{12}(v) + b_{12} \left( -\frac{\hat{\mathfrak{G}}_{12}(v)}{2D} - 0,5(\xi_1(v) - S(v))\xi_2^*(v) \right),$$

где  $D = |\mathbf{V}^{-1}|$  – определитель матрицы  $\mathbf{V}^{-1}$ ,  $S(v)$  – полезный сигнал.

В работе были определены условия, при которых оценки элементов  $\mathfrak{G}_{ijv}$  будут стремиться к своим оптимальным значениям. Анализ полученных условий определяет ограничения на величину коэффициентов  $b_{12}, r_{22}, g_{21}, h_{11}$ , обеспечивающих устойчивую работу пространственного фильтра:

$$0 < b_{12} < 4D; \quad -4D < r_{22} < 0; \quad 0 < g_{21} < 4D; \quad -4D < h_{11} < 0.$$

Анализ выражений показывает, что скорость сходимости рассматриваемого алгоритма пространственной фильтрации существенно зависит от внешних условий, т.е. от мощности помехового сигнала и направления его прихода. Кроме того, скорость сходимости зависит и от параметров  $b_{12}, r_{22}, g_{21}, h_{11}$ , изменяя которые можно регулировать длительность переходного процесса в пространственном фильтре.

### Библиографический список

1. **Рыжков, А. П.** Синтез алгоритмов функционирования РСА в условиях активного радиоэлектронного противодействия / А. П. Рыжков, Г. Н. Нурутдинов // Радиотехника. – 2017. – № 2. – С. 37 – 46.
2. **Рыжков, А. П.** Алгоритмы обработки сигналов в РСА, учитывающие структуру корреляционной матрицы помех и шумов / А. П. Рыжков, И. А. Скобеев // Вопросы радиоэлектроники. Серия РЛТ. – 2008. – Вып. 3. – С. 84 – 90.
3. **Рыжков, А. П.** Чувствительность адаптивных алгоритмов обработки сигналов в РСА к неизвестным параметрам помех / А. П. Рыжков, И. А. Скобеев // Радиотехника. – 2007. – № 5. – С. 114 – 118.
4. **Рыжков, А. П.** Сравнительный анализ эффективности различных видов адаптивных к помехам алгоритмов обработки сигналов в РСА / А. П. Рыжков, И. А. Скобеев, Д. А. Чистилин // Вопросы радиоэлектроники. Сер. РЛТ. – 2009. – Вып. 1. – С. 93 – 99.

### **ВЫБОР МОДЕЛИРОВЩИКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ НА ПРИМЕРЕ АНТЕННЫ «ВОЛНОВОЙ КАНАЛ»**

***И. В. Мещеряков, И. В. Шаранов, А. П. Пудовкин***

*Тамбовский государственный технический университет*

В настоящее время все чаще стало применяться компьютерное моделирование в разных сферах, в том числе в антенностроении. Специализированные программы-моделировщики позволяют осуществить сложный расчет антенны [1 – 4]. Это позволяет наглядно увидеть как изменятся параметры антенны при изменении ее размеров и конфигурации, рабочей частоты, окружающего рельефа. Используя принцип масштабирования размеров относительно частоты с большинством линейных антенн, можно получить антенну на другой частотный диапазон с таким же исходным видом [1, 5 – 7].

Немалой проблемой является выбор подходящего моделировщика. В основе моделировщика лежит вычислительное ядро, обеспечивающее численное решение уравнений электромагнитного поля для каждой точки. На данный момент существуют три основных ядра.

1. Ядро MININEC – одно из первых удачных применяется по настоящее время. Одним из недостатков является, то, что при моделировании реальной земли не учитываются потери ближней реактивной зоны антенны в реальной земле.

2. Ядро NEC2 устраняет основной недостаток ядра MININEC, но при этом имеет свои недостатки. Это невозможность учета проводов, касающихся земли, и противовесов, лежащих на земле, и ошибки при стыковке проводов разного диаметра.

3. Ядро NEC4 – дальнейшее развитие ядра NEC2. Может учитывать противовесы как на поверхности земли, так и закопанные в нее. Проблема с соединением проводов разных диаметров не решена полностью, но сведена на минимум и обеспечивает достаточную точность. Основной недостаток этого ядра – это распространение только по лицензии и не во все страны.

На сегодняшний день пользуются популярностью следующие моделировщики. Это MMANA-GAL на ядре MININEC, 4NEC2 на ядре NEC2. Более профессиональные моделировщики – это CST STUDIO и ANSYS HFSS носят коммерческий характер.

Рассмотрим моделирование диаграммы направленности в MMANA-GAL используя антенну «Волновой канал» из 8 элементов. MMANA-GAL при вычислении использует метод моментов. Антенна описывается произвольным набором прямых тонких проводов, а каждый провод представляется в виде набора сегментов, разбитых точками. В каждой точке вычисляются импедансы и комплексные токи как собственные, так и наведенные от всех остальных сегментов. В результате вычисляется полный ток в каждой точке и электромагнитное поле, создаваемое этими токами. После вычислений получим диаграмму направленности в соответствующей вкладке на рис. 1.

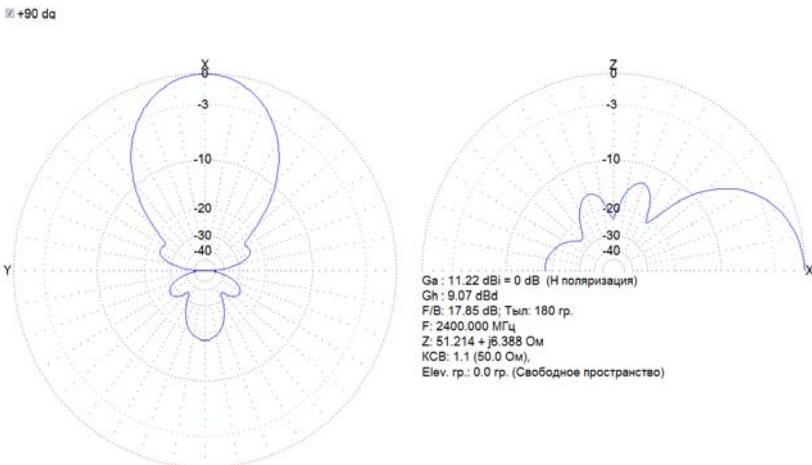


Рис. 1. Диаграмма направленности антенны «Волновой канал»

Таким образом, компьютерное моделирование с помощью специализированных программ позволяет исследовать антенну и, изменяя ее параметры, оптимизировать под конкретные условия и требования.

### **Библиографический список**

1. **Гончаренко, И. В.** Антенны КВ и УКВ. Ч. I. Компьютерное моделирование. MMANA [Текст] / И. В. Гончаренко. – М. : ИП РадиоСофт, Журнал «Радио», 2004. – 128 с.
2. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С.Н. Данилов, Ю.Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
3. **Панасюк, Ю. Н.** Обработка радиолокационной информации в радиотехнических системах : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – 84 с.
4. **Пудовкин, А. П.** Основы теории антенн : учеб. пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, А. А. Иванков. – Тамбов : ТГТУ, 2011. – 92 с.
5. **Панасюк, Ю. Н.** Устройства сверхвысоких частот : учеб. пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : ТГТУ, 2015. – 80 с.
6. **Панасюк, Ю. Н.** Основы автоматизации проектирования устройств СВЧ и антенн [Электронный ресурс, мультимедиа] : учеб. пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 270 с.
7. **Пудовкин, А. П.** Электромагнитная совместимость и помехозащищенность РЭС [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, Т. И. Чернышова. – Тамбов : ТГТУ, 2013. – 92 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН**

***А. А. Мжельский, В. В. Евтеев***

*Тамбовский государственный технический университет*

Основные параметры распространения электромагнитных волн – коэффициент затухания  $\beta$  и коэффициент фазы  $\alpha$  в зависимости от параметров среды, в которой они распространяются [1 – 4].

Проведем исследования зависимости коэффициента затухания от изменения диэлектрической проницаемости среды при неизменной проводимости среды и зависимости коэффициента затухания от изменения проводимости среды для частоты электромагнитных волн (ЭМВ), равной 1 МГц [1, 5, 6]. Коэффициент затухания ЭМВ равен

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu_a \epsilon_a}{2} \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{\gamma}{\omega \epsilon_a} \right)^2} - 1 \right]},$$

где  $\omega$  – циклическая частота;  $\epsilon_a$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды;  $\mu_a$  – абсолютная магнитная проницаемость среды;  $\gamma$  – проводимость среды.

На рисунке 1 показана зависимость коэффициентов затухания ЭМВ  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  от изменения диэлектрической проницаемости среды  $\epsilon$  для двух различных проводимостей среды:  $\gamma_1 = 10^{-4}$  См/м и  $\gamma_2 = 10^7$  См/м.

Из рис.1 видно, что при большой проводимости коэффициент затухания практически не зависит от диэлектрической проницаемости среды, при небольшом значении проводимости среды коэффициент затухания изменяется при небольших значениях  $\epsilon$ . На рис.1 видно, что при  $\gamma > 0,015$  См/м коэффициент затухания не зависит от диэлектрической проницаемости среды, при небольшом значении проводимости среды коэффициент затухания изменяется при изменении  $\epsilon$ .

Эти исследования можно учитывать при проектировании радиотехнических устройств.

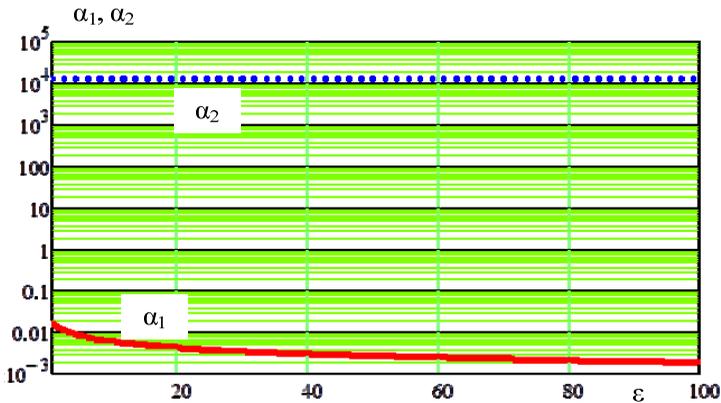


Рис. 1. График зависимости коэффициентов затухания ЭМВ  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  от изменения диэлектрической проницаемости среды  $\epsilon$

На рисунке 2 показана зависимость коэффициентов затухания ЭМВ  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  от изменения проводимости среды  $\gamma$  для двух различных относительных диэлектрических проницаемостей среды:  $\epsilon_1 = 1$  и  $\epsilon_2 = 100$ .

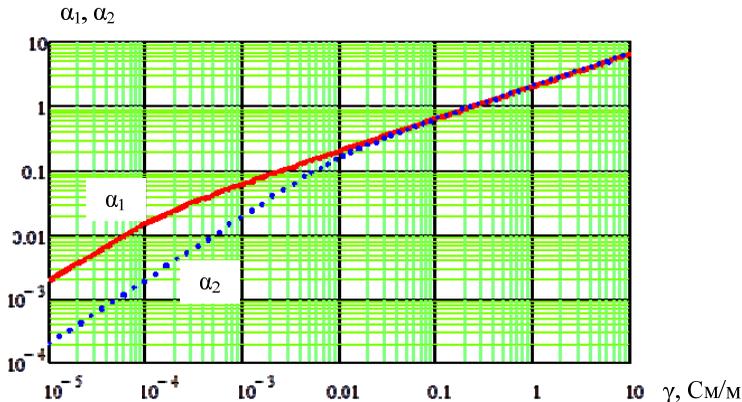


Рис. 2. График зависимости коэффициентов затухания ЭМВ  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  от изменения проводимости среды  $\gamma$

### Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Распространение радиоволн [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк. – Тамбов : ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 180 с.
2. Панасюк, Ю. Н. Электромагнитные поля : учеб. пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 96 с.
3. Пудовкин, А. П. Основы теории антенн : учеб. пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, А. А. Иванков. – Тамбов : ТГТУ, 2011. – 92 с.
4. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
5. **Synthesis** of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.
6. **Synthesis** of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.

*Работа выполнена под руководством доцента, канд. техн. наук  
Ю. Н. Панасюка*

# УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПРЕДПРИЯТИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОФИЛЯ

*Д. О. Никитенков, Е. С. Кузина, В. Г. Клемешов*

*Тамбовский государственный технический университет*

Большинство технологических установок предприятий радиоэлектронного профиля оборудованы несколькими электроприводами.

К многоприводным будем относить объекты, содержащие в себе несколько приводов, не связанных между собой механически и различающихся типами электродвигателей, передаточными числами редукторов, нагрузочными моментами и скоростями вращения, выполняемыми функциями и ограничениями.

Рассмотрим  $n$ -приводный объект. В общем случае каждому электроприводу соответствует своя математическая модель и особенности управления. Рассмотрим постановку задачи оптимального управления многоприводным объектом. Математическая модель  $n$ -приводного объекта может быть представлена как совокупность моделей отдельных электроприводов:

$$M = \{M^{(i)}\}, \quad i = \overline{1, n} \quad (1)$$

или в развернутом виде

$$M = \left\{ \begin{array}{l} \dot{z}^{(1)} = A_h^{(1)} z^{(1)}(t) + B_h^{(1)} u^{(1)}(t), \\ \dot{z}^{(2)} = A_h^{(2)} z^{(2)}(t) + B_h^{(2)} u^{(2)}(t), \\ \dots \\ \dot{z}^{(n)} = A_h^{(n)} z^{(n)}(t) + B_h^{(n)} u^{(n)}(t). \end{array} \right\}, \quad h \in H, \quad (2)$$

где  $z^{(i)}$ ,  $u^{(i)}$  – вектор фазовых координат и управление для  $i$ -го электропривода;  $A_h$ ,  $B_h$  – матрицы параметров соответствующей модели в состоянии функционирования  $h$ ;  $H$  – множество состояний функционирования.

Накладываются ограничения и условия, которые должны выполняться для управлений и фазовых координат, т.е.

$$U = \{u^{(i)}(t), \quad i = \overline{1, n}\}, \quad \forall t^{(i)} \in [t_0^{(i)}, t_k^{(i)}]: u^{(i)}(t) \in [u_n^{(i)}, u_b^{(i)}]; \quad (3)$$

$$Z = \{z^{(i)}, \quad i = \overline{1, n}\}, \quad z^{(i)} = (z_1^{(i)}(t), z_2^{(i)}(t))^T, \quad z^{(i)}(t_0^{(i)}) \rightarrow z^{(i)}(t_k^{(i)}), \quad i = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Выбираются функционалы  $\Phi^{(i)}$  и стратегии  $C^{(i)}$  реализации ОУ. Сокращенно модель ЗОУ многоприводным объектом представляется совокупностью  $n$  кортежей:

$$K = \{ \langle M^{(i)}, O^{(i)}, \Phi^{(i)}, C^{(i)} \rangle, i = \overline{1, n} \}. \quad (5)$$

### Библиографический список

1. Белоусов, О. А. Энергосберегающее управление группой мощных аппаратов с электронагревом / О. А. Белоусов, Н. А. Кольтюков, Ю. Т. Зырянов // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2015. – № 5(65). – С. 27 – 29.
2. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.
3. Данилов, С. Н. Алгоритм сопровождения с реконfigurацией модели / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Р. А. Ефремов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 3. – С. 418 – 423.
4. Данилов, С. Н. Мультимодельный алгоритм сопровождения со сниженными вычислительными затратами / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Р. А. Ефремов // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах : тез. докл. 2 Междунар. конф. с элементами научной школы. – Тамбов, 22 – 24 апреля 2015 года. – С. 304–305.

## ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПАССИВНЫХ ПОМЕХ И ЦЕЛИ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА СДЦ

*А. С. Писарчук, С. П. Москвитин*

*Тамбовский государственный технический университет*

При работе современных радиолокационных станций управления воздушным движением различного назначения полезный радиолокационный сигнал, несущий информацию об объекте наблюдения, принимается РЛС вместе с различными помехами [1 – 3]. Наиболее распространенным видом помех для РЛС являются пассивные помехи. Улучшение качества радиолокационного наблюдения на фоне пассивных помех достигается, главным образом, за счет применения

устройств селекции движущихся целей (СДЦ). Основной характеристикой пассивных помех служит их спектральная плотность и ее необходимая полоса пропускания [1, 4].

$$S(f) = S_0 e^{-f^2/2\Delta f_{\text{по}}^2}; \Delta f_{\text{по}} = 0,5\Delta f_{\text{п}}. \quad (1)$$

К показателям качества СДЦ относятся коэффициенты подавления и качества.

Коэффициент подавления для однократной ЧПК [1, 5, 6]:

$$K_{\text{п1}} = 0,5 \left[ 1 - \exp(-2\pi^2 T_{\text{п}}^2 \Delta f_{\text{по}}^2) \right]^{-1}; \quad (2)$$

для двукратной ЧПК

$$K_{\text{п2}} = 0,5 \left[ 3 + \exp(-8\pi^2 T_{\text{п}}^2 \Delta f_{\text{по}}^2) - 4 \exp(-2\pi^2 T_{\text{п}}^2 \Delta f_{\text{по}}^2) \right]^{-1}. \quad (3)$$

Коэффициент качества определяется выражением

$$K_{\text{к}} = \frac{(P_{\text{с}}/P_{\text{п}})_{\text{ввых}}}{(P_{\text{с}}/P_{\text{п}})_{\text{вх}}} = K_{\text{п}} K_{\text{с}}, \quad (3)$$

где  $K_{\text{с}} = \frac{P_{\text{сввых}}}{P_{\text{свх}}}$  – коэффициент передачи сигнала. Для однократной ЧПК

$$K_{\text{с1}} = 2 |\sin(\pi f_{\text{д}} T_{\text{п}})|, \quad f_{\text{д}} = \frac{2V_{\text{п}}}{\lambda}. \quad (4)$$

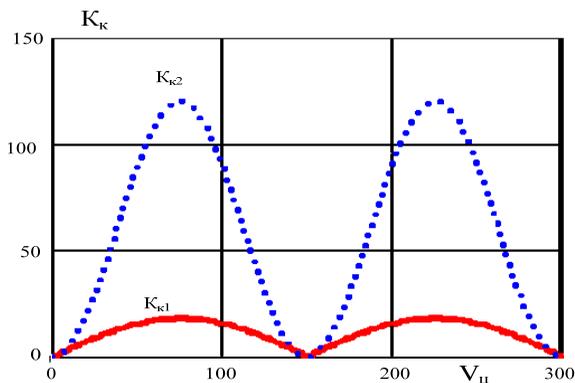
Для двукратной ЧПК

$$K_{\text{с2}} = 4 \sin^2(\pi f_{\text{д}} T_{\text{п}}). \quad (5)$$

Коэффициент качества учитывает и ослабление пассивных помех в фильтре СДЦ и средний выигрыш фильтра СДЦ. Коэффициент улучшения является, таким образом, показателем отклика фильтра СДЦ на сигналы пассивных помех по отношению к усредненному отклику на сигналы от целей [1 – 3]. Исходя из назначения систем СДЦ, они должны: во-первых, подавлять (компенсировать) пассивные помехи; во-вторых, выделять (пропускать) полезные сигналы. Поэтому эффективность работы системы должна оцениваться качеством прохождения через нее полезного сигнала и качеством подавления в ней пассивных помех.

Таким образом, качество работы высокоэффективных систем СДЦ определяется отношением сигнала к собственным шумам приемника и использования различных схем фильтрации. В этом случае имеется возможность связать отношение сигнал-шум с вероятностями

правильного обнаружения и ложной тревоги. Очевидно, что соотношение определяет максимально достижимое значение коэффициента улучшения.



**Рис. 2. Зависимость коэффициента качества от скорости цели для однократной и двукратной ЧПК**

### Библиографический список

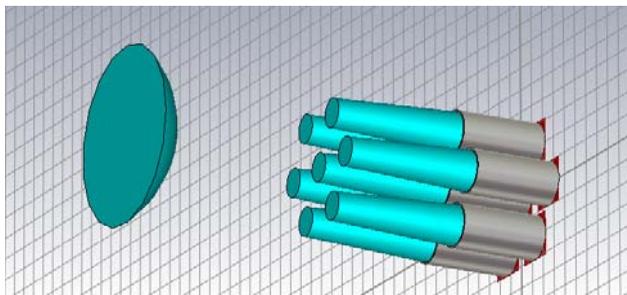
1. Пудовкин, А. П. Основы теории антенн : учеб. пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, А. А. Иванков. – Тамбов : ТГТУ, 2011. – 92 с.
2. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
3. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.
4. Synthesis of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation / A. P. Pudovkin, Yu N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.
5. Панасюк, Ю. Н. Устройства сверхвысоких частот : учеб. пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : ТГТУ, 2015. – 80 с.
6. Панасюк, Ю. Н. Основы автоматизации проектирования устройств СВЧ и антенн [Электронный ресурс, мультимедиа] : учеб. пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 270 с.

# АНАЛИЗ ЛИНЗОВОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КРУПНОАПЕРТУРНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ДЛЯ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

*А. А. Попов, Д. Ю. Рябов, О. А. Белоусов*

*Тамбовский государственный технический университет*

В настоящее время развитие систем спутниковой связи (ССС) стремительно набирает обороты, изучаются многочисленные проблемы работы спутниковых систем, находятся пути их решения. Важной частью ССС являются крупноапертурные излучатели (КАИ), которые могут решить проблемы зоны покрытия спутником, пропускной способности и др. Для этого нужно проанализировать способности и произвести моделирование диэлектрического линзового крупноапертурного излучателя. В качестве оптического устройства (рефлектора) используем диэлектрическую линзу, а в роли облучателя диэлектрическую стержневую антенну.[1]



**Рис. 1. Трехмерная модель линзового диэлектрического КАИ**

Диаграмма направленности диэлектрической стержневой антенны определяется

$$F(\theta, \varphi) = F_1^{e,h}(\theta, \varphi)F_c(\theta),$$

где  $F_1^{e,h}(\theta, \varphi)$  – диаграмма направленности элементарного излучателя антенны в плоскостях  $E$  и  $H$ ;  $F_c(\theta)$  – множитель системы.

Множитель системы:

$$F_c(\theta) = \left| \frac{\sin \psi}{\psi} \right|,$$
$$\psi = \frac{\pi L}{\lambda} (\cos \theta - \gamma).$$

В плоскости  $E$ :

$$F_1^e(\theta) = J_0(ka \sin \theta) \cos \theta.$$

В плоскости  $H$ :

$$F_1^h(\theta) = J_0(ka \sin \theta),$$

где  $J_0$  – функция Бесселя нулевого порядка от аргумента  $ka \sin \theta$ ;  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  – волновое число свободного пространства;  $a$  – радиус поперечного сечения [2, 3].

Диаграмма направленности данного КАИ будет определяться в первую очередь диаграммой направленности облучателя, а также свойствами линзы

$$F_{\text{КАИ}} = F_{\text{обл}}(\psi) C_1(\psi) C_2(\psi) C_3(\psi) F_7(\psi),$$

где  $F_7(\psi)$  – нормированный дифракционный множитель, который определяется выражением:

$$F_7(\psi) = \frac{1}{7} \frac{\sin\left(\frac{7}{2}(kd_p \sin \psi)\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}(kd_p \sin \psi)\right)}.$$

Коэффициенты  $C_1(\psi) C_2(\psi) C_3(\psi)$  обязаны перераспределению мощности в раскрые линзы из-за рефракции, отражения от поверхности линзы и потерь в линзе [2]

$$C_1(\psi) = \frac{(n \cos \psi - 1)^{3/2}}{\sqrt{n - \cos \psi}},$$

$$C_2(\psi) = \sqrt{1 - |\Gamma(\psi)|^2},$$

где  $\Gamma$  – коэффициент отражения от освещенной поверхности линзы.

$$\Gamma(\psi) = \frac{n^2 \cos \psi - \sqrt{n^2 - (\sin \psi)^2}}{n^2 \cos \psi + \sqrt{n^2 - (\sin \psi)^2}},$$

$$C_3(\psi) = e^{-\pi t \operatorname{tg}(\delta) \frac{t}{\lambda}},$$

где  $\operatorname{tg}(\delta)$  – тангенс угла потерь в диэлектрике;  $t$  – текущая толщина линзы, соответствующая направлению  $\psi$  падения волны на линзу [3].

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что линзовый диэлектрический КАИ обладает острой диаграммой направ-

ленности, а также высоким коэффициентом усиления. Таким образом анализ данного КАИ показывает, что он обладает качествами для применения в космическом сегменте спутниковой связи.

### Библиографический список

1. **Зелкин, Е. Г.** Линзовые антенны / Е. Г. Зелкин, Р. Л. Петрова. – М. : Сов. радио, 1974. – 280 с.
2. **Применение** алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762. – DOI: 10.15827/0236-235X.031
3. **Muromtsev, D. Yu.** Intelligent Sensor in Control Systems for Objects with Changing Thermophysical Properties / О. А. Belousov, D. Yu. Muromtsev, М. Р. Belyaev // Journal of Physics: Conference Series. – International Scientific and Technical Conference on Metrology, Standardization, Quality: Theory and Practice, MSQ 2017. – Omsk, April 2018. – V. 998, Is. 1.

*Работа выполнена в центре коллективного пользования «Радиоэлектроника и связь» с использованием оборудования «ОБЗОР-804»*

## ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА РАБОТЫ АЛГОРИТМОВ УГЛОМЕРНОГО КАНАЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРЕТИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

*А. И. Рогачев, Ю. Н. Панасюк*

*Тамбовский государственный технический университет*

Одной из основных задач системы автоматизированного управления воздушным движением (АС УВД) является обеспечение необходимого уровня безопасности воздушного движения. Эта задача решается на основе строгого выполнения правил управления воздушным движением диспетчерским составом аэропорта (центра управления полетами) и правил полетов летным персоналом, точного выдерживания экипажами заданных навигационных параметров на всех этапах полета, надежной и качественной работой средств АС УВД и навигации. Риск критического сближения конфликтующих воздушных судов ВС будет определяться зависимостью вида [1 – 4]

$$Q_{\text{пкс}} = F(X, Y, P_{\text{дисп}}), \quad (1)$$

где  $X$  – ошибки оценки параметров движения ВС;  $Y$  – внешние факторы (интенсивность воздушного движения, структура зоны, летно-

технические характеристики ВС);  $P_{\text{дисп}}$  – вероятность правильных действий диспетчера после выдачи предупреждения о конфликте.

Логика ПКС фиксирует конфликт в том случае, если

$$r_3 \in R_{30} = R_{\text{к0}} u R_{\text{доп}}, \quad (2)$$

где  $R_{30}$  – область, определяющая формируемый ПКС защитный объем ВС;  $R_{\text{к0}}$  – область критического сближения;  $R_{\text{доп}}$  – дополнительная область, наличие которой вызвано ошибками в оценке взаимного положения целей.

В соответствии с требованиями по производству полетов принято, что вероятность нарушения безопасности полетов должна быть  $P_{\text{нбп}} \leq 10^{-6}$ . Область безопасности летательного аппарата зависит от точности измерения фазовых координат (дальность, угловые координаты: азимут, курс). Если угловые координаты имеют одинаковую среднеквадратичную ошибку (СКО), то область безопасности представляет собой шар объемом, равным [1, 5, 6]

$$V_{\text{об}} = \frac{4}{3} \pi (6\sigma_x)^3, \quad (3)$$

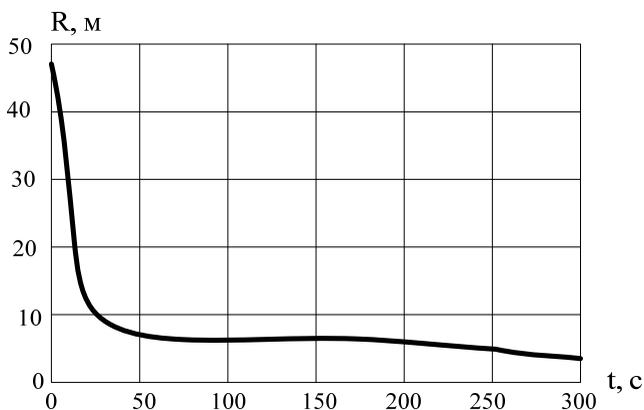
где  $\sigma_x$  – СКО координат ВС.

Полученный объем пространства, занимаемый областью безопасности, имеет радиус

$$R_{\text{об}} = \sqrt[3]{\frac{3\pi V_{\text{об}}}{4}}. \quad (4)$$

Графическое представление данных значений отображено на рис. 1. Легко заметен на графике первоначальный скачок значения радиуса свыше 50 м, после 10-й секунды радиус сократился до 30 м, после 20-й секунды радиус сократился до 10 м, и более не превышал 5 м. Данные значения обеспечили для моделируемого ВС вероятность возникновения нарушения безопасности полетов только при сближении на расстоянии менее 10 м.

Таким образом, синтезированный алгоритм сопровождения траекторий воздушных судов, построенный с учетом информации бортовых датчиков измерения кинематических параметров, позволяет значительно улучшить точностные характеристики фильтров слежения. Улучшение точности позволяет более качественно выполнять задачи системы УВД по увеличению пропускной способности при заданном уровне безопасности.



**Рис. 1. Радиус области безопасности**

### **Библиографический список**

1. **Применение** калмановской фильтрации для метода динамических весовых коэффициентов в третичной обработке информации / А. И. Рогачев, А. И. Сустин, Ю. Н. Панасюк и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2019. – Т. 25, № 1. – С. 47 – 52.

2. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

3. **Estimation** of Location Coordinates in the System of Vehicle Control to Ensure Traffic Safety / A. P. Pudovkin, S. N. Danilov, A. V. Ivanov, Yu. N. Panasuk // International Conference on Recent Advanced in Engineering, Technology and Applied Sciens. – USA, Detroit, 2017. – С. 32 – 49.

4. **Иванов, А. В.** Точностные характеристики навигационных комплексов, использующих контроль целостности спутниковых радионавигационных систем для реконфигурации / А. В. Иванов, Д. В. Комраков, С. П. Москвитин // Вестник Тамбовского государственного университета. – 2015. – № 4. – С. 572 – 577.

5. **Synthesis** of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation / A. P. Pudovkin, Yu N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.

6. **Панасюк, Ю. Н.** Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник Тамбовского государственного университета. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 595 – 600.

## АНАЛИЗ МНОГОЛУЧЕВОГО КРУПНОАПЕРТУРНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

*Д. Ю. Рябов, А. А. Попов, О. А. Белоусов*

*Тамбовский государственный технический университет*

Проведем анализ однолучевого и многолучевого крупноапертурного излучателя (КАИ), получим их диаграммы направленности (ДН) и определим основные преимущества многолучевого КАИ по сравнению с однолучевым.

Рассмотрим однолучевой КАИ, который состоит из диэлектрической замедляющей линзы и диэлектрической стержневой антенны. Преимуществом данного КАИ является простота изготовления.

Диаграмма направленности данного КАИ будет определяться в первую очередь диаграммой направленности облучателя, а также свойствами линзы.

Диаграмма направленности облучателя будет определяться по формуле [1, 2]:

$$F_{\text{КАИ}} = F_{\text{обл}}(\psi)C_1(\psi)C_2(\psi)C_3(\psi).$$

Коэффициенты  $C_1(\psi)C_2(\psi)C_3(\psi)$  обязаны перераспределению мощности в раскрыве линзы из-за рефракции, отражения от поверхности линзы и потерь в линзе.

Для замедляющей линзы рефракция влияет на уменьшение амплитуды поля в раскрыве к краям линзы. Количественное изменение амплитудного распределения из-за рефракции определяется следующим выражением:

$$C_1(\psi) = \frac{(n \cos \psi - 1)^{3/2}}{\sqrt{n - \cos \psi}}.$$

Влияние отражения на амплитудное распределение в большей степени зависит от освещенной поверхности линзы и будет определяться по формуле:

$$C_2(\psi) = \sqrt{1 - |\Gamma(\psi)|^2},$$

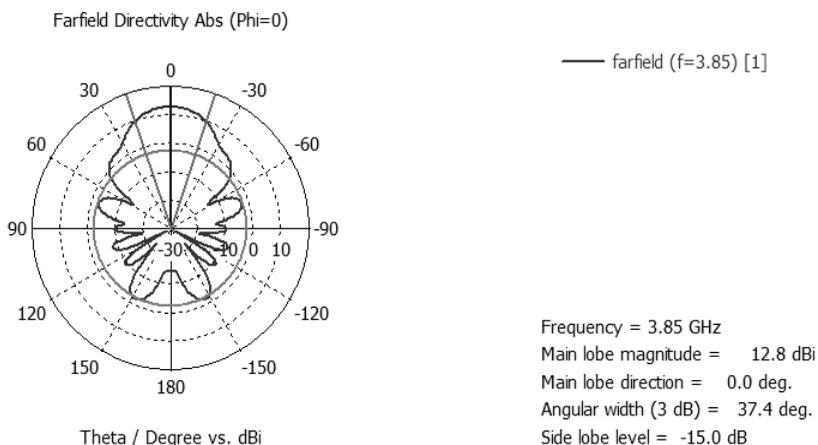
где  $\Gamma$  – коэффициент отражения от освещенной поверхности линзы.

$$\Gamma(\psi) = \frac{n^2 \cos \varphi - \sqrt{n^2 - (\sin \varphi)^2}}{n^2 \cos \varphi + \sqrt{n^2 - (\sin \varphi)^2}},$$

Множитель  $C_3(\psi)$  зависит от влияния активных потерь в линзе на форму амплитудного распределения в раскрыве. Для диэлектрических замедляющих линз график  $C_3(\psi)$  к краям раскрыва больше, так как в центре происходит больше потерь (из-за толщины линзы), чем на краю. Зависимость множителя для диэлектрических линз имеет вид:

$$C_3(\psi) = e^{-\pi n \operatorname{tg}(\delta) \frac{t}{\lambda}},$$

где  $\operatorname{tg}(\delta)$  – тангенс угла потерь в диэлектрике;  $t$  – текущая толщина линзы, соответствующая направлению  $\psi$  падения волны на линзу [2].



**Рис. 1.** ДН в полярной системе координат

На основе электромагнитного моделирования можно сделать вывод, что однолучевой КАИ обладает низким уровнем КУ (рис. 1). Это приводит к необходимости увеличить количество облучателей, однако это неизбежно приведет к увеличению энергетических и вычислительных мощностей и к усложнению изготовления КАИ [3].

Рассмотрим многолучевой облучатель, состоящий из 7 диэлектрических стержневых антенн и диэлектрической линзы. Количество лучей напрямую зависит от количества излучателей, что должно повысить КУ и уменьшить его падение на краях линзы [3, 4].

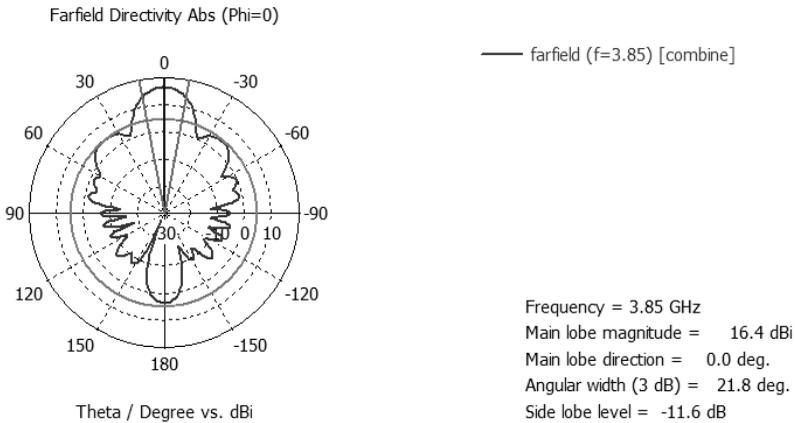
Диаграмма направленности данного КАИ будет определяться по выражению для однолучевого КАИ. Только  $F_{\text{обл}}(\psi)$  будет выглядеть так:

$$F_{\text{обл}}(\psi) = F(\psi)F_7(\psi),$$

где  $F_7(\psi)$  – нормированный дифракционный множитель, который определяется выражением:

$$F_7(\psi) = \frac{1}{7} \frac{\sin\left(\frac{7}{2}(kd_p \sin \psi)\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}(kd_p \sin \psi)\right)}.$$

Моделирование ДН антенны произведем в программном пакете CST Studio Suite.



**Рис. 2.** ДН многолучевого КАИ в полярной системе координат

На основе электромагнитного моделирования можно сделать вывод, что многолучевой КАИ обладает более острой диаграммой направленности, а также большим коэффициентом усиления по сравнению с однолучевым КАИ. Поэтому рациональнее использовать для создания антенных решеток многолучевой КАИ.

### Библиографический список

1. **Пономарев, Л. И.** Бортовые цифровые многолучевые антенные решетки для систем спутниковой связи / Л. И. Пономарев, В. А. Вечтомов, А. С. Милосердов ; под ред. Л. И. Пономарева. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – 197 [3] с.

2. **Применение** алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антен-

ны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762 – DOI: 10.15827/0236-235X.031

3. **Muromtsev, D. Yu.** Intelligent Sensor in Control Systems for Objects with Changing Thermophysical Properties / О. А. Belousov, D. Yu. Muromtsev, M. P. Belyaev // Journal of Physics: Conference Series. – International Scientific and Technical Conference on Metrology, Standardization, Quality: Theory and Practice, MSQ 2017. – Omsk, April 2018. – V. 998, Is. 1.

*Работа выполнена в центре коллективного пользования «Радиоэлектроника и связь» с использованием оборудования «ОБЗОР-804»*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ИЗМЕРИТЕЛЯ ДАЛЬНОСТИ В ПАРКОВОЧНОЙ СИСТЕМЕ**

***Р. А. Сарычев, Д. А. Сторожев, Ю. Н. Панасюк***

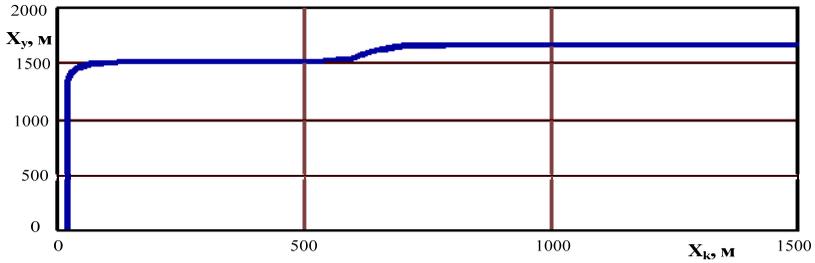
*Тамбовский государственный технический университет*

Применение классических алгоритмов аналого-дискретной фильтрации, показатели точности и устойчивости которых существенно зависят от соответствия условий функционирования, положенным в основу синтеза их моделей, не всегда обеспечивает требуемую точность и устойчивость при сопровождении маневрирующей цели [1 – 3].

Зачастую в радиолокации важно не только определение пространственных координат объекта, таких как дальность, угол места, азимут, но также важно измерение скорости, с которой движется обнаруживаемый объект [4 – 6]. Сравним системы отдельного и совместного измерения дальности до объекта и скорости его перемещения, путем оценивания влияния добавления к измерению дальности дополнительного параметра – скорости.

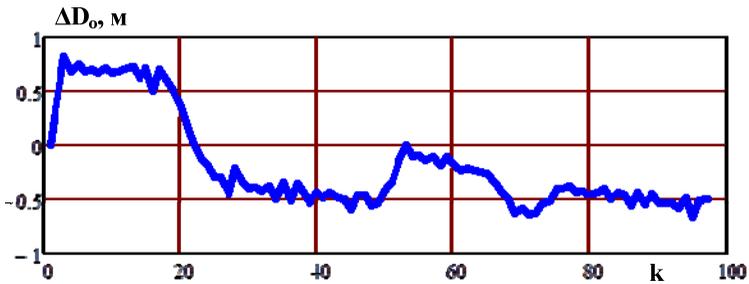
Математическая модель траектории движения объекта показана на рис. 1.

Таким образом, анализ двух рассмотренных систем позволяет сделать вывод, что система оценки дальности в системе совместного измерения дальности и скорости имеет более высокие точностные характеристики в отличие от системы только измерения дальности.



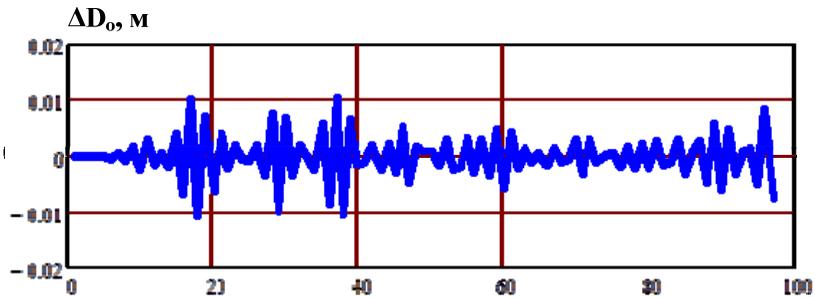
**Рис. 1. Математическая модель движения объекта**

График ошибки оценки дальности в системе только измерения дальности изображен на рис. 2.



**Рис. 2. График ошибки оценки дальности в системе измерения дальности**

График ошибки оценки дальности в системе совместного измерения дальности и скорости изображен на рис. 3.



**Рис. 3. График ошибки оценки дальности в системе совместного измерения дальности и скорости**

## Библиографический список

1. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
2. **Estimation** of Location Coordinates in the System of Vehicle Control to Ensure Traffic Safety / A. P. Pudovkin, S. N. Danilov, A. V. Ivanov, Yu. N. Panasuk // International Conference on Recent Advanced in Engineering, Technology and Applied Sciens. – USA, Detroit, 2017. – С. 32 – 49.
3. **Synthesis** of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.
4. **Synthesis** of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.
5. **Иванов, А. В.** Точностные характеристики навигационных комплексов, использующих контроль целостности спутниковых радионавигационных систем для реконфигурации / А. В. Иванов, Д. В. Комраков, С. П. Москвитин // Вестник Тамбовского государственного университета. – 2015. – № 4. – С. 572 – 577.
6. **Применение** калмановской фильтрации для метода динамических весовых коэффициентов в третичной обработке информации / А. И. Рогачев, А. И. Сустин, Ю. Н. Панасюк и др. // Вестник Тамбовский государственный технический университет. – 2019. – Т. 25, № 1. – С. 47 – 52.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЯ ДАЛЬНОСТИ В ПАРКОВОЧНОЙ СИСТЕМЕ

*Р. А. Сарычев, Д. А. Сторожев, Ю. Н. Панасюк*

*Тамбовский государственный технический университет*

Для оценки характеристик и возможностей локационных систем наблюдения (ЛСН) необходимо исследовать их функционирование в реальных условиях. Реальное движение автомобиля описать и, тем более, смоделировать, основываясь только на его статистических характеристиках довольно сложно [1 – 4]. В то же время существует необходимость проверить работу ЛСН в процессе наблюдения движения реальной цели и, особенно, при ее интенсивном маневрировании.

В качестве входных воздействий часто используются генераторы случайных процессов на основе фильтров различного рода с подачей на вход белого шума. Также используется задание траектории движения цели в виде отрезков прямых и кривых линий, стыки которых сглажены различными методами. Несмотря на то, что при этом удастся симитировать реальный процесс, описать его достаточно точно не представляется возможным [5, 6].

Для отображения в модели необходимо отобрать только те параметры, которые являются в каком-то смысле значимыми для данной модели, направлены на выявление новых свойств моделируемого объекта, позволяющие дополнительно выделить устойчивые информативные признаки и их связи [3, 4]. В данном случае в качестве такого параметра выбрана скорость движения объекта.

По оси  $X$  скорость описывается синусоидальным законом вида

$$V_x = H \sin f, \quad (1)$$

где  $H$  – масштабируемый коэффициент по оси  $X$ ;  $f$  – функциональная зависимость, определяющая траекторию движения объекта.

В свою очередь, скорость по оси  $Y$  описывается косинусоидальным законом вида

$$V_y = G \cos f, \quad (2)$$

где  $G$  – масштабируемый коэффициент по оси  $Y$ .

Более наглядно это можно проиллюстрировать графиком, показанным на рис. 1.

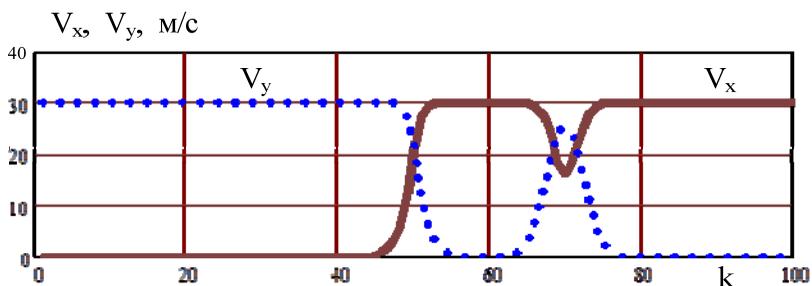
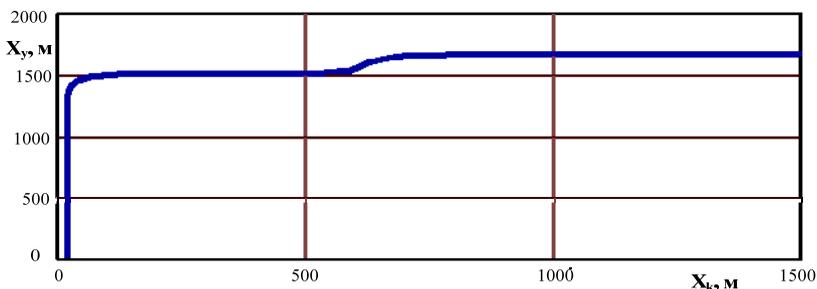


Рис. 1. График изменения скоростей в плоскостях  $X$  и  $Y$

Математическая модель траектории движения объекта показана на рис. 2.



**Рис. 2. Математическая модель движения объекта**

Таким образом, полученная модель позволяет получить довольно полное описание формы реальной траектории движения объекта. В то же время она достаточно проста, допускает возможность ее анализа существующими средствами и ее реализации на ЭВМ.

### **Библиографический список**

1. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
2. **Estimation** of Location Coordinates in the System of Vehicle Control to Ensure Traffic Safety / A. P. Pudovkin, S. N. Danilov, A. V. Ivanov, Yu. N. Panasuk // International Conference on Recent Advanced in Engineering, Technology and Applied Sciens. – USA, Detroit, 2017. – С. 32 – 49.
3. **Synthesis** of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.
4. **Synthesis** of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation / A. P. Pudovkin, Yu N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.
5. **Иванов, А. В.** Точностные характеристики навигационных комплексов, использующих контроль целостности спутниковых радионавигационных систем для реконфигурации / А. В. Иванов, Д. В. Комраков, С. П. Москвитин // Вестник Тамбовского государственного университета. – 2015. – № 4. – С. 572 – 577.
6. **Применение** калмановской фильтрации для метода динамических весовых коэффициентов в третичной обработке информации / А. И. Рогачев, А. И. Сустин, Ю. Н. Панасюк и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2019. – Т. 25, № 1. – С. 47 – 52.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ОГРАНИЧЕНИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ В ФОРМАТЕ «ХУДШИЙ СЛУЧАЙ»

*В. В. Сахарчук, А. В. Печаткин*

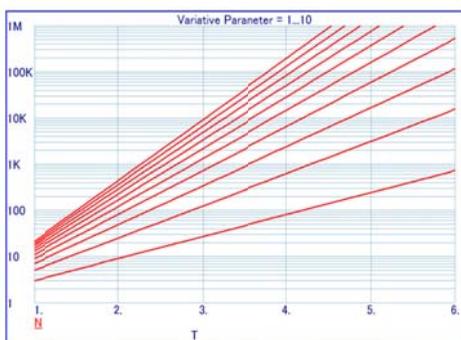
*Рыбинский государственный авиационный технический университет  
имени П. А. Соловьева*

Для эффективного решения вопросов межфазовой коммуникации при проектировании электронных устройств необходимо последовательное формирование единого информационного пространства, одним из основных элементов которого может служить многоуровневый поведенческий сценарий вариативного моделирования. Такой сценарий позволяет оперативно вносить изменения в процесс проектирования и аккумулировать решения с целью последовательной коррекции параметров качества электронных изделий с учетом известных и вероятных отклонений параметров компонентов и технологических процессов уже на стадии виртуальных испытаний. Важными компонентами единого функционально-информационного пространства и основой для проведения виртуальных испытаний являются статистические имитационные модели [1]. Параметрический допуск электронного компонента в САПР может задаваться двумя основными видами отклонений: абсолютным значением *LOT* (*lottery*); относительным значением *DEV* (*deviation*). На рисунке 1 отражены особенности формирования окончательного значения параметра электронного компонента в зависимости от использования вида допуска или их комбинаций.

Для проектировщиков и технологов именно анализ «худшего случая» является наиболее информативным, так как параметры модели принимают максимально возможный разброс, что необходимо для формирования целостного отклика проектируемого устройства при его реализации в серийном производстве. Однако достоверность такого отклика существенно зависит от количества испытаний, который может быть получен аналитически. Даже при использовании одного переменного параметра, например, допуска на номиналы компонентов объем виртуальных испытаний возрастает многократно даже при незначительной сложности анализируемого устройства (рис. 2).

Использование вариативных случайных переменных			Визуальное представление
абсол. <i>LOT</i>	относит. <i>LOT</i>	относит. <i>DEV</i>	
+	-	-	
-	+	-	
-	-	+	
+	-	+	
-	+	+	

**Рис. 1. Формат представления случайных отклонений при реализации виртуальных испытаний**



$$N = (2^P + 1)^T$$

где  $N$  – количество вариантов;

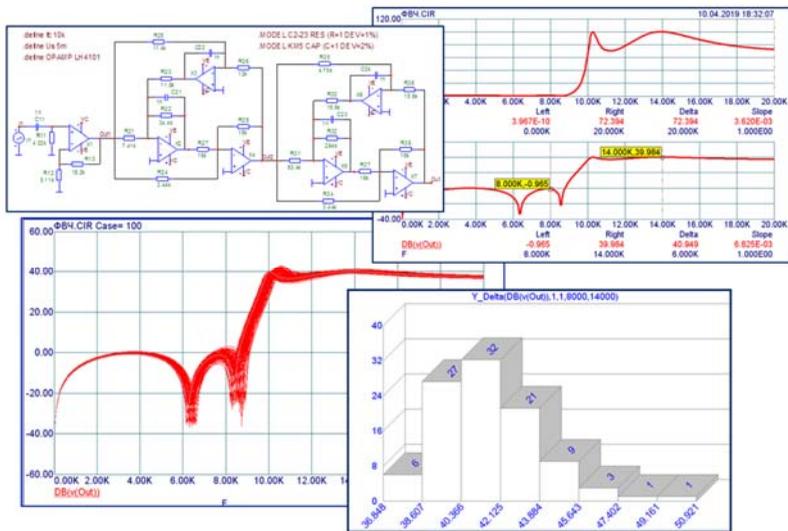
$P$  – количество варьируемых параметров;

$T$  – количество электронных компонентов

	$P = 1$	$P = 2$	$P = 3$
$T = 1$	3	5	9
$T = 2$	9	25	81
$T = 3$	27	125	729
$T = 4$	81	625	6 561
$T = 5$	243	3 125	59 049
$T = 6$	729	15 625	531 441

**Рис. 2. Прогноз требуемого объема виртуальных испытаний для реализации сценария «Худший случай»**

Целесообразность использования формата «Худший случай» показана на примере виртуальных испытаний многокаскадного активно-го эллиптического ФНЧ, имеющего сложную АЧХ в областях пропускания и задерживания, но при этом допускающего значительные отклонения номиналов электронных компонентов благодаря наличию компенсирующих обратных связей (рис. 3).



**Рис. 3. Сквозное моделирование активного ФНЧ по сценарию «Худший случай»**

### Библиографический список

1. Печаткин, А. В. Изменение подхода к использованию коррелированных и некоррелированных допусков номиналов электрорадиокомпонентов в поведенческих моделях электронных средств в процессах автоматизированного схемотехнического проектирования / А. Т. Кизимов, А. В. Печаткин, А. Н. Смирнов // Вестник РГАТУ имени П. А. Соловьева. – Рыбинск, 2015. – № 2(32). – С. 158 – 165.

## ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГЕТЕРОПЕРЕХОДА n-SiC/p-Si

*В. Ю. Семенов, И. А. Черноиваненко*

*Воронежский государственный технический университет*

Карбид кремния (карборунд, SiC) является одним из старейших полупроводниковых материалов. Благодаря высоким физическим и химическим свойствам, карбид кремния не раз привлекал внимание специалистов. SiC нашел применение в оптике, силовой и СВЧ-электронике [1]. Однако сложность изготовления карборунда, а также успехи в развитии других полупроводников привели к тому, что разработка карбидокремниевых приборов была серьезно замедлена. Тем не менее карбид кремния и многочисленные структуры на его основе до сих пор представляют интерес для электронной промышленности. Отдельного внимания заслуживают гетеропереходы SiC/Si. В данной статье с целью популяризации карбидокремниевых структур в производстве рассмотрены основные характеристики и сферы применения гетероперехода между карборундом *n*-типа и кремнием *p*-типа.

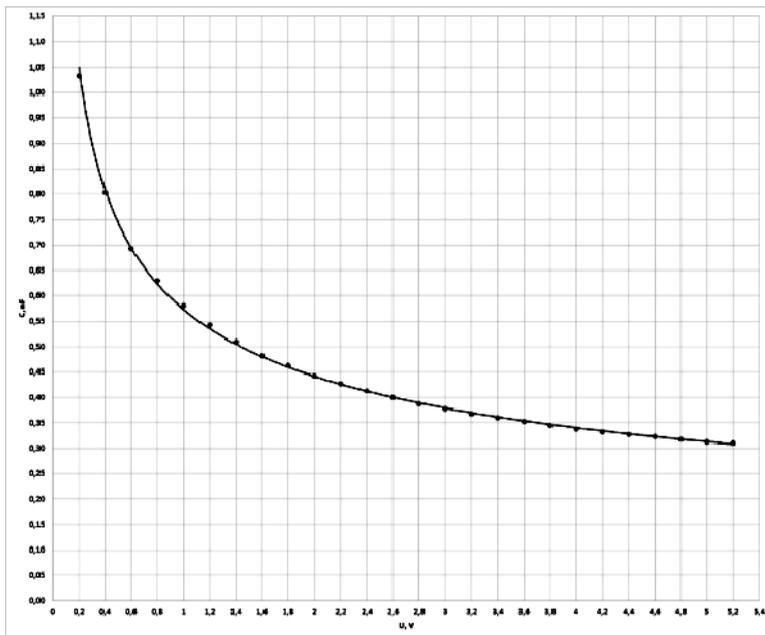


Рис. 1. ВФХ гетероперехода n-SiC/p-Si

Вольт-фарадная и вольт-амперная характеристики являются основными методами изучения электрофизических свойств полупроводников. При обратном смещении ВФХ позволяет произвести измерение барьерной емкости р-п-перехода, описывающей область некомпенсированных примесных ионов (область пространственного заряда). На рис. 1 представлена ВФХ гетероперехода n-SiC/p-Si, полученная авторами данной статьи в ФГБОУ ВО «ВГУИТ». Преобразование функции барьерной емкости к виду  $C^{-2}(V)$  позволяет рассчитать внешнюю контактную разность потенциалов, приблизительно равную 0,6 эВ (рис. 2); полученная авторами разность практически соответствует приведенному в работе [2] значению 0,67 эВ. Из той же работы [2] была взята ВАХ (рис. 3). Как видно из графика, гетеропереход n-SiC/p-Si показал превосходные блокировочные качества без явного пробоя до 200 В, когда плотность тока была равна 1,3 мА/см<sup>2</sup>.

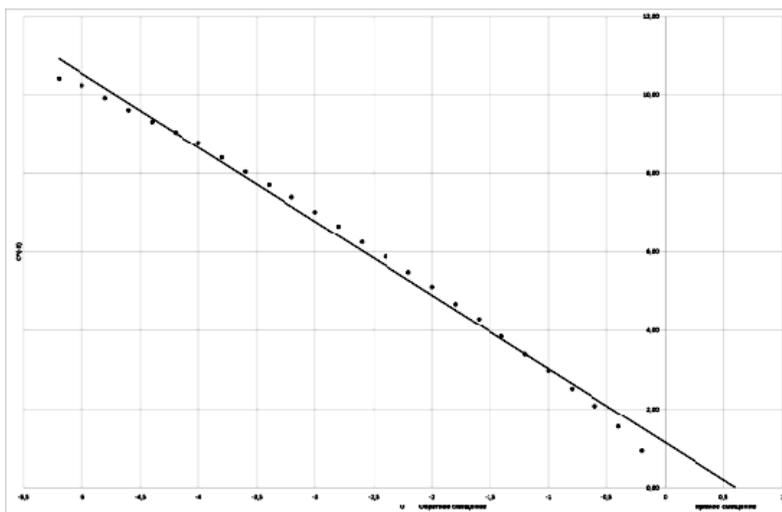


Рис. 2. Обратная барьерная емкость гетероперехода

Плотность прямого тока подчиняется следующему соотношению:

$$J = J_0 \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right),$$

где  $J_0 = 0,1$  мкА/см<sup>2</sup>, коэффициент идеальности  $n = 1,2$ . Коэффициент идеальности 1,2 указывает на то, что в переходе преобладает диффузия с элементами рекомбинации основных носителей заряда.

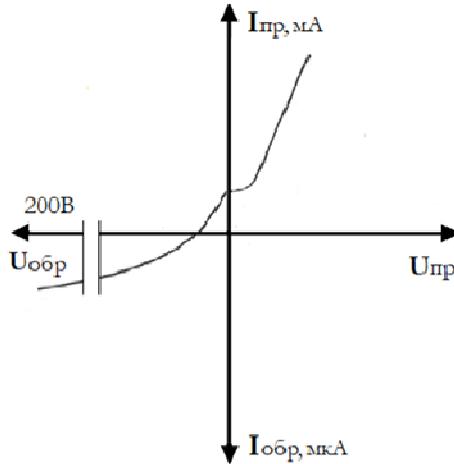


Рис. 3. ВАХ гетероперехода n-SiC/p-Si

Таким образом, гетеропереход n-SiC/p-Si представляет интерес, прежде всего, как основа надежных полупроводниковых диодов. Широкое применение карбидокремниевых p-n-структур в отечественной электронике позволило бы заметно удешевить производство некоторых устройств при сохранении высоких стандартов качества.

### Библиографический список

1. **Лебедев, А. А.** Вечнозеленый полупроводник / А. А. Лебедев // Химия и жизнь. – 2006. – № 4. – С. 14 – 19.
2. **Phillip Tanner, Sima Dimitrijević, H. Barry Harrison.** Current Mechanisms in n-SiC/p-Si Heterojunctions // Processing of the 2008 Conference on Optoelectronic and Microelectronic Materials and Devices (COMMAD'08). P. 40 – 43. – 978-1-4244-2717-8/08/\$25.00 © 2008 IEEE.
3. **Солдатенко, С. А.** Субструктура эпитаксиальной пленки в-SiC, синтезированной пиролизом метана на (111)Si методом ИФО / С. А. Солдатенко, В. О. Кузьмина // ФАГРАН-2018. Физико-химические процессы в конденсированных средах и на межфазных границах : VIII Всерос. конф. с международным участием (8 – 11 октября 2018 г.). – С. 168 – 175.
4. **Zhuravlev D. V., Mushta A. I.** Efficient of Frequency Transformation on Mos Transistors with a Built-in Channel under Intensively Handicapped Radioreception // Russian Microelectronics. – 2016. – Т. 45, № 7. – С. 478 – 483.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ УЗКОПОЛОСНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ NB-IOT

*О. И. Совкова, Д. В. Закальский, Д. М. Егоров*

*Дальневосточный федеральный университет*

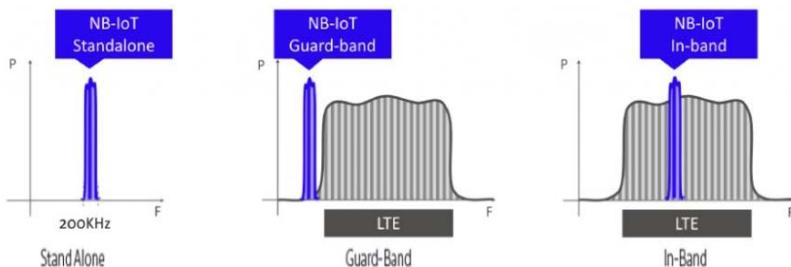
Интернет вещей или IoT – это прогрессивный сектор информационных технологий, который с каждым годом становится все более весомым на рынке. Однако распространение IoT может замедлиться в связи с недостаточной пропускной способностью сетей. Одним из способов повышения производительности IoT может быть протокол NB-IoT, который использует потенциал современных сотовых сетей.

Стандарт NB-IoT позволяет обслуживать до десяти тысяч устройств в зоне действия одной базовой станции. Он оптимизирован для приложений, которым необходимо передавать небольшие объемы данных в течение длительных периодов времени. Поскольку NB-IoT работает в лицензированном спектре (в тестовом режиме в 20 городах России используются частотные диапазоны от 700 до 1800 МГц), то это обеспечивает безопасность и надежность, предоставляя гарантированное качество обслуживания.

Технология NB-IoT может быть развернута на базе 2G, 3G, 4G. В стандарте в качестве предпочтительной частоты для приложений IoT с хорошим покрытием указана частота 2 ГГц. По мнению разработчиков, NB-IoT будет разворачиваться, прежде всего, в субгигагерцовых частотных диапазонах (B20, B8), чтобы обеспечить наилучшее покрытие.

NB-IoT поддерживает следующие режимы развертывания (рис. 1):

- автономное развертывание: использование любых доступных частот, например, реорганизация спектра GSM;
- работа в защитной полосе на базовых станциях LTE: использование частот защитных блоков LTE;
- внутриполосная работа: на несущей частоте LTE.



**Рис. 1. Разные типы развертывания NB-IoT**

Наиболее распространенным является внутрисполосный. Он широко используется в Европе, где сети с NB-IoT in-band развернуты телекоммуникационными компаниями Vodafone, Deutsche Telekom, Telecom Italia Mobile и другими. Полоса частот составляет 180 кГц для внутрисполосного и 200 кГц для автономного развертывания. При условии передачи данных, через стандарт LTE пиковая скорость нисходящего потока равна 250 кбит/с. Также к достоинствам NB-IoT относится гибкое управление энергопотреблением устройств (вплоть до 10 лет в сети от батареи емкостью 5 Вт·ч). NB-IoT лучше всего работает в сложных городских районах. Производительность сети будет избыточной в пригородных или сельских районах.

Нужно рассказать и о существовании конкурирующих стандартов – это LoRaWAN, Sigfox, Стриж, Вавиот и пр. Они используют нелицензируемые частотные диапазоны и тоже внедряются российскими компаниями. Поскольку NB-IoT работает в лицензированном спектре частот, устройства должны синхронизироваться с сетью относительно часто. Это, в свою очередь, расходует батарею. Однако средняя скорость передачи данных в сетях NB-IoT – 200 Кбит/с, в сетях LoRaWAN – от 300 бит/с до 50 Кбит в секунду. NB-IoT обычно работает на более высокой пропускной способности, чем LoRaWAN. Требования к пропускной способности сигнала, обозначенные 3GPP, составляют 180 кГц, а LoRa требуется лишь 125 кГц. LoRa и NB-IoT имеют свои достоинства и недостатки. И все же эти два стандарта могут дружно сосуществовать друг с другом, обслуживая разные сегменты глобальных IoT-рынков.

Из отличительных особенностей следует отметить, что NB-IoT ориентирован скорее на неподвижные (стационарные) устройства, так как в этом режиме не поддерживается автоматическое переключение между сотами (handover). Также развитие технологии ускорит переход от классических SIM-карт в пользу программируемых eSIM, поскольку в нашей стране пользоваться технологией eSIM пока запрещено по закону. Кроме того, операторы сотовой связи предлагают свои облачные платформы сбора данных для развертывания сервисов и отказа от классических программных комплексов.

### Библиографический список

1. **Бутусов, А.** LoRaWAN против NB-IoT: сравнение стандартов. 04.09.2017. – URL : <https://iot.ru/promyshlennost/lorawan-protiv-nb-iot-sravnenie-standartov>.
2. **NB-IoT DEPLOYMENT GUIDE** to Basic Feature set Requirements, 2018. – 35.

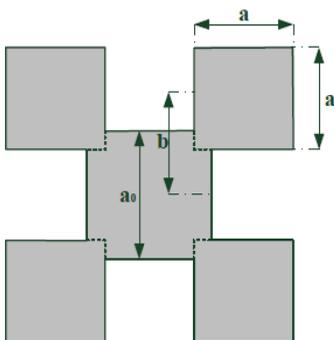
# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРА ПЕРИФЕРИЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА УСИЛЕНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ КВАДРАТНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

*М. М. Стрельцова*

*Дальневосточный федеральный университет*

Актуальной задачей для теории фрактальных антенн [1, 2] является возможность управления характеристиками антенны, а также получение строгих зависимостей, позволяющих изменять коэффициент усиления посредством изменения геометрических параметров самой антенны.

Исследуемая антенна – фрактальная микрополосковая антенна на основе квадратных излучателей [3]. В качестве геометрических параметров, обеспечивающих управление коэффициентом усиления, выбраны отношение размера периферийных элементов к размеру центрального элемента  $a/a_0$  (коэффициент подобия), а также расстояние между центральным и периферийными элементами  $b/b_0$  (рис. 1).



**Рис. 1. Размеры фрактальной антенны:**

$a_0$  – размер центрального элемента, рассчитанный относительно резонансной частоты

Для частоты  $f_1 = 3,6$  ГГц, диэлектрика FR4 толщиной ( $\epsilon = 4,4$ ), размер элемента составляет  $a_0 = 21$  мм. Соотношение  $a/a_0$  варьируется в диапазоне  $0,7 \dots 1,2$ . При уменьшении размера периферийных элементов меньше  $0,7$  их влияние на диаграмму направленности перестает быть значимым. При превышении соотношением  $a/a_0$  величины  $1,2$  зависимость перестает быть значимой.

Результаты расчета коэффициента усиления для трех резонансных частот исследуемой антенны при изменении соотношения  $a/a_0$  (при  $b/b_0 = 1$ ) приведены в табл. 1.

### 1. Зависимость коэффициента усиления от размера периферийных элементов

$a$ , мм	$a/a_0$	$K_{y1}$ , дБ	$K_{y2}$ , дБ	$K_{y3}$ , дБ
14,7	0,7	7,74	2,593	4,01
16,8	0,8	7,16	3,46	2,49
18,9	0,9	6,5	2,14	2,57
21	1	5,976	1,845	3,107
23,1	1,1	5,32	0,47	2,42
25,2	1,2	5	-0,58	1,83

$K_{y1}$ ,  $K_{y2}$ ,  $K_{y3}$  – коэффициенты усиления на первой, второй, третьей резонансной частоте соответственно.

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что коэффициент усиления принимает большие значения при уменьшении размеров периферийных элементов. Данный результат можно применить для повышения коэффициента усиления изменением соотношения  $a/a_0$ .

### Библиографический список

1. **Потапов, А. А.** Фракталы в радиофизике и радиолокации / А. А. Потапов. – М. : Логос, 2002. – 664 с.
2. **Системные** принципы и элементная база фрактальной радиоэлектроники. Ч. 1. Этапы становления и состояние / А. А. Потапов, А. Х. Гильмутдинов, П. А. Ушаков // Радиотехника и электроника. – 2008. – Т. 53, № 9. – С. 1033 – 1080.
3. **Микрополосковая** фрактальная антенна минковского s-диапазона / А. А. Ахумян, Н. Г. Погосян, А. А. Гаспарян, А. А. Кузаян // Известия национальной академии наук РА и государственного инженерного университета Армении. Сер. технических наук. – 2011. – Т. 64, № 2. – С. 207 – 2014.

## ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА РАБОТЫ АЛГОРИТМОВ ДАЛЬНОМЕРНОГО КАНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРЕТИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

*А. И. Сустин, А. П. Пудовкин*

*Тамбовский государственный технический университет*

Одной из основных задач системы УВД является обеспечение безопасности воздушного движения. Эффективность системы предупреждения конфликтной ситуации (ПКС) в зоне УВД зависит не только от параметров системы, но также и от условий функционирования.

Практическую ценность система ПКС имеет в том случае, если при ее использовании риск критического сближения конфликтующих воздушных судов (ВС) не превышает некоторый пороговый уровень  $Q_{\text{пор}}$ , величину которого определяют объективно имеющие место ограничения в надежности функционирования системы [1 – 3].

Логика ПКС фиксирует конфликт в случае, если

$$r_3 \cup R_{30} = R_{\text{кк}} \cup R_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где  $R_{30}$  – область, определяющая формируемый ПКС защитный объем ВС;  $R_{\text{кк}}$  – область критического сближения;  $R_{\text{доп}}$  – дополнительная область, наличие которой вызвано ошибками в оценке взаимного положения целей.

Область безопасности ВС зависит от точности измерения фазовых координат, таких как дальность, азимут, курс [3, 4, 6]. В тех случаях, когда угловые координаты имеют одинаковую среднеквадратичную ошибку (СКО), область безопасности представляет собой шар, объем которого определяется как

$$V_{\text{об}} = \frac{4}{3} \pi (6\sigma_x)^3, \quad (2)$$

где  $\sigma_x$  – СКО координат ВС.

Область зоны ответственности составляет  $V_{30}$ , в ближней зоне зависит от радиуса ближней зоны и высоты полета самолета и составляет  $10^{10} \dots 10^{14} \text{ м}^3$ . Область воздушного объекта в пространстве  $V_{\text{ла}}$  составляет зоны ответственности  $4000 \dots 8000 \text{ м}^3$ .

Вероятность попадания  $i$ -го ВС в область безопасности  $j$ -го ВС и наоборот определяется как

$$P_{nij} = \frac{V_{ла}}{V_{зо} - V_{ла}}. \quad (3)$$

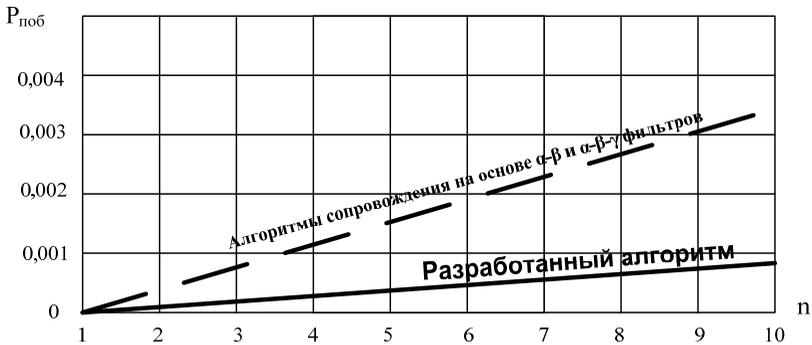
Вероятность непопадания ВС в область безопасности определяется по формуле

$$P_{ни} = \frac{V_{об} - V_{ла}}{V_{об}}. \quad (4)$$

Вероятность пересечения области безопасности для  $n$  ВС, находящихся в районе аэродрома, определяется по формуле

$$P_{поб} = \frac{(n-1)V_{об}}{V_{зо} - (n-1)V_{об}} P_{ни}. \quad (5)$$

Графически зависимость  $P_{поб}$  от  $n$  представлена на рис. 1, на основании которого можно сделать вывод об эффективности разработанного алгоритма в 3...5 раз по сравнению с алгоритмами сопровождения на основе  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  фильтрации модели.



**Рис. 1. Вероятность пересечения областей безопасности**

Таким образом, синтезированный алгоритм сопровождения траекторий воздушных судов, построенный с использованием третичной обработки информации, позволяет значительно улучшить точностные характеристики фильтров слежения. Улучшение точности позволяет качественнее выполнять задачи системы УВД по увеличению пропускной способности при заданном уровне безопасности.

## Библиографический список

1. **Применение** калмановской фильтрации для метода динамических весовых коэффициентов в третичной обработке информации / А. И. Рогачев, А. И. Сустин, Ю. Н. Панасюк и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2019. – Т. 25, № 1. – С. 47 – 52.

2. **Synthesis** of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.

3. **Synthesis** of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.

4. **Иванов, А. В.** Точностные характеристики навигационных комплексов, использующих контроль целостности спутниковых радионавигационных систем для реконфигурации / А. В. Иванов, Д. В. Комраков, С. П. Москвитин // Вестник Тамбовского государственного университета. – 2015. – № 4. – С. 572 – 577.

5. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

6. **Панасюк, Ю. Н.** Обработка радиолокационной информации в радиотехнических системах : учеб. пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – 84 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДАЛЬНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ РЛС ОТ ЕЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

*В. В. Терехов, С. П. Москвитин*

*Тамбовский государственный технический университет*

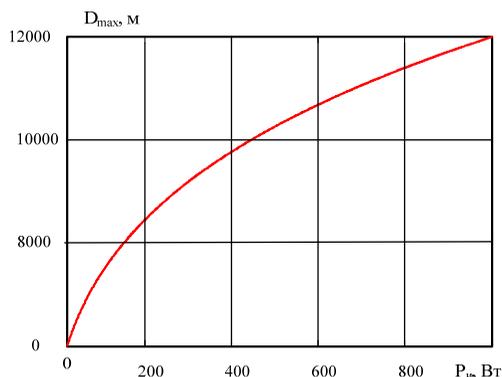
Радиолокационная станция (РЛС) – это система, предназначенная для обнаружения воздушных, морских и наземных объектов, а также способная определить их скорость и геометрические параметры. Одним из главных параметров РЛС является его максимальная дальность обнаружения, которую можно найти из следующего выражения [1 – 3]

$$D_{\max} = 4 \sqrt{\frac{P_{\text{и}} G \sigma S_a}{(4\pi)^2 P_{\text{мин}}}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{и}}$  – импульсная мощность;  $G$  – КНД антенны;  $S_a$  – площадь раскрыва антенны;  $\sigma$  – ЭПО цели;  $P_{\text{мин}}$  – чувствительность приемника.

Уравнение (1) является основным уравнением радиолокации и показывает, что максимальная дальность РЛС в свободном пространстве зависит от параметров станции и отражающих свойств цели. Дальность обнаружения будет тем выше, чем больше излучаемая мощность передатчика, КНД антенны, ЭПО цели и чем меньше значение чувствительности приемника.

На рисунке 1 показано влияние мощности, излучаемой передатчиком на дальность обнаружения.

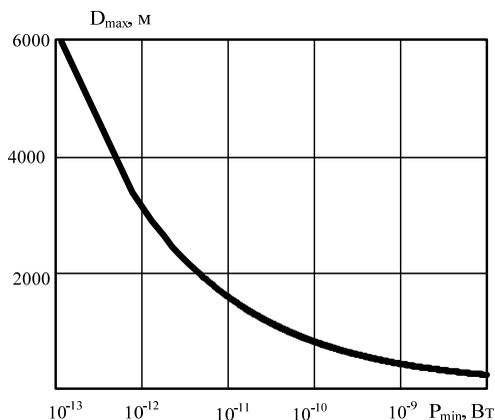


**Рис. 1. Зависимость дальности обнаружения от изменения  $P_{\text{и}}$**

Из рисунка 1 видно, что повышение мощности увеличивает дальность обнаружения, но так как значения находятся под корнем четвертой степени, это влияние не так существенно. Кроме того, увеличение мощности в 2 раза потребует увеличить массогабаритные характеристики передатчика в 16 раз [1, 4, 5].

На рисунке 2 рассмотрено влияние чувствительности РЛС на дальность обнаружения.

Из рисунка 2 видно, что улучшение чувствительности приемника увеличивает дальность РЛС. Для увеличения дальности обнаружения в 2 раза, необходимо улучшить (уменьшить) чувствительность приемника в 16 раз. Чувствительность приемника можно улучшать за счет современных методов обработки сигналов [1, 5, 6].



**Рис. 2. Зависимость дальности обнаружения от изменения  $P_{\min}$**

Таким образом, исследования показали, что для увеличения дальности обнаружения РЛС необходимо улучшать параметры всей системы, а не ее отдельные характеристики.

### Библиографический список

1. **Пудовкин, А. П.** Электромагнитная совместимость и помехозащищенность РЭС [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, Т. И. Чернышова. – Тамбов : ТГТУ, 2013. – 92 с.
2. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
3. **Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters** / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id.032111.
4. **Synthesis of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation** / A. P. Pudovkin, Yu N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.
5. **Панасюк, Ю. Н.** Устройства сверхвысоких частот : учеб. пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : ТГТУ, 2015. – 80 с.
6. **Панасюк, Ю. Н.** Основы автоматизации проектирования устройств СВЧ и антенн [Электронный ресурс, мультимедиа] : учеб. пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 270 с.

# ОЦЕНКА МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ БЕСКОНТАКТНОГО ТЕПЛОВОГО МЕТОДА ПРИ ЧАСТИЧНОМ ПОГЛОЩЕНИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ СРЕДОЙ

*Д. В. Тихонин, А. П. Пудовкин*

*Тамбовский государственный технический университет*

В работах [1, 2] такие характеристики качества металлофторопластовой ленты, как пористость бронзового каркаса, а также толщина прирабочного слоя и концентрация компонент, входящих в этот слой, измеряются с использованием тепловых методов. Температура при этом измеряется с использованием оптико-электронных систем косвенным методом и на параметры теплового излучения оказывают влияние ряд внешних факторов:

- отражающая способность объекта контроля сторонних излучений источников тепла;
- излучательная способность объекта контроля;
- частичное поглощение теплового излучения промежуточной средой.

Погрешность из-за первого фактора может быть значительной при измерении температуры объекта контроля только с высоким значением коэффициента отражения, главным образом, зеркального.

Проведена оценка погрешности из-за частичного поглощения теплового излучения промежуточной средой. При коэффициенте отражения  $R = 0$  использовано аналитическое выражение, связывающее оптико-теплофизические свойства вещества с измеряемыми величинами

$$\Delta T = \frac{qL}{\lambda \left\{ 1 + \frac{8n^2 \sigma_0 T_0^3}{k\lambda} [E_4(0) - E_4(kL)] \right\}}, \quad (1)$$

где  $n$  – средний показатель преломления вещества;  $k$  – средний коэффициент поглощения;  $\sigma_0$  – постоянная Стефана–Больцмана;  $T_0$  – температура;  $E_4(x)$  – интегроэкспоненциальная функция 4-го порядка;  $L$  – толщина лучепрозрачной среды.

При  $R \neq 0$  и  $k \rightarrow 0$  из формулы (1) получено выражение для полного потока энергии:

$$q = \lambda_{\text{изл}} \frac{\Delta T}{L} + 4n^2 \sigma_0 T_0^3 \Delta T, \quad (2)$$

а при  $k = \text{const}$  – выражение

$$\Delta T = \frac{qL}{\lambda + \frac{8}{3} \frac{n^2 \sigma_0 T_0^3}{k}}, \quad (3)$$

где первое слагаемое в (2) определяет поток энергии вследствие теплопроводности, а второе – лучистый поток между двумя абсолютно черными поверхностями, разделенными непоглощающей средой с показателем преломления  $n$ .

Расчеты по (2) и (3) показали, что при длине волн от 2 до 20 микронетров для термоприемников инфракрасного излучения погрешность не превышает 1,2%.

### Библиографический список

1. **Пат.** Российская Федерация, МПК 7 G01B7/06. Способ непрерывного контроля толщины слоев четырехслойного металлофторопластового ленточного материала, пористости его металлического каркаса и концентрации входящих в четвертый слой компонент [Текст] / Банников А. Н., Пудовкин А. П., Чернышова Т. И. – № 2006117923/28 ; заявл. 24.05.2006 ; опубл. 20.12.2007.

2. **Пат.** С1 2182310 РФ, МКИ G01B7/06. Способ бесконтактного неразрушающего контроля толщины и теплофизических свойств изделий / Плужников Ю. В., Колмаков А. В., Пудовкин А. П. – № 2001100142/28 ; заявл. 03.01.2001 ; опубл. 10.05.2002 ; Бюл. № 13.

3. **Тихонин, Д. В.** Использование беспроводной телеизмерительной сети для контроля характеристик качества металлофторопластового ленточного материала / Д. В. Тихонин, А. П. Пудовкин // Вестник научных конференций. 2017. № 11-4(26). Современное общество, Образование и наука : по материалам Междунар. науч.-практ. конф. 30 ноября 2017 г. – Ч. 5. – 140 с.

## ОБЗОР МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ПИК-ФАКТОРА В БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С OFDM-МОДУЛЯЦИЕЙ

*А. С. Туровский*

*Тамбовский государственный технический университет*

Модуляция OFDM (*Orthogonal Frequency-division Multiplexing*) или ортогональное частотное разделение каналов с мультиплексированием используется в современных беспроводных системах связи,

таких как IEEE 802.16 (WiMAX), мобильной связи стандарта LTE, телевидении стандарта DVB-H, -T -T2 и т.п.

При формировании OFDM-сигнала используется последовательно-параллельное преобразование символов сигнала QAM 16...256 и далее обратное преобразования Фурье. Каждый символ сигнального созвездия имеет свою начальную и амплитуду, и фазу. Следствием этого является то, что в результате сложения символов созвездия (под-несущих сигналов) их фазы могут совпасть и вызвать кратковременный скачок амплитуды. Для оценки неравномерности сигнала, учитывающей величину этих выбросов, используют понятие пик-фактора, как отношения максимального значения сигнала к среднему действующему значению.

Поэтому суммарный сигнал OFDM должен усиливаться высоколинейным усилителем, чтобы без искажений передавать форму сигнала, в том числе и максимальные, пиковые значения. Такой режим работы выходного усилителя мощности крайне невыгоден. При такой передаче КПД будет минимальным.

Существует два основных подхода к борьбе с высоким значением пик-фактора в системах с OFDM-модуляцией. Условно их называют искажающие и неискажающие. В данном исследовании был проведен сравнительный анализ существующих методов снижения пик-фактора:

- ограничение и фильтрация Clipping And Filtering (CAF);
- кодирование (Coded);
- селективное отображение Selective Mapping(SLM);
- частичная передача последовательности Partial Transmit Sequence (PTS);
- резервирование тона Tone Reservation (TR);
- инжектирование тона Tone Injection (TI);
- расширение сигнального созвездия Active Constellation Extension (ACE).

Результаты анализа представлены в табл. 1.

Сравнительный анализ показал, что каждый метод снижения пик-фактора имеет достоинства и недостатки. Либо необходимо использовать высокие вычислительные мощности, что впоследствии удорожает конечное устройство, либо метод вносит искажения в сигнал. Таким образом, метод снижения пик-фактора необходимо выбирать исходя из технического задания на проектируемое устройство, учитывая размерность созвездия, условия распространения сигнала, скорость передачи и т.п.

Таблица 1

Методы	Вычислительная сложность	Искажение сигнала	Снижение скорости передачи данных	Увеличение мощности сигнала
CAF	Низкая	Да	Нет	Нет
Coded	Высокая	Нет	Да	Нет
SLM	Высокая	Нет	Да	Нет
PTS	Высокая	Нет	Да	Нет
TR	Средняя	Нет	Да	Да
TI	Средняя	Да	Нет	Нет
ACE	Средняя	Да	Нет	Да

### Библиографический список

1. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
2. **Алгоритм** дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, И. В. Князев // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С 60 – 63.
3. **Estimation** of Location Coordinates in the System of Vehicle Control to Ensure Traffic Safety / A. P. Pudovkin, S. N. Danilov, A. V. Ivanov, Yu. N. Panasuk // International Conference on Recent Advanced in Engineering, Technology and Applied Sciens. – USA, Detroit, 2017. – С. 32 – 49.
4. **Synthesis** of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id.032111.

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН В КОСМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

*С. В. Сапожникова, Д. А. Турищев, А. Р. Лобанов*

*Воронежский государственный технический университет*

За исключением планет и их ближайших окрестностей, большая часть вещества во Вселенной ионизована. Параметры космической плазмы меняются в широких пределах. Через атмосферу Земли без заметного затухания распространяются волны двух основных частотных диапазонов: «радио-окно» соответствует диапазону от ионосферных критических частот.

В космических условиях источник радиоволн и их приемник часто быстро движутся одни относительно другого. В результате эффекта Доплера это приводит к изменению их частоты. Для определения расстояния до пульсаров и при интерпретации результатов радиолокации Солнца и планет необходимо учитывать этот факт.

Возможности радиосвязи с объектами, находящимися в космическом пространстве или на других планетах, разнообразны и связаны с наличием и строением их атмосфер. Для всех планет с атмосферами общая трудность радиосвязи состоит в том, что при входе космического аппарата в плотные слои атмосферы вокруг него создается плотная плазменная оболочка, затрудняющая прохождение радиоволн.

Физика космической плазмы – одно из основных направлений теоретических и экспериментальных исследований. Около 99% материи в Галактике находится в плазменном состоянии.

Скорость радиоволн в пустоте постоянна, но при входе сигнала в атмосферу она изменяется. Для сигналов от разных спутников задержка времени различна. Ошибки распространения радиоволн зависят от состояния атмосферы и высоты спутника над горизонтом.

Условия приема передач, когда независимо от погоды, состояния солнечной активности, времени суток и года, температуры и влажности воздуха, а также других факторов обеспечивается прием программ заранее выбранного передатчика, называют уверенным приемом.

Официальная зона уверенного приема определяется расстоянием прямой видимости передающей антенны до точки установки приемной антенны. При этом исходят из того, что ультракороткие волны (УКВ), на которых ведутся телевизионные передачи, распространяются пря-

молинейно, подобно свету, не огибают земную поверхность и не отражаются ионосферой в противоположность волнам коротковолнового диапазона. Однако при их распространении все-таки имеют место и дифракция, и рефракция радиоволн. Они способствуют распространению радиоволн за пределы прямой видимости.

Помимо этих явлений дальнему распространению радиоволн способствует их рассеяние различными наземными металлическими предметами. В результате рассеяния возникают вторичные излучения сигнала, которые значительно слабее по мощности основного, но их можно принимать.

Область, в пределах которой оказывается возможным уверенный прием телевидения, можно поэтому разбить на две зоны: прямой видимости и полутени. В зоне прямой видимости напряженность электромагнитного поля сигнала достаточно велика, и прием возможен с помощью обычных антенн. В зоне полутени напряженность поля сигнала значительно ниже, чем в зоне прямой видимости, так как в зону полутени проникает лишь небольшая часть энергии сигнала, излученного передающей антенной. Это вынуждает использование в зоне полутени для уверенного приема высокоэффективных антенн, которые отличаются от сравнительно простых большими размерами и значительно более сложной конструкцией.

С уменьшением длины волны явления дифракции ослабевают. При этом увеличивается затухание сигнала в атмосфере за счет поглощения энергии различными посторонними частицами (пыль, снег, дождь, туман) и молекулами воздуха. Поэтому протяженность зоны полутени зависит от длины волны, т. е. от номера частотного канала.

Следует заметить, что границы зоны полутени и границы зоны прямой видимости не являются резкими, а в значительной степени размыты. За границей зоны полутени напряженность поля практически равна нулю, и устойчивый прием неосуществим даже при наличии высокоэффективных антенн.

### **Библиографический список**

1. Zhuravlev, D. V. Efficiency of Frequency Transformation on MOS Transistors with a Built-in Channel under Intensively Handicapped Radioreception / D. V. Zhuravlev, A. I. Mushta // Russian Microelectronics. – 2016. – V. 45, № 7. – P. 478 – 483.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК В ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

*И. В. Шаранов, И. В. Мещеряков*

*Тамбовский государственный технический университет*

Тенденции последних лет развития беспроводных радиосистем, при использовании дециметрового диапазона длин радиоволн, раскрывают широкое развертывание связанных и широковещательных станций, офисных и бытовых беспроводных сетей и всеохватывающий интенсивный переход на цифровое эфирное телевидение. Особенности работы и специфика использования радиочастотного ресурса устройствами этих систем зачастую требуют применения разных типов антенн, среди которых направленные занимают особое место [1 – 3].

Антенная решетка – совокупность дискретных элементов, каждый из которых осуществляет когерентно по отношению к остальным излучение или прием электромагнитных волн. Простейшими элементами служат отдельные, обычно слабонаправленные, антенны (вибраторы, щели, спирали, открытые концы волноводов, рупоры и т.п.) [1, 4, 5]. Диаграмма направленности формируется в результате интерференции волн, излучаемых элементами. Если излучатели идентичны и одинаково ориентированы, то диаграмму можно представить в виде произведения ее элемента на множитель решетки, который имеет смысл диаграммы направленности решетки, образованной изотропными излучателями [4, 6].

Рассмотрим несколько вариантов антенных решеток и выберем самый оптимальный.

Фазированная антенная решетка имеет узкую ширину диаграммы обратного рассеяния, т.е. меньшую или равную  $80^\circ$  ( $\Delta\varphi \leq 80^\circ$ ), где  $\varphi$  – угол азимута, совпадающий с плоскостью расположения решетки антенных переизлучателей в виде открытых концов волноводов или коротких рупорных антенн. Узкая ширина диаграммы обратного рассеяния прототипа обусловлена тем, что антенные переизлучатели прототипа имеют раскрыты, перпендикулярные оси, т.е. совпадающие с углом  $\alpha = 90^\circ$ , отсчитываемым от оси волновода.

Цифровая антенная решетка (антенная решетка с цифровой обработкой сигнала) – антенная решетка с поэлементной обработкой сигналов, в которой сигналы от излучающих элементов подвергаются аналого-цифровому преобразованию с последующей обработкой по определенным алгоритмам.

Пассивная или активная антенная система, представляющая собой совокупность аналого-цифровых (цифро-аналоговых) каналов с общим фазовым центром, в которой формирование диаграммы направленности осуществляется в цифровом виде, без использования фазовращателей.

Цифровые антенные решетки – высокоинформативные приемные системы, способные воспринять всю информацию, содержащуюся в структуре пространственно-временных электромагнитных полей в раскрытой решетке, и практически без потерь трансформировать ее в данные о наличии и параметрах объектов.

Цифровое формирование высокоидентичных частотных фильтров на выходе приемных устройств обеспечивает глубокую компенсацию широкополосных помеховых сигналов. В сочетании с расширением динамического диапазона при накоплении в процессе пространственно-временной обработки это обеспечивает недостижимую ранее помехозащищенность. Максимальная глубина «нулей» диаграммы направленности в направлениях на источники помех в ФАР ограничена малой разрядностью фазовращателей (5...6 бит), в ЦАР же используются АЦП с разрядностью 12...16 бит.

При выполнении приемопередающих модулей ЦАР с программно-конфигурируемой архитектурой в полной мере может быть реализован принцип интегрированной апертуры. В это понятие входит объединение антенных систем и ВЧ-блоков всех типов бортовых радиотехнических средств в единую структуру с минимизацией единиц аппаратуры, а также побочных радиоизлучений. При этом достигается оперативная функционально-ресурсная адаптация архитектуры бортового радиоэлектронного оборудования и существенно возрастает эффективность всего радиоэлектронного комплекса.

Способность ЦАР к многосигнальному приему в широком телесном угле при организации многопозиционных комплексов позволяет преодолеть большинство недостатков, присущих аналогичным традиционным системам с электронной или механической перестройкой узкого приемопередающего луча.

С точки зрения помехоустойчивости рассмотренные выше антенны с равномерным амплитудным и фазовым распределением имеют существенное боковое поле и не являются оптимальными. Кроме того, в реальной ситуации, как правило, имеется один или несколько источников локальной помехи (музыкальная программа, транспортное средство и другая техника), которая может существенно снизить помехоустойчивость такой системы. Поэтому антенная решетка должна быть адаптирована к окружающей среде.

## Библиографический список

1. **Антенны** и устройства СВЧ : учебник / Д. И. Воскресенский, В. Л. Гостюхин, В. М. Максимов, Л. И. Пономарев ; под ред. Д. И. Воскресенского. – 2-е изд. – М. : МАИ, 1993.
2. **Пудовкин, А. П.** Основы теории антенн : учеб. пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, А. А. Иванков. – Тамбов : ТГТУ, 2011. – 92 с.
3. **Панасюк, Ю. Н.** Устройства сверхвысоких частот : учеб. пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : ТГТУ, 2015. – 80 с.
4. **Панасюк, Ю. Н.** Основы автоматизации проектирования устройств СВЧ и антенн [Электронный ресурс, мультимедиа] : учеб. пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 270 с.
5. **Пудовкин, А. П.** Электромагнитная совместимость и помехозащищенность РЭС [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, Т. И. Чернышова. – Тамбов : ТГТУ, 2013. – 92 с.
6. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

*Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента  
Ю. Н. Панасюка*

## ТЕХНОЛОГИЯ xDSL

*П. С. Шишов*

*Тамбовский государственный технический университет*

Любая технология, прежде всего, предусматривает конкретную физическую модель транспортной среды. Одной из перспективных технологий, позволяющей передавать цифровую информацию по медным проводам, является технология DSL (Digital Subscriber Line – цифровая абонентская линия). При использовании технологии DSL (часто используется аббревиатура xDSL, где под буквой «x» понимают одну из возможных подтехнологий, т.е. вариант основной технологии)

не требуется строить новую транспортную сеть, так как используется уже существующая сеть POTS. Именно в этом и заключается основное экономическое преимущество технологии DSL.

Историю возникновения DSL следует отнести к началу 1980-х годов, когда корпорация Bellcore разработала технологию DSL с высокой скоростью передачи данных (high – data – rateDSL – HDSL). Канал HDSL был разработан, чтобы расширить возможности технологии T1 путем замены кодирования с чередованием полярности элементов на основе представления двух битов в одном четвертичном коде (2 binary 1 quaternary – 2B1Q).

Развитие служб сети Internet, для которых требуется высокая пропускная способность (например, видео), породило спрос на соединения с большей пропускной способностью. Наблюдения показывают, что в основном трафик, получаемый из сети Internet, предназначен для конечного пользователя (нисходящий поток данных), и только небольшой процент составляет трафик, который в действительности поставляется самим пользователем (восходящий поток данных). Вследствие этого был разработан канал ADSL (A – Asymmetric – асимметричная цифровая пользовательская линия), используемый в традиционных телефонных сетях общего пользования (PSTN – Public Switched Telephone Network).

В технологии ADSL используется метод, позволяющий одновременно использовать ту же самую телефонную линию и для передачи голосовых сигналов, и для передачи данных, не повышая при этом требований к коммутационному оборудованию телефонной сети PSTN. Чтобы зарезервировать канал POTS с частотами до 4 кГц (в телефонии установлена полоса голоса в 4 кГц), дополнительно используется мультиплексирование с частотным уплотнением каналов (FDM – Frequency – Division Multiplexing). При этом цифровые потоки (data) передаются на частотах свыше 4 кГц (обычно, начиная с 25 кГц).

ADSL – наиболее распространенная технология DSL, поскольку она асимметрична. Это означает, что скорость загрузки данных в компьютер (модем) пользователя выше скорости загрузки данных в удаленный компьютер. Для кодирования данных в технологии ADSL используются методы CAP (Carrierless Amplitude and Phase modulation – амплитудная и фазовая модуляция без несущей). Метод CAP не является стандартизированным методом для канала DSL, а вот ДМТ был стандартизирован институтом ANSI (ANSI T1.413) и международным союзом ИТУ (ITU G.992.1).

VDSL – сверхскоростной канал DSL для передачи данных (Very – high – data – rateDSL) – относительно новая технология, разработанная для повышения доступной скорости передачи данных (вплоть до 52 Мбит/с). В технологии VDSL используются преимущества оптоволоконной связи и выгоды от размещения конечного оборудования ближе к абоненту. Размещая конечное оборудование в офисах и многоквартирных зданиях, можно сократить длину локальной линии связи (т.е. абонентского канала), что позволит увеличить скорость. В технологии VDSL предполагается работа как в асимметричном, так и в симметричном режимах.

G.SHDSL – этот канал был определен в стандарте G.991.2 международного союза ИТУ как высокоскоростная цифровая абонентская линия на одной витой паре проводов. Технология G.SHDSL является симметричной, что позволяет передавать с одинаковой скоростью данные в прямом и реверсном потоках, что очень важно, так как она призвана заменить старые телекоммуникационные технологии, такие как T1, E1, HDSL, HDSL2, канальную технологию DSL (SDSL), ISDN и DSL на основе ISDN (IDSL).

### Библиографический список

1. **Вальтер Горальски.** Технология ADSL и DSL / Вальтер Горальски ; пер. М. Кузьмин. – М. : Изд-во «Лори», 2000. – 296 с.
2. XDSL –технологии последней мили и многое другое. – URL : <http://www.xdsl.ru/articles/aspekt.htm> (дата обращения : 13.04.2019).
3. **Тюрин, И. В.** Вычислительная техника и информационные технологии : учеб. пособие / И. В. Тюрин. – Ростов н/Д : Изд-во «Феникс», 2017. – 426 с.

## Секция 2

# ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СВЯЗИ

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОДАЧИ СЛЯБОВ НА ПРОДОЛЬНУЮ ПОРЕЗКУ

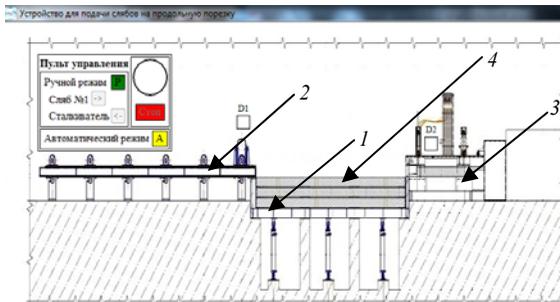
*Р. Р. Абдулвелеева, Д. М. Утямишев*

*Новотроицкий филиал НИТУ «МИСиС»*

Усовершенствование существующих производственных процессов с целью внедрения прогрессивных методов решения тех или иных технологических задач требует четкого представления о ходе самого технологического процесса. Такое представление можно получить в результате разработки имитационной модели. Имитационное моделирование с использованием объектно-ориентированного программирования позволит воспроизвести поведение реальной системы на основе результатов анализа наиболее существенных взаимосвязей между ее элементами.

В качестве средства создания модели была выбрана открытая объектно-ориентированная среда разработки программного обеспечения Lazarus, преимуществом которой является ее кроссплатформенность. Lazarus основан на языке ObjectPascal для компилятора FreePascal.

На рисунке 1 показано окно программы устройства для подачи слябов на продольную порезку. Устройство функционирует с помощью пульта управления.



**Рис. 1. Имитационная модель для подачи слябов:**  
1 – подъемник; 2 – сталкиватель; 3 – ножницы; 4 – слябы

Программа позволяет реализовать автоматический режим управления подачи слябов и ручной режим. Рассмотрим особенности работы программы в этих режимах.

Ручной режим осуществляется нажатием кнопки «Р». Начало работы системы сигнализирует включение звукового сигнала. Сначала поднимается гидравлический подъемник 1 со слябами до уровня сталкователя 2, при этом процесс сопровождается включением датчика D1. Далее, нажатие на кнопку «→» приводит в движение сталкователь, который толкает первый сляб на порезку. Как только сталкователь достигнет ножниц 3, он остановится. В этот момент включается датчик D2 и включается кнопка «←», нажатие на которую возвращает сталкователь 2 в исходное положение. Когда сталкователь 2 достигнет крайнего положения, придет в действие подъемник 1, который поднимет уже второй сляб до уровня сталкователя 2. Включится датчик D1. Далее загорается кнопка «→» и сталкователь 2 толкает второй сляб к ножницам 3, где достигнув конца загорится кнопка «←», а также в этот момент включается датчик D2, которая отведет сталкователь 2 в начальное положение. После этого процедура повторяется и с третьим слябом. Когда сталкователь 2 вернется в исходное положение, подъемник опустится в нулевое положение, прозвучит сигнал окончания процесса и для начала новой загрузки, повторения цикла. Автоматический режим «А» реализует тот же самый алгоритм, но без вмешательства извне.

Предусмотрена кнопка «Стоп», которая останавливает движение устройства, как в ручном так и в автоматическом режимах.

### Библиографический список

1. **Мансуров, К. Т.** Основы программирования в среде Lazarus / К. Т. Мансуров. – 2010. – 772 с.
2. **Ковальчук, Т. В.** Модернизация системы электропривода сталкователя установки межклетьевого охлаждения ЛПЦ-1 АО «Уральская сталь» / Т. В. Ковальчук, К. В. Лицин // Актуальные проблемы в машиностроении. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2018. – Т.5, № 1. – 60 – 65 с.
3. **Лицин, К. В.** Исследование электропривода системы подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок / К. В. Лицин, А. А. Гусев, Т. В. Ковальчук // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – Новочеркасск : Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, 2018. – Т. 61, № 5. – С. 38 – 43.

## СЛЕЖЕНИЕ ЗА БПЛА, КАК ЗА ИСТОЧНИКОМ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

*В. С. Аустов, М. В. Алексеев*

*Тамбовский государственный технический университет*

Коммерческие беспилотные летательные аппараты (БПЛА) могут создавать угрозу общественной безопасности, поскольку могут брать на борт взрывчатые, ядовитые или зажигательные вещества, могут создавать риски для воздушного движения и т.п. Поэтому так важна разработка систем контроля БПЛА. Эффективность мер противодействия с использованием визуального и акустического обнаружения низка. Для успешной работы системам обнаружения необходимо иметь высокую чувствительность, выдавать раннее предупреждение, но не создавать ложных тревог.

Многие задачи, решаемые комплексами БПЛА, требуют линий передачи между БПЛА и наземным комплексом управления (НКУ) [1]. Наиболее распространенная передача информации заключается в непрерывной трансляции изображения по мере его получения в цифровом или аналоговом формате.

Как правило, на борту БПЛА размещаются не менее двух систем связи: аппаратура дуплексной передачи командно-телеметрической информации и симплексная система передачи с борта БПЛА на НКУ [1]. На рисунке 1 показаны возможные варианты реализации систем связи комплексов БПЛА.

Прямая связь между БПЛА и НКУ в диапазоне СВЧ возможна только в пределах прямой видимости. Для повышения надежности на борту устанавливаются приемопередатчики нескольких диапазонов длин волн [2]. Передача телеметрической информации при полетах на большие расстояния может осуществляться с помощью спутниковых систем связи. Оптимальной и наиболее часто используемой является передача напрямую между БПЛА и НКУ. Передача информации с высокой скоростью (десятки и сотни Мбит/с) возможна только в диапазонах частот выше 1 ГГц. Характеристики приемопередатчика могут быть такие, как показано в таблице.

Радиочастотное обнаружение сигналов БПЛА имеет определенные преимущества по сравнению с другими методами, такими как радиолокационное, оптическое и акустическое обнаружение:

– безопасное обнаружение с низкой вероятностью ложных тревог: система не реагирует на птиц, воздушные шары;

- возможно обнаружение еще до того, как БПЛА поднялся в воздух; возможно отслеживание владельца БПЛА по сигналу пульта дистанционного управления;
- пассивное обнаружение сигналов не создает помех дополнительным излучением.

Позиция	Усиление
Мощность передатчика	+30 дБм
Усиление антенны БПЛА	+10 дБ
Отношение сигнал/шум	+22 дБ

Если активные локаторы определяют координаты объекта по отраженному сигналу, пассивная система использует для этого сигналы сторонних источников, которые отражаются от цели или излучаются ею: передатчиков данных, сотовой связи, радиовещания, цифрового ТВ и др.

Эффективная система противодействия должна предупреждать службу безопасности об угрозе прежде, чем БПЛА взлетит. В идеале она должна идентифицировать конкретные БПЛА и указывать точное местоположение операторов для принятия соответствующих мер. Система может использовать радиоканалы БПЛА, которые, как правило, работают на частотах 2,4 ГГц или 5,8 ГГц, отведенных для промышленных научных и медицинских целей, или используют частоты 433 МГц или 4,3 ГГц. Мониторинг этих диапазонов и знание спектров сигналов каждого коммерческого БПЛА является ключом к успеху. РЛС метрового и сантиметрового диапазона не позволяют обнаруживать БПЛА обычных размеров – в частности, квадрокоптеры бытового класса. Здесь необходимо применение радаров миллиметрового диапазона, способных обнаруживать низколетящие цели относительно небольших размеров.

### Библиографический список

1. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
2. **Алгоритм** дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, И. В. Князев // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С 60 – 63.

3. **Estimation** of Location Coordinates in the System of Vehicle Control to Ensure Traffic Safety / A. P. Pudovkin, S. N. Danilov, A. V. Ivanov, Yu. N. Panasuk // International Conference on Recent Advanced in Engineering, Technology and Applied Sciens. – USA, Detroit, 2017. – С. 32 – 49.

4. **Synthesis** of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ЭКСТРАПОЛЯЦИИ С УЧЕТОМ СКОРОСТИ**

*В. И. Амелина, А. Д. Худякова*

*Тамбовский государственный технический университет*

Прогноз поведения управляемых объектов представляет интерес с точки зрения экономии энергоресурсов и повышения безопасности. В качестве примера будем рассматривать движение транспортных средств (ТС).

Для правильной реакции на обстановку на дороге в первую очередь следует учитывать траекторию и прогноз движения ТС [1].

На точность прогноза существенное влияние оказывает как модель относительного движения, на основе которой можно прогнозировать перемещение, так и модель первичного измерителя [2].

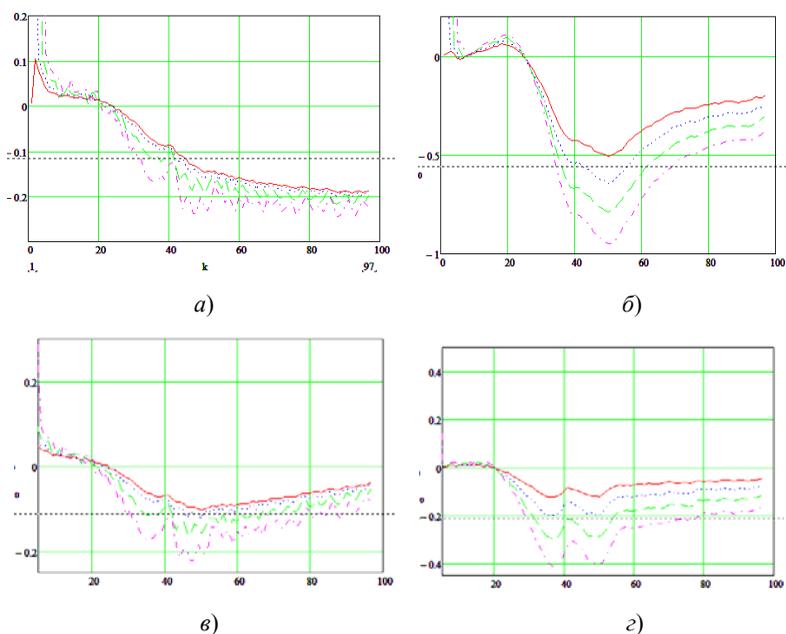
Для анализа влияния моделей для фильтра и экстраполятора были исследованы: двухмерная модель равномерного движения (2Р) и двухмерная модель на основе учета волнового тренда (2ВТ). На основе этих данных было проведено исследование влияния наличия измерителя скорости относительного перемещения ТС на точность прогноза [3]. Результаты этих исследований позволяют сформировать состав первичных измерителей такой информационно-измерительной системы.

Точность прогноза для каждой модели (2ВР и 2ВТ) показана в таблице в свою очередь для двух моделей первичного измерителя: с использованием канала измерения относительной скорости и без него. На рисунке 1 приведены графики зависимости прогноза дальности до соседнего ТС от времени для моделей [4].

Анализ алгоритмов прогнозирования движения автомобилей выявил, что точность прогноза увеличивается со временем для всех моделей, а учитывая скорость, можно уменьшить ошибку прогноза [5].

## 1. Результаты анализа 2Р и 2ВТ

№	Двухмерная модель равномерного движения		Двухмерная модель на основе учета волнового тренда	
	Ошибка прогноза	Ошибка прогноза с учетом скорости	Ошибка прогноза	Ошибка прогноза с учетом скорости
1	0,239	0,111	0,059	0,057
2	0,302	0,118	0,096	0,067
3	0,379	0,139	0,151	0,093
4	0,749	0,455	0,221	0,136



**Рис. 1. Графики зависимости прогноза дальности от времени для 2Р (а) 2ВТ (б) 2Р с учетом скорости (в) 2ВТ с учетом скорости (з)**

Таким образом, вводя в структуру канал оценки скорости можно более точно предсказать движение.

### Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

2. **Данилов, С. Н.** Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин // Труды ТГТУ. Радиотехника. – М., 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

3. **Панасюк, Ю. Н.** Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник Тамбовского государственного университета. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 595 – 600.

4. **Концепция** построения и структура перспективного информационно-измерительного комплекса / У. Р. Наимов, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин и др. // Вестник Тамбовского государственного университета. – 2018. – Т. 24, № 1. – С. 30 – 36.

5. **Synthesis of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation** / A. P. Pudovkin, Yu N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.

*Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора  
С. Н. Данилова*

## **ПЕРЕДАТЧИК С НЕЛИНЕЙНЫМ УСИЛИТЕЛЕМ И ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ**

***Е. А. Антонов, К. Д. Раев***

*Тамбовский государственный технический университет*

Одним из главных недостатков систем с OFDM-модуляцией является высокий пик-фактор сигнала передатчика. Принимается ряд специальных мер для снижения пиковых, мгновенных значений сигнала. Например, из потока кодирования исключаются последовательности, приводящие к высоким выбросам группового сигнала и ряд других мер. Это приводит к снижению символьной скорости в канале, что является платой за простоту линейных усилителей и их энергетическую эффективность. КПД линейных усилителей OFDM-сигнала не превышает 20...30%. Без принятия этих мер, стоимость усилителей была бы значительно выше, а КПД не превышал бы единиц процентов [1]. Для снижения пик-фактора применяют искажающие и неискажающие методы.

Искажающие методы просты (клиппирование, компандирование), но приводят к увеличению ошибок. Неискажающие методы (кодирование, резервирование тона и др.) из-за введенной избыточности снижают скорость передачи. Существуют методы построения нелинейных усилителей мощности, обеспечивающих линейное усиление сигнала: усиление по схеме Догерти, усиление методом дефазирования [2].

Если использовать нелинейные усилители, то происходит искажение выходного сигнала во всех частотных каналах. При демодуляции такого сигнала трудно определить амплитудно-фазовое мгновенное значение сигнала, что приводит к ошибкам в выходном цифровом потоке. Кроме того, при искажениях выходного сигнала происходит расширение спектра и появляются помехи соседним каналам [3].

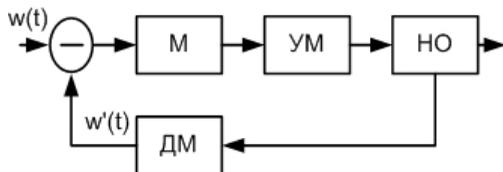


Рис. 1

Основная идея предлагаемой схемы с OFDM-модуляцией заключается в том, что любая устойчивая схема автоматического регулирования стремится уравнивать воздействия на входах вычитающего элемента, в данном случае уравнивать исходный идеальный модулирующий сигнал  $w(t)$  и реальный модулирующий сигнал  $w'(t)$ , который получается, как демодулированный сигнал мощного выходного высокочастотного колебания усилителя мощности (УМ) [4]. В демодуляторе (ДМ) осуществляется когерентная демодуляция входного сигнала, поступающего с направленного ответвителя (НО).

Когерентность обеспечивается использованием того же опорного высокочастотного сигнала, что и при модуляции (М) [5]. В результате демодулированный сигнал  $w'(t)$  на выходе демодулятора имеет вид

$$w'(t) = K_1[w(t) - w'(t)]K_2K_3(s),$$

где  $K_1, K_2, K_3$  – коэффициенты усиления М, ДМ и УМ, соответственно. Тогда с учетом того, что коэффициент усиления схемы вычитания и произведение  $K_1K_2 \approx 1$  демодулированный сигнал  $w'(t)$  равен

$$w'(t) = \frac{K_3(s)}{1 + K_3(s)} w(t).$$

Таким образом, реальное значение модулирующего сигнала  $w'(t)$  в мощном высокочастотном выходном сигнале передатчика почти совпадает с модулирующим сигналом  $w(t)$  при коэффициенте усиления  $K_3(s) \gg 1$ . Наличие петли обратной связи позволяет до некоторой степени компенсировать нелинейность усилителя мощности, т.е. повысить его реальный КПД.

### Библиографический список

1. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
2. **Галкин, В. А.** Цифровая мобильная радиосвязь / В. А. Галкин. – М. : Горячая линия-Телеком, 2007. – 432 с.
3. **Алгоритм** дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, И. В. Князев // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С 60 – 63.
4. **Estimation** of Location Coordinates in the System of Vehicle Control to Ensure Traffic Safety / A. P. Pudovkin, S. N. Danilov, A. V. Ivanov, Yu. N. Panasuk // International Conference on Recent Advanced in Engineering, Technology and Applied Sciens. – USA, Detroit, 2017. – С. 32 – 49.
5. **Synthesis** of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id.032111.

## ОБРАБОТКА ДАННЫХ С ВЕСОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ ISKRAJS

*Г. А. Болтнев, Д. С. Попов, В. Ю. Новохатский*

*Тамбовский государственный технический университет*

На сегодняшний день проблема импортозамещения в России является одной из наиболее важных и поскольку доля импорта в радиоэлектронных отраслях достаточно высока, а также в связи с высокой стоимостью зарубежных радиоэлектронных компонентов и расходного материала, она очень актуальна [1, 2].

Одним из решений данной проблемы является проектирование новых изделий на базе отечественных разработок. Так, на Тулинском приборостроительном заводе АО «ТВЕС» в четырехопорных весах КАПС «Медик» используют микроконтроллер Atmega. В рамках импортозамещения при проектировании четырехопорных весов с расширенным функционалом, мы будем использовать отечественный микроконтроллер Iskra JS, который не имеет ничего общего с Atmega. По своей архитектуре является полным аналогом Arduino Uno R3. Iskra JS сочетает в себе лучшие качества Arduino и Espurino, предлагая пользователям расширенные возможности разработки и применения дополнительных модулей. Как и Espurino, плата оснащена встроенным интерпретатором JavaScript и работает с аналогичной средой Iskra IDE [3 – 6].

Данный микроконтроллер хорошо подходит для обработки данных с весоизмерительных датчиков и синхронизации с персональным компьютером (ПК) по беспроводному интерфейсу [7].

Если на микроконтроллер поступает от каждого датчика значение большее или равное нулю, то микроконтроллер суммирует данные с каждого датчика и отправляет на ПК по беспроводному интерфейсу. Если же микроконтроллер получил значение меньше нуля, то он автоматически перезагружается и заново опрашивает датчики. Как правило, данная ошибка является не циклической и после перезагрузки микроконтроллера датчики передают корректную информацию. Причиной данной ошибки могут являться перегрузка одного из датчиков или резкое изменение окружающей температуры.

*Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, доцента  
И. В. Тюрина*

### **Библиографический список**

1. **Чернышова, Т. И.** Информационно-аналитическая система оценки метрологической надежности электронных измерительных средств / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – № 1. – С. 24 – 31.
2. **Чернышов, Н. Г.** Лабораторный комплекс с использованием средств удаленного доступа / Н. Г. Чернышов, А. С. Гутинев, А. М. Романенко. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В. – 2015. – С. 187 – 189.
3. **Нури, А. Н.** Преобразование сигналов в системах мониторинга параметров удаленных технологических объектов / А. Н. Нури, В. Н. Шамкин, Н. Г. Чернышов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 3. – С. 246 – 248.

4. **Муромцев, Д. Ю.** Конструирование узлов и устройств электронных средств : учеб. пособие / Д. Ю. Муромцев, И. В. Тюрин, О. А. Белоусов. – Ростов н/Д : Феникс, 2013. – 540 с

5. **Исследование** резонансных цепей средствами программы MICRO-CAP / И. В. Тюрин, Г. А. Болтнев, И. О. Бушуев, Д. А. Мукин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 4. – С. 168–169.

6. **Чернышова, Т. И.** Повышение метрологической надежности аналоговых блоков измерительных систем / Т. И. Чернышова, Н. З. Отхман, Л. И. Рожнова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2009. – № 1. – С. 80 – 84.

7. **Чернышова, Т. И.** Информационно-аналитическая система оценки и прогнозирования метрологической надежности электронных измерительных средств / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2014. – № 5. – С. 112 – 114.

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ВЕСОИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В МЕДИЦИНЕ**

***Г. А. Болтнев, Д. С. Попов, В. Ю. Новохатский***

*Тамбовский государственный технический университет*

Электронные весы отличаются от механических надежностью конструкции (за счет отсутствия подвижных частей) и точностью измерений, что делает область их применения достаточно широкой [1].

Несмотря на все преимущества электронной весоизмерительной техники, существует острая необходимость как в улучшении качества, так и в расширении областей применения существующих и вновь создаваемых весоизмерительных приборов. Если в промышленности и других областях применения обычно достаточно выведения значения массы объекта на устройство индикации весоизмерительного прибора, то в медицине все измерения должны передаваться, храниться и обрабатываться персональным компьютером (ПК) [2, 3].

В настоящее время вся медицинская весоизмерительная техника синхронизируется с компьютером по тому или иному стандартному коммуникационному интерфейсу (обычно USB). Данный вид синхронизации не удобен в эксплуатации, поскольку ПК должен находиться в непосредственной близости от весоизмерительного прибора. Кроме того, отсутствует возможность объединения нескольких весоизмерительных устройств в рамках локальной сети, что затрудняет централизованный сбор и обработку информации от разных источников.

Например, на специализированный сервер может поступать и накапливаться информация от весоизмерительных устройств и другого медицинского оборудования, что позволит оперативно формировать медицинскую базу данных состояния здоровья больных [4, 5].

Коммуникацию медицинского оборудования с ПК можно осуществлять посредством беспроводных сетей, таких как Bluetooth и Wi-Fi, а также по витой паре, образуя сеть Ethernet. Преимущество распространения информации по беспроводному каналу связи обусловлено мобильностью рабочего места, быстрым и простым построением сети, высокой скоростью передачи информации [7].

Таким образом, в медицинских учреждениях автоматизированный сбор антропометрических данных и других показателей больных позволит вести мониторинг состояния здоровья и прогнозировать динамику развития заболеваний, что позволит лечащим врачам поставить правильный диагноз и назначить лучшие методы лечения [8].

### Библиографический список

1. **Чернышова, Т. И.** Повышение метрологической надежности аналоговых блоков измерительных систем / Т. И. Чернышова, Н. З. Отхман, Л. И. Рожнова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2009. – № 1. – С. 80 – 84.

2. **Чернышова, Т. И.** Информационно-аналитическая система оценки и прогнозирования метрологической надежности электронных измерительных средств / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2014. – № 5. – С. 112 – 114.

3. **Чернышова, Т. И.** Метод повышения метрологического ресурса аналоговых блоков информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, В. В. Третьяков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 2. – С. 239 – 247.

4. **Чернышов, Н. Г.** Разработка систем оптимального управления энергоемкими объектами с применением когнитивной графики и технологии беспроводной связи ZigBee / Н. Г. Чернышов, С. И. Дворецкий // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 87 – 98.

5. **Нури, А. Н.** Преобразование сигналов в системах мониторинга параметров удаленных технологических объектов / А. Н. Нури, В. Н. Шамкин, Н. Г. Чернышов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 3. – С. 246 – 248.

6. **Муромцев, Д. Ю.** Управление качеством электронных средств : учеб. пособие / Д. Ю. Муромцев, И. В. Тюрин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – Ч. 2. – 96 с.

7. **Муромцев, Д. Ю.** Математическое обеспечение САПР : учеб. пособие / Д. Ю. Муромцев, И. В. Тюрин. – СПб. : Лань, 2014. – 464 с.

8. **Муромцев, Ю. Л.** Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств : учеб. пособие / Ю. Л. Муромцев, Д. Ю. Муромцев, И. В.Тюрин – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 384 с.

## **ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ С МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ЧЕТЫРЕХОПОРНЫХ ВЕСОВ НА ЭВМ ПОСРЕДСТВОМ БЕСПРОВОДНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ**

*Г. А. Болтнев, Д. С. Попов, В. Ю. Новохатский*

*Тамбовский государственный технический университет*

Прикроватные весы представляют из себя четыре весоизмерительных датчика, которые размещают под ножками кровати. Каждый датчик подключается к персональному компьютеру (ПК) посредством проводного интерфейса. Данные с датчиков обрабатывает ПК и выдает вес больного.

Практика использования прикроватных весов показала, что через некоторое время у весов увеличивается погрешность, так как при длительном использовании прикроватных весов штекер проводного интерфейса разбалтывается в гнезде датчика, что ухудшает сигнал [1].

Решить данную проблему можно благодаря беспроводной связи датчиков и ПК. Bluetooth – наиболее распространенный стандарт беспроводной передачи данных, благодаря которому мы можем организовать беспроводную сеть между весами и ПК, подключив к микроконтроллеру модуль Bluetooth RN-42, через интерфейс UART [2 – 5].

Модуль Bluetooth RN-42 предназначен для замены кабельного соединения между двумя устройствами, связанными по последовательному асинхронному интерфейсу (UART). Он позволяет организовать передачу данных по беспроводной технологии Bluetooth на расстоянии до 10...20 м (в зависимости от подключенной антенны) [6, 7].

Таким образом интегрирование Bluetooth технологии в весах позволит получать метрологические данные от датчиков на расстоянии, что позволит расширить область применения весоизмерительной техники.

### **Библиографический список**

1. **Чернышова, Т. И.** Оценка и повышение метрологической надежности измерительных средств в реальных условиях эксплуатации/ Т. И. Чернышова, М. И. Нистратов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2009. – № 4. – С. 758 – 765.

2. **Чернышова, Т. И.** Оценка и повышение метрологической надежности измерительных средств с учетом климатических воздействий / Т. И. Чернышова, М. И. Нистратов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – № 1. – С. 24 – 31.

3. **Чернышова, Т. И.** Информационно-аналитическая система оценки и прогнозирования метрологической надежности электронных измерительных средств / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2014. – № 5. – С. 112 – 114.

4. **Система** энергосберегающего управления на базе современного микропроцессорного контроллера / А. С. Рязанов, Н. Г. Чернышов, П. А. Колодкин, Н. С. Баранов // В. И. Вернадский: устойчивое развитие регионов : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – 2016. – С. 202 – 205.

5. **Нури, А. Н.** Преобразование сигналов в системах мониторинга параметров удаленных технологических объектов / А. Н. Нури, В. Н. Шамкин, Н. Г. Чернышов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 3. – С. 246 – 248.

6. **Муромцев, Д. Ю.** Управление качеством электронных средств : учеб. пособие / Д. Ю. Муромцев, И. В. Тюрин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – Ч. 2. – 96 с.

7. **Муромцев, Д. Ю.** Конструирование узлов и устройств электронных средств : учеб. пособие / Д. Ю. Муромцев, И. В. Тюрин, О. А. Белоусов. – Ростов н/Д : Феникс, 2013. – 540 с

*Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента  
И. В. Тюрина*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МОСТА УИТСОНА В ВЕСОИЗМЕРИТЕЛЬНОМ ИЗДЕЛИИ**

***Г. А. Болтнев, Д. С. Попов, В. Ю. Новохатский***

*Тамбовский государственный технический университет*

В современной медицине вес «лежачих» больных определяют при помощи четырехопорных весов, позволяющих взвесить человека на кровати, без учета массы кровати. Данные весы представляют собой четыре весоизмерительных датчика, которые подставляются под каждую ножку кровати. Каждый датчик передает на персональный компьютер (ПК) значение оказанного на него усилия, а компьютер в свою очередь суммирует значение с каждого датчика и выводит вес больного. По сути, каждый датчик – это отдельные весы, связанные с ПК

по проводному интерфейсу, имеющие свой микроконтроллер и аналого-цифровой преобразователь (АЦП). На практике данные весы показали, что по истечении некоторого времени появляется проблема с погрешностью весов. Чтобы исправить ошибки, необходимо перезаписать датчики, а для этого их необходимо отправить на завод-изготовитель. Альтернативным вариантом является применение моста Уитсона в весоизмерительной схеме [1 – 3].

Весы, работающие по схеме моста Уитсона, представляют собой четыре датчика, которые связаны по проводному интерфейсу с АЦП и микроконтроллером [4].

Схема моста Уитсона имеет две ветви сопротивления, каждое из которых содержит два резистора. Третья ветвь схемы – это мост, осуществляющий соединение между двумя параллельными ветвями.

При равных величинах сопротивлений, ток течет в каждой из ветвей. По мосту ток не проходит, т.е. мост уравновешен и весы показывают ноль [5].

При неравных величинах сопротивления в ветвях, ток течет в схеме от ветви с большим сопротивлением к ветви с меньшим сопротивлением через мост, фиксирующим значение тока, которое впоследствии будет преобразовано в массу измеряемого объекта [6].

Таким образом, использование метода весоизмерения на основе моста Уитсона позволит удешевить четырехопорные весы и упростить их эксплуатацию, так как при использовании одного АЦП и одного микроконтроллера нет необходимости перезаписывать весы, достаточно, при возникновении ошибки, перезагрузить микроконтроллер [7].

*Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук профессора  
С. Н. Данилова*

### **Библиографический список**

1. **Чернышова, Т. И.** Оценка и повышение метрологической надежности измерительных средств в реальных условиях эксплуатации / Т. И. Чернышова, М. И. Нистратов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2009. – № 4. – С. 758 – 765.
2. **Муромцев, Д. Ю.** Конструирование узлов и устройств электронных средств : учебное пособие / Д. Ю. Муромцев, И. В. Тюрин, О. А. Белоусов. – Ростов н/Д : Феникс, 2013. – 540 с.
3. **Чернышова, Т. И.** Математическое моделирование электронных измерительных средств при оценке их метрологической надежности / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – № 4. – С. 770 – 775.

4. **Чернышова, Т. И.** Оценка и повышение метрологической надежности измерительных средств с учетом климатических воздействий / Т. И. Чернышова, М. И. Нистратов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – № 1. – С. 24 – 31.

5. **Исследование** резонансных цепей средствами программы MICRO-CAP / И. В. Тюрин, Г. А. Болтнев, И. О. Бушуев, Д. А. Мукин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – № 4. – С. 168–169.

6. **Пат.** 2444040 Российская Федерация, МПК G05B 13/00. Способ и система оптимального управления объектами двойного интегрирования / Чернышов Н. Г., Дворецкий С. И., Муромцев Ю. Л., Глинкин Е. И. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Тамб. гос. техн. ун-т». – № 2010122129/08 ; заявл. 31.05.2010 ; опубл. 27.02.2012, Бюл. № 6. – 19 с.

7. **Чернышов, Н. Г.** Разработка систем оптимального управления энергоемкими объектами с применением когнитивной графики и технологии беспроводной связи ZigBee / Н. Г. Чернышов, С. И. Дворецкий // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 87 – 98.

## **КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА С УДАЛЕННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПАРАМЕТРАМИ МИКРОКЛИМАТА В АППАРАТНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ СОТОВОЙ СВЯЗИ**

***А. Н. Бондарь, М. М. Беляева***

*Рыбинский государственный авиационный технический университет  
имени П. А. Соловьева*

Мобильная сотовая связь – современная стремительно развивающаяся область телекоммуникаций, состоящая из трех подсистем: мобильные станции (MS), базовые станции (BTS) и подсистема коммутации (MSC). Базовая станция представляет собой антенно-фидерное устройство, размещающееся на крышах или фасадах зданий, мачтах, башнях и столбах и телекоммуникационное оборудование с электропитающими установками, расположенное в специальных вагончиках, служебных помещениях и в шкафах уличного исполнения. Такое размещение телекоммуникационного оборудования и установок электропитания обеспечивает их защиту от внешних факторов и механических воздействий.

Однако этого недостаточно чтобы организовать надежную работу оборудования. Необходимо создать внутри объекта такие благоприят-

ные климатические условия, при которых радиоаппаратура будет стабильно выполнять свои функции.

В компании СЗФ ПАО «Мегафон» Ярославского РО в аппаратных используются штатные устройства, осуществляющие климат-контроль [1, 2]. На практике был выявлен ряд недостатков: малое время безотказной работы, что увеличивает затраты на ремонт и может привести к перебоям в работе аппаратуры; зависимость от внешнего питания, что категорически противоречит техническим требованиям компании; неоптимальное техническое решение, так как устройства, размещенные в шкафах уличного исполнения, требуют дублирования аппаратуры для предотвращения снижения безотказности из-за особенностей конструкции термостата; отсутствие возможности удаленного управления, что приводит к необходимости выезда специалистов и регулировки штатных устройств непосредственно на месте.

Для устранения всех недостатков разработана контрольно-измерительная система обеспечения климатического режима с удаленным доступом управления в помещениях сотовой связи. Основные функции устройства – регулирование температуры в замкнутом пространстве аппаратных помещений с передачей информации по внутренним каналам связи. Главной частью устройства является микроконтроллер, который считывает показания цифрового датчика и анализирует температурное значение. Если результаты анализа попадают в заданный диапазон, то микроконтроллер подает управляющий сигнал на внешнюю нагрузку и в зависимости от уровня температуры включает нагреватель или вентилятор. Когда происходит нештатная ситуация, при которой одна из управляющих нагрузок не справляется или не срабатывает, то микроконтроллер направляет сигнал на внешний аварийный выход, тем самым оповещая о неисправности.

Особенностью разработанной системы является то, что регулировка диапазона температур, порогов для выхода внешней аварии и передача показаний температуры выполняется по универсальному последовательному СОМ-порту, что позволяет удаленно наблюдать и изменять параметры устройства. Электропитание системы (48В) осуществляется согласно стандарту ГОСТ Р 55950–2014, что позволяет непрерывно контролировать климатический режим внутри аппаратной, независимо от внешней сети. Конструктивно управляющий блок системы выполнен в корпусе на DIN-рейку. Применение принципа микроминиатюризации позволило разместить на одной двусторонней печатной плате узел управления, узел питания, узел силовой коммутации, а также все необходимые коммутационные разъемы, индикацию и органы управления. Разработано программное обеспечение.

В настоящее время несколько опытных образцов проходят апробацию в компании СЗФ ПАО «Мегафон» Ярославского РО. Они подтвердили свою эффективность, а именно обеспечена стабильность климатических условий в аппаратных помещениях и возможность удаленного управления. Большим преимуществом для компании стала экономичность эксплуатации, заключающаяся в снижении затрат на ремонт и обслуживание, минимизации транспортных расходов, возможность более эффективно использовать трудовые ресурсы.

### **Библиографический список**

1. **Официальный сайт** ТАХИОН, Термошкаф ТШ-2 [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.tahion.spb.ru/tsh-2/> (дата обращения : 27.04.2019).

2. **Официальный сайт** Novatekelectro, температурный контроллер [Электронный ресурс]. – URL : <https://novatek-electro.com/produksiya/temperaturnye-kontrollery/kontroller-upravleniya-temperatur-nymi-priboramimsk-301-85.html/> (дата обращения : 27.04.2019).

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ВЕСТИБУЛЯРНЫХ НАРУШЕНИЙ**

***А. В. Горбунов, А. В. Непрокин***

*Тамбовский государственный технический университет*

Современным методом диагностики вестибулярных нарушений является видеонистагмография (ВНГ), также известная как видеоокулография (ВОГ). Метод основан на принципе видеотелеметрии движений глазного яблока с последующим компьютерным анализом и выдачей в графическом и числовом (табличном) выражении полученных результатов. Системы ВНГ состоят из непрозрачных очков или пластиковой маски со встроенными инфракрасными камерами слежения, которые надеваются на голову пациента. Видеокамеры фиксируют движения глаз при проведении тестов и передают данные для последующего анализа. Тесты включают разные виды слежения за мишенью на проекционном экране, определенные повороты головы и туловища. С помощью специальной программы осуществляется детальный анализ параметров движения глаз. Видеозаписи глазодвигательной активности могут быть использованы для дистанционной диагностики пациента в соответствии с концепцией телемедицины. Возможна регистрация не только нистагма, но и положения больного в момент исследования и комментариев к его ощущениям.

Преимущества этого метода, который в последние годы используют все ведущие клиники мира, очевидны: точнейшая фиксация горизонтальных, вертикальных и вращательных движений глаз, компьютерная обработка данных в режиме реального времени, нет необходимости в экранированном помещении (так как отсутствуют электроды и артефакты), большая экономия времени для исследования, абсолютно точный расчет изучаемых параметров [1]. Кроме того, видеонистамографы регистрируют не косвенные, а необходимые количественные параметры (координаты центров зрачков, их скорости) причем делают это бесконтактным образом [2].

Однако, следует отметить недостатки систем видеонистамографии ввиду их чрезвычайной дороговизны, необходимости в дополнительном энергообеспечении и отсутствия возможности работать автономно.

В связи с этим актуален вопрос технического решения систем диагностики вестибулярного аппарата, необходимость в современном и недорогом оборудовании.

Предлагаемым решением проблемы является разработанное нами устройство [3] для видеонистамографии на основе доступных аппаратных средств.

Устройство состоит из корпуса, представляющего собой очки виртуальной реальности для смартфонов, в котором размещены: две видеокамеры с автофокусом, инфракрасной подсветкой, источником питания и возможностью записи данных на карту памяти, асферические линзы, регуляторы межзрачкового расстояния, выдвигающееся крепление для смартфона, передняя непрозрачная крышка, обтюратор, обеспечивающий плотное прилегание устройства к голове исследуемого, регулируемые эластичные ремни для фиксации устройства на голове пациента.

Таким образом, в устройстве реализована возможность автономной работы при выполнении вестибулометрических тестов, позиционных маневров, при регистрации нистагмной реакции с одного и с обоих глаз. Повышение надежности и удобства в эксплуатации достигается за счет применения готовой аппаратной платформы.

### **Библиографический список**

1. **Лихачев, С. А.** Современные технологии диагностики вестибулярной дисфункции в неврологической практике / С.А. Лихачев, О. А. Аленикова // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* – 2011. – № 2. – С. 34 – 39.

2. **Видеодиагностика** вестибулярного аппарата [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.vdvs.ru/products/vng/vng.htm> (дата обращения : 02.12.2018).

3. **Пат.** 183466 на полезную модель, РФ МПК А61В 3/113 (2006.01). Устройство для видеонистамографии / А. В. Непрокин ; заявл. 07.03.2018 ; опубл. 24.09.2018, Бюл. № 27.

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ**

*А. Н. Грибков, Д. Ю. Муромцев, А. Н. Корнева, М. А. Трушина*

*Тамбовский государственный технический университет*

Современное промышленное производство предполагает не только высокую степень автоматизации большинства производственных операций, но и широкое внедрение энергосберегающих технологий, обеспечивающих повышение энергетической эффективности технологических процессов и объектов.

Поэтому, в настоящее время весьма актуальными являются задачи разработки и внедрения промышленных систем энергосберегающего управления (СЭУ), которые обеспечивают существенное снижение затрат энергоресурсов, повышение производительности технологических процессов, а также достижение необходимых качественных показателей выпускаемой продукции.

При разработке СЭУ необходимо учитывать, что процесс создания алгоритмического обеспечения, в большинстве случаев, представляет собой сложное «наукоемкое» исследование, поскольку в состав алгоритмического обеспечения проектируемой системы могут включаться достаточно сложные вычислительные и оптимизационные алгоритмы. Поэтому, современные СЭУ, как правило, представляют собой специализированные информационные системы, программно-техническая реализация которых должна учитывать не только сложность применяемого алгоритмического обеспечения, но и особенности объекта управления.

При практической разработке программного обеспечения СЭУ возможно применение двух различных подходов. Первый подход базируется на использовании специализированного прикладного программного обеспечения, например, SCADA-систем. Он является достаточно удобным и популярным при разработке СЭУ на базе существующей системы управления производством и позволяет, не создавая систему «с нуля», добавить новые модули или расширить функцио-

нальность модулей, уже имеющихся в системе. Второй подход предполагает применение при разработке программного обеспечения СЭУ инструментальных средств разработки приложений на базе CASE- и RAD-технологий. Он может применяться в тех случаях, когда СЭУ проектируется для объекта, у которого отсутствуют какие-либо средства автоматизации. Следует также отметить, что оба подхода не являются взаимоисключающими и могут применяться совместно, например, в целях достижения большей функциональности системы.

Еще одним важным этапом построения СЭУ является подбор необходимых технических средств, обеспечивающих функционирование разработанного программного и алгоритмического обеспечения.

В качестве основных компонентов технического обеспечения СЭУ можно выделить следующие:

- технические средства канала управления, обеспечивающие реализацию синтезированных системой управляющих воздействий (устройства сопряжения с объектом);

- технические средства канала измерения, обеспечивающие непрерывный мониторинг основных режимных параметров объекта управления (измерительные устройства) [1];

- компьютер (промышленный контроллер), осуществляющий непосредственное управление устройствами сопряжения с объектом и получающий данные от измерительных устройств.

Рассмотренные подходы к программно-технической реализации СЭУ нашли успешное применение на практике при разработке систем управления производственными технологическими объектами [2, 3].

### Библиографический список

1. **Использование** интеллектуальных датчиков для оперативной оценки влажности движущегося пастообразного материала в процессе сушки / С. В. Артемова, А. А. Артемов, В. М. Мелисаров, П. А. Подхватилин // Измерительная техника. – 2016. – № 4. – С. 16 – 18.

2. **Грибков, А. Н.** Информационно-управляющие системы многомерными технологическими объектами: теория и практика : монография / А. Н. Грибков, Д. Ю. Муромцев. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 164 с.

3. **Грибков, А. Н.** Техническая реализация информационно-управляющей системы динамическими режимами сушильных установок / А. Н. Грибков, А. О. Гаврилов // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах : тез. докл. 3 Междунар. конф. с элементами научной шк. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2016. – С. 60–61.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 17-08-00457-а*

# ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ АЛГОРИТМОВ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

*А. Н. Грибков, М. А. Трушина, А. Н. Корнева*

*Тамбовский государственный технический университет*

При проектировании информационно-управляющих систем технологическими объектами значительное внимание уделяется вопросам анализа помехоустойчивости алгоритмов синтеза управляющих воздействий. Существенное влияние на достижение цели управления оказывают параметрические возмущения, действие которых приводит к отклонениям параметров модели динамики объекта управления от истинных значений. В ряде случаев, влияние возмущений не позволяет получить решение задачи оптимального управления (ЗОУ) для заданных исходных данных, в связи с чем приходится вносить изменения в массив реквизитов ЗОУ или отказываться от выполнения некоторых ограничений задачи для обеспечения ее гарантированного решения.

Рассмотрим математическую постановку ЗОУ динамическими режимами технологического объекта:

$$\dot{z} = Az(t) + Bu(t); \quad (1)$$

$$z(t_0) = z_0 \rightarrow z(t_k) = z_k; \quad (2)$$

$$\forall t \in [t_0, t_k]; u(t) \in [u^H, u^B]; \quad (3)$$

$$J = \int_{t_0}^{t_k} f(z(t), u(t)) dt \rightarrow \min. \quad (4)$$

В задаче (1) – (4) используются следующие обозначения:  $A, B$  – матрицы параметров математической модели;  $z(t)$  – вектор фазовых координат;  $u(t)$  – вектор управляющих воздействий;  $z_0, z_k$  – начальное и конечное значения вектора фазовых координат;  $[t_0, t_k]$  – временной интервал управления;  $u^H, u^B$  – ограничения на управляющие воздействия;  $J$  – минимизируемый функционал.

Массив исходных данных ЗОУ:  $R = (A, B, z_0, z_k, u^H, u^B, t_0, t_k)$ .

Объект, описываемый моделью (1), необходимо перевести из начального состояния в конечное (2) при наличии ограничений на управляющие воздействия (3) с минимумом функционала (4). Для решения

ЗОУ (1) – (4) необходимо для заданного массива исходных данных  $R$  определить оптимальное управление  $u(\bullet) = (u^*(t), t \in [t_0, t_k])$ .

Предлагается методика, включающая три этапа, основанная на совместном применении метода статистического моделирования и метода синтезирующих переменных, которая позволяет на этапе анализа ЗОУ произвести оценку помехоустойчивости алгоритма синтеза управляющих воздействий [1].

На первом этапе осуществляется определение статистических характеристик параметров модели динамики объекта. Поскольку значения параметров могут меняться под действием случайных возмущений, то их можно рассматривать как случайные величины.

На втором этапе проводится статистическое моделирование, в результате которого формируются выборки значений параметров модели, включаемые в массивы исходных данных ЗОУ. На этом же этапе осуществляется полный анализ ЗОУ для всех значений параметров, имеющихся в сформированных выборках. При этом проводится исследование области существования решения ЗОУ при помощи метода синтезирующих переменных, т.е. для каждого массива исходных данных рассчитываются значения синтезирующих переменных, которые являются координатами точек в области существования решения ЗОУ в пространстве синтезирующих переменных. Если соответствующая точка находится внутри области, то решение ЗОУ для заданных исходных данных существует.

На третьем этапе производится расчет показателя помехоустойчивости алгоритма синтеза управляющих воздействий по известной формуле для определения вероятности случайного события:  $P = S/O$ , где  $S$  – количество точек (массивов исходных данных задачи), для которых решение ЗОУ существует;  $O$  – общее количество точек, равное объему соответствующей выборки.

Значение показателя, по сути, представляет собой вероятность достижения цели управления (решения ЗОУ), что позволяет использовать его для оценки потенциальной помехоустойчивости выбранного алгоритма синтеза управляющих воздействий.

### Библиографический список

1. **Методика** оценки эффективности алгоритма синтеза оптимального управления в помехоустойчивых информационно-управляющих системах технологическими объектами / А. Н. Грибков, Д. Ю. Муромцев, В. Н. Шамкин, Д. В. Калашников // Надежность и качество : тр. Междунар. симпозиума. – 2018. – Т. 2. – С. 342 – 344.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 18-08-00555-а*

## **СРАВНЕНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШИРОКОПОЛОСНЫХ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ С ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫМ РАСКРЫВОМ**

*А. Ю. Дмитриевцев, А. И. Дякин*

*Тамбовский государственный технический университет*

Современное развитие систем беспроводного широкополосного доступа повлекло увеличение диапазонов, отводимых для данных систем и внедрение сложных антенных систем.

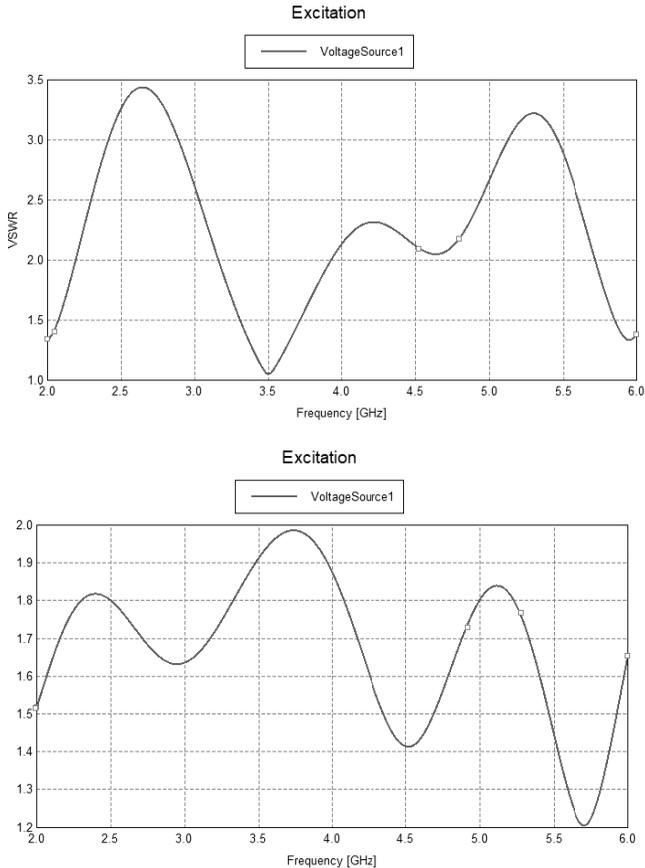
Появление микрополосковых излучателей обусловлено потребностью в легких, тонких и дешевых антенных устройствах. Любой микрополосковый излучатель представляет собой лист диэлектрики небольшой толщины с нанесенным с обеих сторон медным покрытием. На одной стороне изготовлены излучающий элемент, цепи питания, управления и согласования. Другая металлическая сторона антенной платы служит экраном [1].

Проведем сравнение двух микрополосковых излучателей с экспоненциальным раскрывом, так же известные как излучатели Вивальди. В первом случае возьмем излучатель с раскрывом на одной стороне диэлектрика, во втором случае раскрыв будет располагаться на обеих сторонах диэлектрика. Данный тип излучателя Вивальди называется антиподальным [2, 3].

На начальных этапах моделирования сверхширокополосных излучателей на основе щелевых линий применяются приближенные методы расчета, которые заключаются в том, что излучатель рассматривается как нерегулярная линия передачи, согласующая регулярную линию передачи со свободным пространством. Основным критерием согласования является минимизация коэффициента отражения на входе согласующего устройства, который в свою очередь, зависит от волнового сопротивления и длины перехода. При этом достигаются хорошие частотные характеристики излучателя Вивальди, так как в щелевых линиях могут распространяться Т- или квази- Т-волны [4, 5].

Если брать в качестве широкополосного излучателя антенну с экспоненциальным расширением щели, то четких задач по нахождению компонента электромагнитного поля для данного типа антенн сводится к нахождению компонента электромагнитного поля для микрополоскового излучателя, а получение основных электродинамических характеристик, таких как диаграмма направленности, коэффициент усиления, коэффициент направленного действия, проще выполнять используя пакеты прикладного программного обеспечения для моделирования антенных структур [3, 4].

Построим исследуемые антенны в программном комплексе CST MWS. Исследования будем проводить в полосе частот от 2 до 6 ГГц.



**Рис. 1. Коэффициент стоячей волны первого и второго излучателей**

По полученным результатам моделирования видно, что во всей полосе частот электродинамические характеристики первого и второго излучателя не превышают предельно допустимого значения, следовательно, данные микрополосковые излучатели могут работать в диапазоне от 2 до 6 ГГц, не меняя свои электродинамические характеристики.

*Работа выполнена в центре коллективного пользования «Радиоэлектроника и связь» с использованием оборудования «ОБЗОР-804»*

## Библиографический список

1. **Воскресенский, Д. И.** Устройства СВЧ и антенн. Проектирование фазированных антенных решеток / Д. И. Воскресенский. – М. : Радиотехника, 2012. – 744 с.
2. **Баланис, К. А.** Введение в смарт-антенны / К. А. Баланис, П. И. Иоанидес. – М. : Техносфера, 2012. – 200 с.
3. **Применение** алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762. – DOI: 10.15827/0236-235X.031
4. **Muromtsev, D. Yu.** Intelligent Sensor in Control Systems for Objects with Changing Thermophysical Properties / О. А. Belousov, D. Yu. Muromtsev, M. P. Belyaev // Journal of Physics: Conference Series. – International Scientific and Technical Conference on Metrology, Standardization, Quality: Theory and Practice, MSQ 2017. – Omsk, April 2018. – V. 998, Is. 1.

## ОСОБЕННОСТИ УСТРАНЕНИЯ СЕМАНТИЧЕСКИХ ОШИБОК ПРИ СОЗДАНИИ ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ

*Т. Ю. Дорохова, А. О. Смирнов, И. Н. Кочетов*

*Тамбовский государственный технический университет*

При разработке программных модулей программисты часто сталкиваются с проблемой компилирования программ. Компилирование занимает 60% времени при разработке различных программных модулей. Самый трудоемкий процесс связан с поиском и выявлением не синтаксических или логических ошибок, а семантических ошибок.

Синтаксические ошибки это неправильное написание ключевых слов и символов языка программирования. К синтаксическим ошибкам относится не поставленная точка с запятой, переменные, не записанные в описании, но присутствующие в программе.

Логические ошибки связаны с неправильной программной реализацией логики алгоритма. К логическим ошибкам относятся неучтенные действия: неправильная расстановка скобок, и как следствие, деление в выражениях вычисляется до операций сложения и другие. Когда написанная программа на любом языке компилируется и работает, но выдает неправильный результат, чтобы найти решение такой ошибки нужно фундаментальное изменение алгоритма.

Семантические ошибки связаны с применением операторов, которые не дают нужного эффекта. К таким ошибкам относятся, например, использование  $(a - b)$  вместо  $(a + b)$ , ошибочное использование операций сравнения и ряд других, а так как правила семантики не формализуемы поиск и устранение семантической ошибки достаточно трудоемкий процесс.

Устранение семантических ошибок при обработке данных и испытаниях программных модулей показало, что столкновение процессов нарушают формальные внешние правила построения программных модулей. А состояния неопределенности процессов взаимодействия потоков данных и управления ими, не входят в противоречие с формальными правилами и не блокируют процессы. Такие программы работают, однако, не так как предусматривалось условием задачи.

Доказано, что в качестве основного источника ошибок в программных модулях выступают программисты, обладающие определенной квалификацией, особенностями и опытом реализации программного кода. Это позволяет утверждать, что плотность потоков ошибок и размеры необходимых корректировок в компонентах программных модулей при разработке, испытаниях и эксплуатации могут существенно различаться. Задача обнаружения и исправления семантических ошибок самая проблематичная, поэтому решение вопросов обеспечения надежности работы программных модулей, достаточно актуальная и первостепенная проблема, требующая разрешения.

Интересным представляется подход к решению проблемы повышения надежности, представленный в исследованиях О. В. Мельникова, Ю. Т. Зырянова [1, 2]. Авторами предложены модель и алгоритм определения и устранения семантических ошибок, позволяющие производить испытания информационно-измерительных и управляющих систем.

Семантические ошибки устраняются путем введения процедур фиксации времени логического пути, а также информированием о движении процессов. Процедура фиксации времени логического пути  $\tau$  представляет собой число переходов процесса из корня дерева и дальнейшего его следования. Характеристика  $\tau$  присваивается любой операции  $e'$ , выполняемой конкретным процессом  $P'_k$ . Когда процессы получают сведения об операции  $e'$ , очевидно, что им известен факт прохождения удаленного процесса через все вершины на определенном расстоянии от корня. Это расстояние выражается величиной размерности  $\tau$ . При переходе программного модуля  $C'$  из одного состояния  $\bar{s}'_f \in \bar{s}'$  под действием процесса  $P'_k$ , осуществляется процедура

информирования с целью оповещения (информирования) всех процессов. Проблема обнаружения и исправления семантических ошибок является одной из главных при испытаниях программного модуля.

В условиях обнаружения и устранения семантических ошибок более эффективными оказываются методы, предусматривающие разбиение множества входных данных  $E$  на подмножества потока данных  $S_j$  и использующие выражения для дисперсии и доверительных границ результатов измерения показателей надежности на определенном тестовом наборе, используемом при испытаниях программного модуля.

### **Библиографический список**

1. **Оценка** надежности программных модулей при испытаниях информационно-измерительных и управляющих систем / Ю. Т. Зырянов, О. В. Мельник, А. Ю. Наумова // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах : тез. докл. Междунар. конф. с элементами научной школы. 22 – 24 апреля 2015 года. – Тамбов, 2015. – С. 104–105.

2. **Тестирование** программных модулей информационно-измерительных и управляющих систем по тестовым случаям / Ю. Т. Зырянов, О. В. Мельник, А. Ю. Наумова // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах : тез. докл. Междунар. конф. с элементами научной школы. 22 – 24 апреля 2015 года. – Тамбов, 2015. – С. 106–107.

## **СИНТЕЗ ИЗЛУЧАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ СЕКТОРИАЛЬНОГО РУПОРА С ФАЗОКОРРЕКТИРУЮЩИМИ ЛИНЗАМИ ДЛЯ БОРТОВЫХ АНТЕННЫХ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ**

*А. И. Дякин, А. Ю. Дмитриевцев*

*Тамбовский государственный технический университет*

Важной особенностью систем связи с помощью искусственных спутников Земли (ИСЗ) является необходимость перекрывать весьма большие расстояния между спутником и наземными станциями. Поскольку энергетические ресурсы на борту спутника ограничены, ограничена также и мощность бортового передатчика. Для того, чтобы обеспечить необходимый потенциал линии связи, на наземных пунктах приходится максимально повышать усиление антенн и чувстви-

тельность приемников, что в свою очередь влечет за собой присутствие искажений в передаче сигнала. Рассмотрим устранение данной проблемы при помощи рупорных антенн [1, 2].

Наличие квадратичных фазовых искажений в раскрыве рупора приводит к нежелательным явлениям в характеристиках излучения. Поэтому на практике стремятся при заданной величине раскрыва выбрать длину рупора  $R$  такой, чтобы она была не меньше оптимальной. Однако длина оптимального рупора является относительно большой величиной, что обуславливает возрастание габаритов антенны.

Принцип действия их основан на искусственном выравнивании оптических длин путей, проходимых электромагнитной волной от вершины рупора до всех точек раскрыва [1].

Для коррекции фазовых искажений в раскрыве рупора используются линзы. Принцип действия линзы основан на том, что скорость распространения электромагнитных волн в материале линзы отличается от их скорости распространения в окружающем пространстве.

Для коррекции фазовых искажений в раскрыве необходимо заполнить линзу, подбирая соответствующим образом ее форму. Если линза должна преобразовывать падающую на нее цилиндрическую волну (что наблюдается в  $H$ - и  $E$ -рупорах) в плоскую волну в раскрыве, то сторона, обращенная к источнику излучения, должна быть выпуклой [1].

Профиль линзы в этом случае определяется уравнением, которое в полярной системе координат имеет вид

$$r = f \frac{n-1}{n \cos \psi - 1}, \quad (1)$$

где  $r$  и  $\psi$  – полярные координаты;  $f$  – фокусное расстояние линзы;  $n$  – коэффициент преломления диэлектрика (для диэлектрической линзы  $n = \sqrt{\epsilon} = \frac{c}{v} > 1$ ).

Используя в качестве материала линзы систему параллельных пластин, можно создать линзу, подбирая соответствующим образом ее форму. Такую металлопластинчатую линзу принято называть уско-ряющей.

Профиль линзы в этом случае определяется уравнением эллипса, которое в полярной системе координат

$$r = f \frac{1-n}{1-n \cos \psi}. \quad (2)$$

Такая металлопластинчатая линза, установленная в раскрыве рупора, обеспечивает синфазное распределение поля в раскрыве [1].

При обеспечении синфазного поля в раскрыве рупорных антенн диаграмму направленности в области главного лепестка можно рассчитать в первом приближении с учетом значения размера раскрыва и распределения поля в соответствующей плоскости. Наличие корректирующей линзы влияет на закон изменения амплитуды поля в раскрыве рупорной антенны. Так при диэлектрической линзе, установленной в раскрыве  $E$ -плоскостного секториального рупора, распределение поля в плоскости  $E$  определяется формулой

$$\frac{E_m(y)}{E_m(y=0)} = \sqrt{\frac{(n \cos \psi - 1)^2}{(n-1)(n - \cos \psi)}}, \quad (3)$$

где  $y$  – координата, отсчитываемая от центра раскрыва вдоль расширяющейся стороны рупора. Угол  $\psi$  и координата  $y$  связаны очевидным соотношением

$$y = \sin \psi, \quad (4)$$

где  $r$  определяется из уравнения профиля диэлектрической линзы.

Анализ выражения (4) показывает, что диэлектрическая линза уменьшает уровень поля на краю раскрыва, а металлопластинчатая линза, наоборот, увеличивает уровень поля на краю раскрыва. Изменение закона распределения амплитуды поля в раскрыве скажется на ширине главного лепестка диаграммы направленности и уровне боковых лепестков [1].

Таким образом, рассмотренный вид излучателя с фазокорректирующими линзами находит широкий интерес применения в бортовых многолучевых системах спутниковой связи.

### Библиографический список

1. **Применение** алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31. – № 4. – С. 757 – 762. – DOI: 10.15827/0236-235X.031

*Работа выполнена в центре коллективного пользования «Радиоэлектроника и связь» с использованием оборудования «ОБЗОР-804»*

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ СВЕТОДИОДОВ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ СВЯЗИ

*Д. М. Егоров, Д. В. Закальский, О. И. Совкова*

*Дальневосточный Федеральный Университет*

В настоящее время для беспроводной передачи информационных данных широко применяются открытые оптические каналы связи (ОКС). Высокая пропускная способность, мобильность и экономичность являются преимуществами таких каналов связи. При создании оптических каналов в качестве источников излучения используются инфракрасные и ультрафиолетовые спектры излучения.

Ультрафиолетовая (УФ) область (250...400) нм весьма перспективна для построения открытых ОКС за счет уменьшения фоновых помех и бликов от солнца. С появлением полупроводниковых приборов, работающих в этой части спектра, в качестве источников излучения, могут быть использованы полупроводниковые УФ светодиоды (СИД). Световой поток, эффективность и быстродействие, которые достаточны для создания портативных информационных систем, работающих от 100 до 1000 м [1].

В целях получения необходимых данных для создания ОКС была исследована партия УФ светодиодов. Их паспортные данные:

- длина волны: 395 нм;
- напряжение: 3,2...3,6 В;
- ток: 600...700 мА;
- угол свечения: 120°.

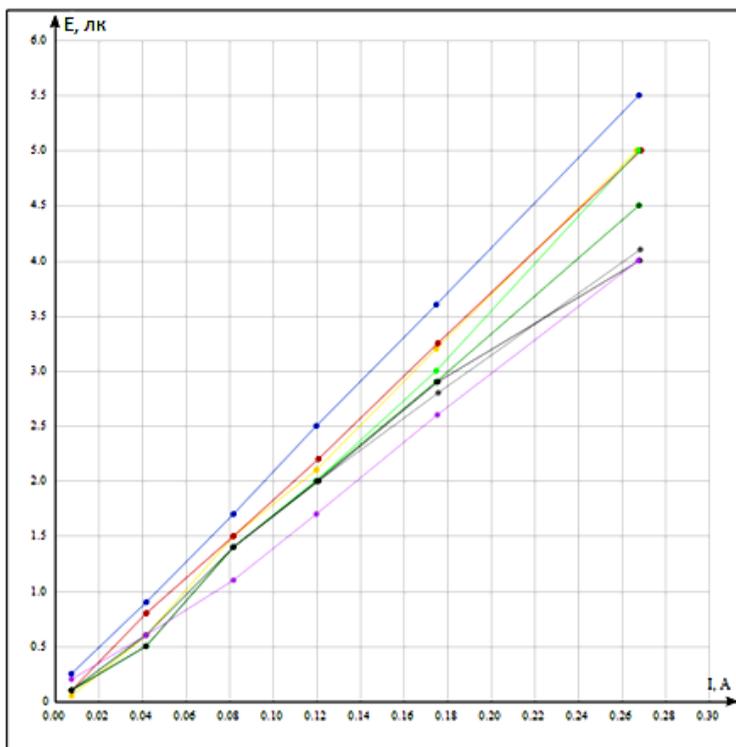
При использовании LED в устройствах оптической связи необходимо (контролировать) знать оптическую мощность излучения. Наиболее эффективный и простой способ добиться этого – переход от непрерывного режима работы к импульсному режиму. При этом следует учитывать такие связанные между собой параметры, как: длительность импульсов, частота, скважность и амплитуда токов. Обычно в паспортных данных не приводятся эксплуатационные характеристики работы LED в импульсном режиме, поэтому встает вопрос о проведении собственных исследований. Задача исследования состоит в зависимости потока освещенности светодиода от значения прямого тока, напряжения при разной длительности подаваемых импульсов.

Измерение световых характеристик проводилось на базе платформы Elvis.

Исследования были проведены с помощью фотодиода ФД256, фотопластины площадью в 1 см<sup>2</sup>, осциллографа, генератора импуль-

сов, источника питания (осциллограф, генератор и источник работаю на платформе Elvis), транзисторного ключа, собранного на полевом транзисторе IRL540N.

Результаты исследования продемонстрированы на рис. 1.



**Рис. 1. График зависимости плотности светового потока, падающего на поверхность приемника от величины тока**

Люксовая характеристика имеет линейный характер и позволяет определить световой поток. Так как люкс равен отношению люмена на метр квадратный, при длине трубы = 1 м, то люкс = люмену. По люксовой характеристике можно определить и световую мощность.

### **Библиографический список**

1. **Егоров, Д. М.** Исследование электрических и оптических параметров ультрафиолетовых светодиодов для оптических каналов связи.

## МОДЕЛЬ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ БЕСПРОВОДНОГО РАДИОДОСТУПА

*М. М. Кирюпин, С. В. Бабкин*

*Тамбовский государственный технический университет*

В настоящее время для создания эффективных систем управления объектами, построенными в высокоскоростном широкополосном радиоканале, базирующиеся на таких беспроводных стандартах, как: IEEE 802.11 (Wi-Fi), IEEE 802.15.4 (ZigBee), NanoNet и LPWAN, требуются эффективные системы, способные управлять потоком поступающих данных. Одной из таких систем является система поллинга.

Беспроводные сети с применением моделей управления, основанных на системе поллинга, позволяют решать такие задачи, как многочисленного конкурирующего доступа к сети, делать невозможным возникновение коллизии, а так же гарантировать приоритетный доступ к среде поступающему сигналу. Перейдем к рассмотрению самой распространенной моделей систем поллинга [1, 3].

Основная модель, которая является объектом исследования большинства работ по системам поллинга, описывается следующим образом. Система имеет один сервер и  $N$  ( $N \geq 2$ ) очередей с неограниченным числом мест для ожидания.

В  $i$ -ю очередь поступает стационарный пуассоновский поток заявок с параметром  $\lambda_i$ . Времена обслуживания заявок в очереди  $Q_i$  независимы и одинаково распределены с функцией распределения  $B_i(t)$  со средним  $b_i = \int_0^{\infty} t dB_i(t)$ , и вторым моментом  $b_i^{(2)}$ . Полагаем, что потоки заявок и времена обслуживания заявок независимы [2, 4].

Сервер посещает очереди, следуя определенному порядку опроса очередей и обслуживая их в соответствии с выбранной дисциплиной. Время подключения к очереди  $Q_i$ , называемое временем переключения, имеет функцию распределения  $S_i(t)$  со средним  $s_i$ , вторым моментом  $s_i^{(2)}$  и ПЛС  $\tilde{S}_i(x)$ ,  $i, j = \overline{1, N}$ .

Обозначим через  $p_i = \lambda_i b_i$  загрузку очереди  $Q_i$ , через  $\rho = \sum_{i=1}^N p_i$  – загрузку системы. Для систем с циклическим или периодическим опросом очередей обозначим также через  $s$  и  $s^{(2)}$  первый и второй моменты совокупной длительности переключений сервера за один цикл:

$$s = \sum_{j=1}^N S_j, \quad s^{(2)} = s^2 + \sum_{j=1}^N (s_j^{(2)} - s_j^2).$$

Будем говорить, что система массового обслуживания соответствует  $i$ -й очереди системы поллинга, если поток заявок в эту систему является стационарным пуассоновским с параметром  $\lambda_i$ , а время обслуживания заявок имеет функцию распределения  $B_i(t)$ .

Под моментом опроса (поллинга) понимается момент времени, когда сервер принимает решение о том, сколько заявок в очереди он будет обслуживать при этом посещении. Обычно за момент опроса принимается момент, когда сервер завершил переключение к очереди и готов начать ее обслуживание. Моментом опроса также иногда считают момент, когда становится доступной информация о числе заявок в очереди [2 – 4].

Для систем с циклическим опросом и шлюзовым или исчерпывающим обслуживанием среднее время цикла складывается из времени, когда сервер обслуживает очереди (на это он тратит долю времени  $\rho$ ), и времени, когда он переключается между очередями (на это он тратит в среднем время  $s$  за цикл). Таким образом,  $C = \rho C + s$ , отсюда получаем:  $C = \frac{s}{1-\rho}$  [3, 4].

Применение таких моделей управления в беспроводных сетях высокоскоростного широкополосного доступа, позволит решать задачи многочисленного конкурирующего доступа к сети, делать невозможным возникновение коллизии, а также гарантировать приоритетный доступ к среде поступающему сигналу.

### Библиографический список

1. **Широкополосные** беспроводные сети передачи информации / В. М. Вишнеvский, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. – М. : Техносфера, 2005. – 315 с.
2. **Вишнеvский, В. М.** Системы поллинга: теория и применение в широкополосных беспроводных сетях / В. М. Вишнеvский, О. В. Семенов – М. : Техносфера, 2007. – 312 с.
3. **Применение** алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762. – DOI: 10.15827/0236-235X.031

4. **Muromtsev, D. Yu.** Intelligent Sensor in Control Systems for Objects with Changing Thermophysical Properties / O. A. Belousov, D. Yu. Muromtsev, M. P. Belyaev // Journal of Physics: Conference Series. – International Scientific and Technical Conference on Metrology, Standardization, Quality: Theory and Practice, MSQ 2017. – Omsk, April 2018. – V. 998, Is. 1.

*Работа выполнена в центре коллективного пользования «Радиоэлектроника и связь» с использованием оборудования «ОБЗОР-804»*

## **ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СТАНДАРТОВ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО БЕСПРОВОДНОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА В СЕТЯХ УПРАВЛЕНИЯ ИЛИ СБОРА ДАННЫХ**

***М. М. Кирюпин, С. В. Бабкин***

*Тамбовский государственный университет*

В настоящее время, для созданий больших сетей управления или сбора информации с исследуемых или контролируемых объектов необходимо использовать эффективные системы управления на основе стандартов беспроводного высокоскоростного широкополосного доступа, таких как IEEE 802.15.4 (ZigBee), беспроводных сетей NanoNet, а так же сетей, работающих в экосистеме «Интернета вещей» (LPWAN).

Упомянутые выше стандарты имеют существенные преимущества перед другими стандартами беспроводной передачи данных. В частности, стабильное функционирование сети за счет малого энергопотребления, в сравнении с обычным стандартом IEEE 802.11 (Wi-Fi). Улучшенное качество и дальность связи при сложной помеховой обстановки, увеличение скорости передачи данных и т.д. Самым производительным из этих стандартов является LPWAN, на нем и акцентируем внимание [1].

LPWAN или энергоэффективные сети дальнего радиуса действия (Low-power Wide-area Network) – это новый тип беспроводных сетей, включающий в себя некоторое количество стандартов (сотовые и не сотовые), разработанный для передачи данных телеметрии различных устройств, сенсоров, датчиков и приборов учета на дальние расстояния [2, 3]. Появление сетей LPWAN, главным образом, связано с потребностями межмашинного общения (Machineto-machine, M2M) и передачей данных в рамках концепции «Интернета вещей» (Internet

of Things, IoT), где каждый объект, заключенный в данную экосистему будет постоянно находиться в сетевом доступе для пользователя или иных устройств, которые способны выполнять с ним определенные команды.

На данный момент пока не существует формальной спецификации на эту технологию, но большинство стандартов LPWAN выдерживают следующие параметры:

- низкая скорость передачи данных (от 100 бит/с до 1 Мбит/с);
- большой радиус действия (вплоть до и превышая 10 км);
- низкое энергопотребление (вплоть до и превышая 10 лет работы от батареи).

Центральными компонентами LPWAN-сети являются датчики, шлюзы и серверы. Структура сети выглядит следующим образом:

- *оконечные устройства*. Пользователи получают доступ к собранным данным с помощью ПК, ноутбуков и, в первую очередь, смартфонов (например, приложение для поиска парковочных мест);
- *сервер/облако + шлюз*. Шлюзы собирают данные с датчиков и передают их на сервер для хранения и обработки;
- *датчики*. Датчики, встроенные в предметы повседневной жизни, служат для их подключения к сети. Производство таких датчиков обходится довольно дешево, и они потребляют очень мало энергии [2, 3].

Беспроводной сегмент LPWAN-сети использует топологию «звезда», при которой все устройства посылают данные напрямую на базовые станции.

В отличие от стандартов ZigBee, который имеет не такой большой радиус действия, базовая станция LPWAN-сети, обслуживая большое количество устройств, связывается с ними напрямую без использования промежуточных узлов и охватывает сразу несколько объектов в радиусе своего действия. Такой подход упрощает внедрение решения на одном объекте, так как не требует установки промежуточного оборудования. Достаточно установить и включить конечное устройство. При развертывании сети на нескольких объектах это существенно снижает стоимость оборудования и работ на развертывание сети. Кроме того, отказоустойчивость всей системы повышается за счет формирования единой точки отказа [3].

Применение таких стандартов в беспроводных сетях высокоскоростного широкополосного доступа, в частности LPWAN, позволит значительно расширить зону покрытия сети, увеличить скорость передачи данных внутри сети, а также снизит стоимость системы и увеличит ее энергоэффективность.

## Библиографический список

1. **Широкополосные** беспроводные сети передачи информации / В. М. Вишнеvский, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. – М. : Техносфера, 2005. – 315 с.
2. **Применение** алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762. – DOI: 10.15827/0236-235X.031
3. **Muromtsev, D. Yu.** Intelligent Sensor in Control Systems for Objects with Changing Thermophysical Properties / О. А. Belousov, D. Yu. Muromtsev, M. P. Belyaev // Journal of Physics: Conference Series. – International Scientific and Technical Conference on Metrology, Standardization, Quality: Theory and Practice, MSQ 2017. – Omsk, April 2018. – V. 998, Is. 1.

*Работа выполнена в центре коллективного пользования «Радиоэлектроника и связь» с использованием оборудования «ОБЗОР-804»*

## АНАЛИЗ АПЕРТУРНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ДЛЯ СИСТЕМ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО БЕСПРОВОДНОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА Е-ДИАПАЗОНА

*А. Д. Киселев, М. А. Кудряшов*

*Тамбовский государственный университет*

С развитием Е-диапазона, где пропускная способность достигает 1 Гбит/с, требуется применение соответствующего оборудования, которое способно обеспечить дальность передачи данных на гигабитных скоростях, несмотря на затухание радиоволн. Одним из подходов для решения поставленной задачи является применение апертурных излучателей с узкой диаграммой направленности, что устраняет проблему интерференции различных источников сигнала и упрощает задачу частотного планирования.

Анализ апертурного излучателя для систем высокоскоростного беспроводного широкополосного доступа Е-диапазона сводится к расчету оптимального рупора, т.е. фазовая ошибка в раскрыве рупора не превышает допустимой величины, и фронт волны в раскрыве считается плоским.

Из заданного Е-диапазона 71...86 ГГц возьмем центральную рабочую частоту  $f = 78,5$  ГГц, тем самым обеспечим максимально

заданную ширину диаграммы направленности рупора в самых плохих условиях.

Тогда максимальная длина волны основного излучателя будет равна:

$$\lambda = \frac{c}{f_0} = 3,82 \text{ мм}, \quad (1)$$

где  $c$  – скорость света, равная  $3 \cdot 10^8$  м/с<sup>2</sup>;  $f_0$  – центральная частота рабочей полосы частот антенны.

По заданному коэффициенту направленного действия найдем площадь раскрыва:

$$S = \frac{D\lambda^2}{4\pi\vartheta} = \frac{30 \cdot 0,00375^2}{4\pi \cdot 0,64} = 54,432 \text{ мм}^2, \quad (2)$$

где  $D$  – КНД излучателя;  $\vartheta$  – коэффициент использования поверхности рупора;  $\lambda$  – длина волны основного излучателя.

Чтобы главные лепестки в обеих плоскостях имели одинаковую ширину, воспользуемся соотношением (3):

$$m = \frac{a_p}{b_p} \approx 1,5, \quad (3)$$

где  $a_p$  и  $b_p$  – стороны раскрыва.

Из соотношения  $S = a_p b_p$  вычислим размеры раскрыва рупора.

$$b_p = \sqrt{\frac{S}{m}} = \sqrt{\frac{54,532}{1,5}} = 6,024 \text{ мм}, \quad (4)$$

$$a_p = m b_p = 1,5 \cdot 6,024 = 9,036 \text{ мм}, \quad (5)$$

где  $S$  – площадь раскрыва.

Определим продольное сечение рупора в  $E$  и  $H$  плоскостях:

$$R_H = \frac{a_p^2}{3\lambda} = 7,125 \text{ мм}, \quad (6)$$

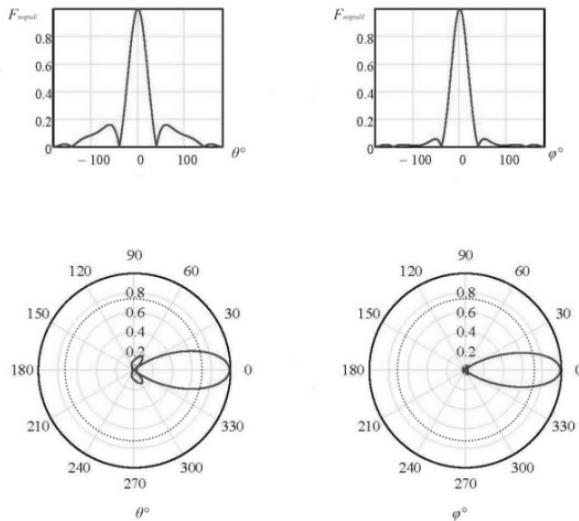
$$R_E = \frac{b_p^2}{2\lambda} = 4,75 \text{ мм}. \quad (7)$$

ДН рупорной антенны при возбуждении ее волной типа  $H_{10}$  можно определить по выражениям (8) и (9).

$$F_H(\varphi) = \frac{1 + \cos \varphi}{2} \frac{\cos\left(\frac{\pi a_p}{\lambda} \sin \varphi\right)}{1 - \left(\frac{2}{\pi} \frac{\pi a_p}{\lambda} \sin \varphi\right)^2}, \quad (8)$$

$$F_E(\theta) = \frac{1 + \cos \varphi}{2} \frac{\sin\left(\frac{\pi b_p}{\lambda} \sin \theta\right)}{\frac{\pi b_p}{\lambda} \sin \theta}. \quad (9)$$

На основе данных аналитических выражений, выполним построение диаграммы направленности в двух плоскостях в декартовой и полярной системе координат (рис. 1).



**Рим. 1. Диаграммы направленности по напряженности поля в плоскостях  $E$  и  $H$  в декартовой и полярной системе координат**

Анализ ДН показывает, что ширина диаграммы направленности для  $H$  и  $E$  плоскостей по уровню 0,707 приблизительно равна  $20^\circ$ , также имеет неплохой КНД и  $K_u$ , что позволяет говорить о том, что данный тип излучателя можно использовать для данного диапазона. Таким образом, использование данного излучателя в составе одиночных

антенн или в составе антенных решеток позволит адаптироваться высокоскоростным беспроводным системам передачи данных к воздействию атмосферных факторов, которые влияют на затухание радиоволн и обеспечить дальность связи на гигабитных скоростях.

### Библиографический список

1. **Воскресенский, Д. И.** Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток / Д. И. Воскресенский. – М. : Радиотехника, 2012. – 744 с.

2. **Применение** алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762. – DOI: 10.15827/0236-235X.031

3. **Muromtsev, D. Yu.** Intelligent Sensor in Control Systems for Objects with Changing Thermophysical Properties / О. А. Belousov, D. Yu. Muromtsev, M. P. Belyaev // Journal of Physics: Conference Series. – International Scientific and Technical Conference on Metrology, Standardization, Quality: Theory and Practice, MSQ 2017. – Omsk, April 2018. – V. 998, Is. 1.

*Работа выполнена в центре коллективного пользования «Радиоэлектроника и связь» с использованием оборудования «ОБЗОР-804»*

## СИНТЕЗ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ СИСТЕМ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО БЕСПРОВОДНОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА Е-ДИАПАЗОНА

*А. Д. Киселев, М. А. Кудряшов*

*Тамбовский государственный университет*

В настоящее время бурно развиваются системы беспроводного широкополосного доступа, осваиваются более новые диапазоны, к которым предъявляются высокие требования, в частности требования, касающиеся применения высокоэффективного антенного комплекса с формированием узких диаграмм направленности антенн и большого затухания сигнала, что делает помехи в этих диапазонах маловероятными.

Для узконаправленного излучения в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях и обеспечения возможностей формирования нескольких лучей в некотором пространственном секторе углов необ-

ходимо использовать двумерную (поверхностную) решетку излучателей. На практике находят применение поверхностные антенные решетки (АР) самой разнообразной формы и структуры. Однако наибольшее распространение имеет плоская фазированная антенная решетка (ФАР) [1, 2]. Важным вопросом при создании плоских ФАР является выбор способа расположения элементов. Среди регулярных способов размещения элементов наибольшую популярность имеют два: по узлам прямоугольной сетки и по узлам гексагональной сетки. Для решения поставленной задачи выберем АР с гексагональным способом размещения элементов, применение такого способа размещения позволит увеличить расстояние между соседними излучателями, т.е. уменьшить их взаимное влияние друг на друга и вероятность появления интерференционных главных максимумов высших порядков, облегчает конструктивное размещение фазированных устройств около излучателей решетки [3, 4].

Согласно теореме перемножения диаграмма направленности (ДН) плоской фазированной антенной решетки, состоящей из одинаковых излучателей, будет иметь следующий вид:

$$F_p(\theta, \varphi) = F(\theta, \varphi)F_\varepsilon(\theta, \varphi), \quad (1)$$

где  $F(\theta, \varphi)$  – диаграмма направленности одиночного излучателя;  $F_\varepsilon(\theta, \varphi)$  – множитель антенной решетки, определяемый по формуле:

$$F_\varepsilon(\theta, \varphi) = \sum_{m, n=1}^{M, N} A_{mn} \exp[i(\Phi_{mn} + \Phi_{mn}^{\Pi})], \quad (2)$$

где  $A_{mn}$  – амплитуда возбуждения элемента решетки;

$\Phi_{mn}^{\Pi} = k(x_{mn} \cos \varphi + y_{mn} \sin \varphi) \sin \theta$  – пространственный фазовый сдвиг для направления наблюдения  $(\theta, \varphi)$ .

На основе аналитических выражений построим компьютерную модель плоской ФАР из 18 одинаковых рупорных излучателей (рис. 1) и определим основные электродинамические характеристики в среде моделирования (рис. 2, 3) [4].

В результате моделирования были получены нормированные ДН для  $H$  и  $E$  плоскостей антенной решетки. Анализ ДН показывает о многолучевости, что делает эту решетку управляемой с помощью диаграмм, образующих устройств (ДОУ). Ширина диаграммы направленности для  $H$  и  $E$  плоскостей по уровню 0,707 приблизительно равна  $2^\circ$ , что позволяет говорить о целесообразном использовании ее в данном диапазоне. Таким образом, использование данной антенной решетки

в  $E$ -диапазоне частот позволит расширить полосу пропускания высокоскоростного широкополосного беспроводного доступа, а явление многолучевости построить множество каналов передачи.

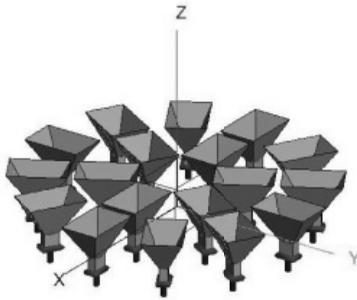
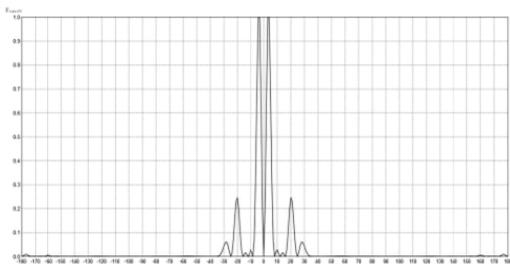
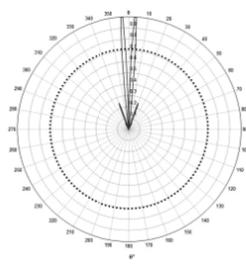


Рис. 1. 3D-модель ФАР из 18 излучателей

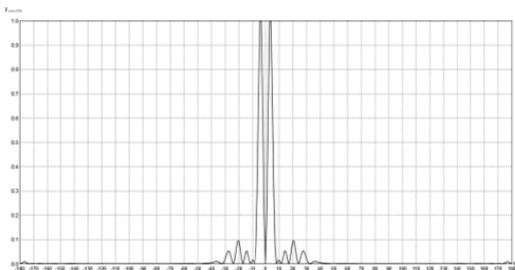


а)

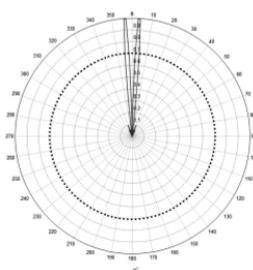


б)

Рис. 2. ДН по напряженности поля в плоскости  $E$  в декартовой (а) и полярной (б) системе координат



а)



б)

Рис. 3. ДН по напряженности поля в плоскости  $H$  в декартовой (а) и полярной (б) системе координат

## Библиографический список

1. **Воскресенский, Д. И.** Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток / Д. И. Воскресенский. – М. : Радиотехника, 2012. – 744 с.
2. **Антенная** решетка на основе широкополосной планарно-щелевой антенны с экспоненциальным изменением ширины щели для систем беспроводного широкополосного доступа / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносков, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 2. – С. 184 – 194.
3. **Применение** алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762. – DOI: 10.15827/0236-235X.031
4. **Muromtsev, D. Yu.** Intelligent Sensor in Control Systems for Objects with Changing Thermophysical Properties / O. A. Belousov, D. Yu. Muromtsev, M. P. Belyaev // Journal of Physics: Conference Series. – International Scientific and Technical Conference on Metrology, Standardization, Quality: Theory and Practice, MSQ 2017. – Omsk, April 2018. – V. 998, Is. 1.

*Работа выполнена в центре коллективного пользования «Радиоэлектроника и связь» с использованием оборудования «ОБЗОР-804»*

## СИСТЕМА УМНОГО УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

*И. С. Козлов, Г. Е. Контимиров, А. А. Хоменко*

*Дальневосточный федеральный университет*

В настоящее время активно развивается концепция «Умный город». Ее целью является улучшение качества жизни с помощью интеграции в городскую среду информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) и интернета вещей (IoT). Использование этих технологий позволяет повысить эффективность обслуживания и удовлетворить нужды жителей современного города.

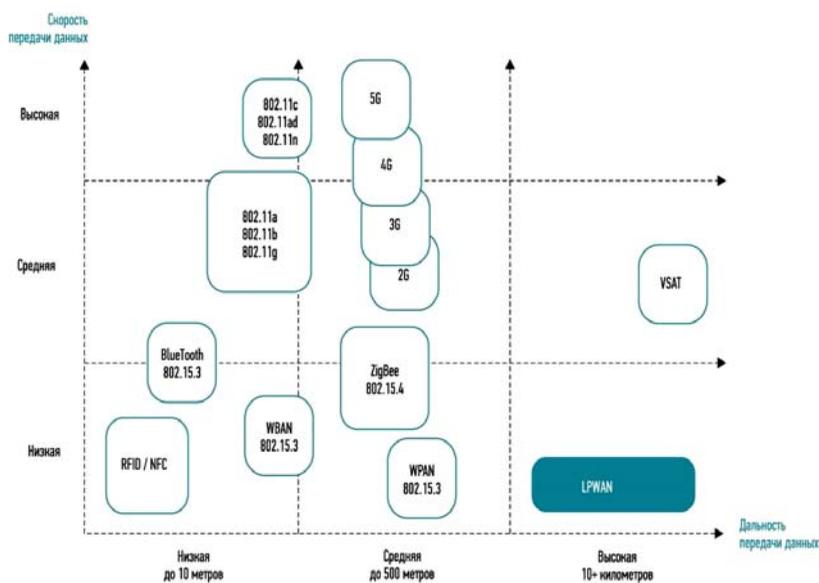
Информационные и коммуникационные технологии позволяют городским властям напрямую взаимодействовать с городской инфра-

структурой, и следить за тем, что происходит в городе, как город развивается, и какие способы позволяют улучшить качество жизни. Это достигается за счет использования датчиков, интегрированных в режиме реального времени. Данные, собранные с систем таких датчиков, скапливаются для анализа в едином центре обработки данных.

Реализация системы дистанционного мониторинга и управления уличным освещением позволит удаленно управлять уличными фонарями, вовремя выявлять неисправности, а также включает возможность адаптивного изменения уровня освещенности, что уменьшит затраты электроэнергии.

Для реализации подобной системы хорошо подходит технология LPWAN. Это новый тип беспроводных сетей, разработанный для передачи данных телеметрии различных устройств, сенсоров, датчиков и приборов учета на дальние расстояния. Использование беспроводной технологии в той или иной сфере определяется двумя ключевыми параметрами – дальностью связи и скоростью передачи данных (рис. 1).

Структурная схема системы умного уличного освещения на технологии LPWAN изображена на рис. 2.



**Рис. 1. Сравнение беспроводных технологий по скорости и передаче данных**

Беспроводной сегмент LPWAN-сети использует топологию «звезда» т.е. все устройства посылают данные напрямую на базовые станции. Сама сеть состоит из таких элементов, как: конечное устройство, шлюз, сетевой сервер, сервер приложений. В технологии LPWAN могут использоваться такие протоколы передачи данных как: LoRaWAN, NB-IoT, СТРИЖ. Каждый из протоколов обладают своими преимуществами и недостатками.

Конечное устройство (светильник) подключено к модулю управления, данное устройство, предназначенное для осуществления управляющих и измерительных функций, передает (принимает) информацию на базовую станцию, которая является шлюзом. Базовая станция принимает и обрабатывает данные от датчиков, после чего передает их через транзитную мобильную сеть на сетевой сервер.

Сетевой сервер осуществляет функции управления сетью: задание расписания, адаптация скорости, хранение и обработка принимаемых данных, при помощи сервера приложений сам оператор может непосредственно контролировать работу датчиков и собирать информацию о состоянии ламп.



**Рис. 2. Структурная схема системы умного уличного освещения на технологии LPWAN**

## **СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СКАНИРОВАНИЕМ ЛУЧА НА ОСНОВЕ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ДЛЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ МЕТЕОСТАНЦИИ**

*М. А. Кудряшов, О. А. Белоусов, А. Д. Киселев*

*Тамбовский государственный технический университет*

В настоящее время широкое использование метеорологических станций, предназначенных для мониторинга параметров атмосферы, выявило ряд недостатков при использовании штатных антенных систем, предназначенных для данных станций. Самыми весомыми из них являются: относительно небольшой угол сканирования и массо-габаритные показатели. Также для того чтобы более оперативно проводить мониторинг радиозондов или иметь множество каналов для приема информации, используются антенные системы, в основе которых используются антенные решетки с механическим приводом. Это является их недостатком, так как скорость переключения и скорость формирования необходимой диаграммы направленности напрямую зависит от скорости движения механического привода. Также при этом точность позиционирования становится недостаточно высокой. [1, 2].

Поэтому для минимизации вышеперечисленных недостатков необходимо использовать эффективные антенные системы, в частности цифровые фазированные антенные решетки (ФАР) с электрическим сканированием луча [2, 3].

Для решения поставленных задач синтезируем излучатель с круговой, либо эллиптической поляризацией. Наиболее подходящим вариантом является квадрифилярная спиральная антенна (КСА). КСА – это многоэлементная антенная система, которая состоит из нескольких излучателей. Излучатели соединены со схемой питания, которая формирует возбуждающие напряжения с нужными фазами и амплитудами на входах излучателей. Сама антенна состоит из двух рамок, которые повернуты относительно друг друга на 90 градусов по фазе. Она обладает достаточно высоким коэффициентом усиления, и за счет увеличения геометрических размеров спирали можно достичь необходимого коэффициента усиления и соответственно узкой диаграммы направленности.

Данный тип излучателя обладает следующими электродинамическими характеристиками и геометрическими параметрами: коэффициент усиления 3,6 дБи, коэффициент отражения –46 дБ, коэффициент стоячей волны не более 1 на заданной частоте, а так же имеет следующие геометрические характеристики: высота спирали – 50 мм, радиус спирали – 10 мм. Коэффициент эллиптичности смоделированного

излучателя близок к единице, что означает, что антенна излучает волны с поляризацией, близкой к круговой. Также при своих небольших электрических размерах данный КСА имеет хорошую направленность, интенсивнее излучая в верхнее полупространство.

Анализ такого типа излучателей позволяет сделать вывод, что его можно использовать в составе фазированной антенной решетки [2].

На основе вышеизложенного излучателя синтезируется фазированная антенная решетка, в состав которой будут входить 225 КСА. Данная ФАР имеет коэффициент усиления 14 дБи и ширину диаграммы направленности  $13^\circ$ , что является хорошим результатом для выполнения поставленных задач.

Такой тип антенной решетки обладает малыми массогабаритными показателями. Также у этого типа решетки, в составе радиолокационной станции, увеличивается скорость перестройки, увеличивается количество каналов приема, что, как было описано выше, позволяет принимать больше информации, а также данные системы быстры к развертыванию и впоследствии возможны к применению в составе ряда других комплексов.

Таким образом, применение адаптивной цилиндрической антенной решетки с электрическим сканированием луча позволит строить эффективные радиолокационные системы с хорошими массогабаритными и электрическими показателями.

### Библиографический список

1. **Воскресенский, Д. И.** Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток / Д. И. Воскресенский. – М. : Радиотехника, 2012. – 744 с.
2. **Применение** алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762. – DOI: 10.15827/0236-235X.031
3. **Muromtsev, D. Yu.** Intelligent Sensor in Control Systems for Objects with Changing Thermophysical Properties / О. А. Belousov, D. Yu. Muromtsev, M. P. Belyaev // Journal of Physics: Conference Series. – International Scientific and Technical Conference on Metrology, Standardization, Quality: Theory and Practice, MSQ 2017. – Omsk, April 2018. – V. 998, Is. 1.

*Работа выполнена в центре коллективного пользования «Радиоэлектроника и связь» с использованием оборудования «ОБЗОР-804»*

# АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ НА БАЗЕ ПЛИС

*Д. С. Куренков, З. М. Селиванова*

*Тамбовский государственный технический университет*

В современном производстве интегральных микросхем (ИМС) в связи с непрерывным усложнением изделий и технологических процессов растет востребованность методов неразрушающего контроля (НК) качественных свойств ИМС на различных стадиях их производства [1 – 3]. Традиционные методы исследования (оптическая и электронная микроскопия) малопригодны для изучения внутренних областей непрозрачных материалов, так как невозможно определить тепловые свойства микроструктур, изучение которых позволяет получить необходимую информацию о теплопроводности и дефектах подложки интегральных микросхем [4, 5]. На рисунке 1 представлена структурная схема разработанной информационно-измерительной системы (ИИС) для контроля параметров ИМС с набором ПЛИС – программируемых логических интегральных схем. Набор ПЛИС применяется для расширения функциональных возможностей ИИС при определении параметров  $P_{ИМС}$  подложек интегральных микросхем.



**Рис. 1. Структурная схема ИИС для контроля параметров ИМС**

Информационно-измерительная система включает следующие структурные компоненты: ПК – персональный компьютер; ЦИК – цифровой измерительный канал; ИЗ – измерительный зонд; МК – микроконтроллер; УУН – устройство управления нагревом исследуемых ИМС. Разработано алгоритмическое обеспечение ИИС, включающее математическую модель формализованного описания процесса измерения параметров ИМС с использованием ИИС. Модель представлена кортежем следующих множеств:

$$M_{\text{ИИС}} = \langle X, V_{\text{ДФ}}, V_{\text{М}}, V_{\text{ИМС}} \rangle,$$

где  $X = \{X_i, i = 1, \dots, 3\}$  – множество входных воздействий ( $T_i$  – температура,  $\tau_i$  – время,  $F_i$  – частота тепловых импульсов);  $V_{\text{ДФ}} = \{V_{\text{ДФ}_i}, i = 1, \dots, 4\}$  – множество дестабилизирующих факторов ( $T_{\text{ОС}}$  – температура окружающей среды,  $\psi_i$  – шероховатость поверхности ИМ,  $R_{T_i}$  – контактное сопротивление в системе «Измерительный зонд – ИМС»,  $W_i$  – влажность);  $V_{\text{М}} = \{V_{\text{М}_i}, i = 1, \dots, k\}$  – множество методов НК;  $V_{\text{РИМС}} = \{V_{\text{РИМС}_i}, i = 1, \dots, r\}$  – множество определяемых параметров ИМС ( $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $c$  – теплоемкость,  $\psi_i$  – шероховатость поверхности).

### Библиографический список

1. **Стасенко, К. С.** Метод и интеллектуальная информационно-измерительная система для повышения точности допускового контроля теплопроводности теплоизоляционных материалов / К. С. Стасенко, З. М. Селиванова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 1. – С. 42 – 49.
2. **Чернышова, Т. И.** Математическое моделирование метрологических характеристик при оценке метрологической надежности электронных измерительных средств / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская, Р. Ю. Курносков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – Т. 22, № 4. – С. 532 – 537.
3. **Чернышов, Н. Г.** Построение системы телеметрии энергоемкими объектами с использованием промышленных контроллеров ICP DAS / Н. Г. Чернышов, Р. В. Цыганков, К. В. Чикаев // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 1. – С. 225 – 230.
4. **Павлов, В. И.** Оптимизация функционирования измерительных систем, устанавливаемых на подвижные объекты / В. И. Павлов, В. В. Аксенов, Т. В. Аксенова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 18, № 4. – С. 821 – 826.
5. **Зырянов, Ю. Т.** Модель закона распределения непрерывных случайных величин на основе гамма-распределения / Ю. Т. Зырянов, И. Г. Карпов, О. В. Мельник // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – № 3(305). – С. 26 – 30.

## ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО КАНАЛА РАДИОСВЯЗИ В ДИАПАЗОНЕ 37...40 ГГц

*Р. Ю. Курносков, П. И. Карелин, А. А. Тришаков*

*Тамбовский государственный технический университет*

Радиорелейная связь – особый тип беспроводной связи, позволяющий передавать данные на большие расстояния (десятки и сотни километров), с высокой пропускной способностью (от сотен мегабит до нескольких гигабит). Прием и передача данных разнесены по разным частотам и происходят одновременно – все РРЛ работают в режиме полного дуплекса. Радиорелейные станции (РРС) обычно используются: для создания высокоскоростных беспроводных магистралей провайдерами, сотовыми операторами, в крупных корпоративных сетях для передачи информации по беспроводным мостам между различными подразделениями, для каналов «последней мили» и других подобных задач [1, 2]. Радиорелейные станции можно разделить на два типа. Первый – это радиорелейные станции, состоящие из 3 модулей.

Внешний и внутренний блоки соединяются коаксиальным кабелем, антенна и внешний модуль могут соединяться непосредственно или также с помощью кабеля. Одним из очевидных недостатков такой конструкции является кабельное соединение, приводящее к потерям на пути от передатчика к антенне, а также двойное преобразование сигнала с частоты на частоту.

Второй тип радиорелейных станций – это интегрированные системы, в которых весь функционал сосредоточен в наружном блоке. Антенны в них могут быть встроенными, соединяться с передатчиком непосредственно, или с помощью RF-кабеля – все это существенно снижает потери, по сравнению с обычным, довольно протяженным кабельным соединением. РРЛ второго типа гораздо более компактны.

Диапазон частот, который может использоваться для развертывания РРЛ, чрезвычайно широк – от 400 МГц до 94 ГГц. Организация радиосвязи осуществлялась в безлицензионном миллиметровом диапазоне радиоволн – 37...39,5 ГГц [3]. В этом диапазоне сосуществуют как очень популярные полосы частот, так и полосы, использование которых пока что не столь распространено. В настоящее время только диапазон 38 ГГц используется активно, особенно в Европе, тогда как остальные полосы еще ждут своего активного использования. Система

OmniBAS представляет собой беспроводную радиорелейную Ethernet платформу. Она позволяет довести пропускную способность до 400 Мбит/с (в среднем) по одной линии, обеспечивая при этом ширину полосы частот канала до 56 МГц. OmniBAS – это система раздельного монтажа, состоящая из компактных внутренних блоков (OmniBAS-2W, OmniBAS-4W, OmniBAS-8W) и наружных блоков (ODU) с интегрированными антеннами. Реализованное в системе OmniBAS статистическое мультиплексирование позволяет максимально оптимизировать пропускную способность существующей линии связи, а применение адаптивной модуляции (от QPSK до 256QAM) обеспечивает повышение доступности услуг при любых погодных условиях. Ретрансляция трафика устаревших, но все еще используемых видов услуг легко осуществляется за счет возможностей псевдопроводного режима (PW), а также за счет использования сетевых интерфейсов E1, STM-1 (VC-12, VC-4) и Gigabit Ethernet.

В результате работы с помощью приложения Lan Speed Test между двумя оконечными устройствами было проведено измерение пропускной способности настроенного канала связи, которая составила 820 Мбит/с, что является достаточно хорошим показателем для данного типа частот и может быть аналогом оптических линий связи в трудно доступных участках, где нет возможности прокладки проводных линий связи.

### Библиографический список

1. **Вишневский, В. М.** Системы поллинга: теория и применение в широкополосных беспроводных сетях / В. М. Вишневский, О. В. Семенов. – М. : Техносфера, 2007. – 312 с.

2. **Применение** алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762. – DOI: 10.15827/0236-235X.031

3. **Synthesis** of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id.032111.

## РЕАЛИЗАЦИЯ МАРШРУТИЗИРУЮЩЕЙ КОММУТАЦИИ НА ПРИМЕРЕ КОММУТАТОРА HUAWEI QUIDWAY S2328P-EL-AC

*Р. Ю. Курносков, П. И. Карелин, А. А. Тришаков*

*Тамбовский государственный технический университет*

Решение каждой из частных задач коммутации это определение потоков и соответствующих маршрутов, фиксация маршрутов в конфигурационных параметрах и таблицах сетевых устройств, распознавание потоков и передача данных между интерфейсами одного устройства, мультиплексирование/демультиплексирование потоков и разделение среды передачи – тесно связано с решением всех остальных. Комплекс технических решений обобщенной задачи коммутации в совокупности составляет базис любой сетевой технологии. От того, какой механизм прокладки маршрутов, продвижения данных и совместного использования каналов связи заложен в той или иной сетевой технологии, зависят ее фундаментальные свойства [1]. Маршрутизирующий коммутатор действует как обычный маршрутизатор, в котором для выяснения маршрута каждого пакета используется информация, расположенная на 3-м уровне. Уменьшение стоимости и повышение производительности маршрутизирующего коммутатора достигаются благодаря сокращению числа выполняемых им функций и максимально возможному перемещению логических средств в интегральные схемы [2]. В чисто маршрутизирующем коммутаторе обработка информации для выбора маршрута тесно объединена с процессом коммутации и пакеты во время обработки остаются в пределах коммутирующего механизма. Маршрутизирующие коммутаторы функционируют практически так же, как и традиционные маршрутизаторы, и работают в соответствии с обычными протоколами маршрутизации. Однако необходимо иметь в виду весь комплекс их функций, поскольку некоторыми из них нередко жертвуют в пользу быстродействия и снижения цены. Чаще других исключаются функции, предусматривающие работу с протоколами, отличающимися от IP (такими как Apple Talk и IPX), и со сложными протоколами маршрутизации (подобными IP Multicast и OSPF), а также со средствами защиты (с применением шифрации и «брандмауэров»). Системы с маршрутизирующей коммутацией анонсированы компаниями Lucent Technologies, Nortel Networks, Cisco, Extreme Networks и др. В каждом из изделий для снижения нагрузки маршрутизаторов существующих сетей применяется метод ответвления (drop-in) трафика. Такие коммутаторы в большинстве случаев совместимы с имеющимся оборудованием. Маршру-

тизирующие коммутаторы предназначены прежде всего для комплекса зданий, хотя изделие по крайней мере одного поставщика – GRFIPS-switch фирмы Ascend – рассчитано на поставщиков услуг Интернета ISP (Internet Service Provider) и коммерческие службы связи. Например, Switch Node фирмы Bay Networks может действовать в режиме автообучения IP Autolearn, в котором коммутатор «узнает» топологию сети, контролируя трафик по протоколу определения адресов Address Resolution Protocol (ARP). Этот протокол используется в сети для согласования адресов 3-го и 2-го уровней. Таким образом, Switch Node можно прямо ставить в сеть без настройки его конфигурации на протокол маршрутизации и изменения установок любых уже имеющихся маршрутизаторов. Применение маршрутизирующей коммутации позволило более эффективно использовать ресурсы коммутатора, была увеличена пропускная способность с 13 Гбит/с до 78 Гбит/с, снижена задержка в сети с 15 мс до 1 мс, а также была проведена сегментации сети, что привело к повышению коллизийной устойчивости в целом.

### **Библиографический список**

1. **Кольтюков, Н. А.** Сетевые технологии: учеб. пособие / Н. А. Кольтюков, О. А. Белоусов. – Тамбов : ТГТУ, 2009. – 100 с.
2. **Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id.032111.**

## **СИНТЕЗ ДВУХГРЕБНЕВОЙ РУПОРНОЙ АНТЕННЫ**

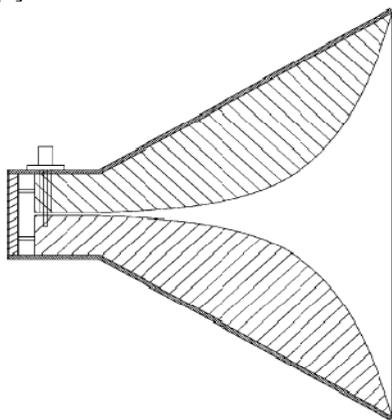
***М. А. Майоров, К. В. Скоморохов***

*Тамбовский государственный технический университет*

В современных реалиях СВЧ-устройств рупорные антенны имеют широкое применение, от антенн с малой апертурой до антенн с большой апертурой, которые используются в качестве антенн со средним усилением. Рупоры могут быть возбуждены в любой поляризации или комбинации поляризаций. Однонаправленная диаграмма делают рупоры, хорошо используемыми в лабораторных стандартах.

На рисунке 1 показан чертеж поперечного сечения гребневого рупора и показаны ключевые элементы конструкции. Коаксиальный кабель подается через центр одного гребня, а центральный проводник

перепрыгивает через зазор и питает второй гребень [1]. Мы находим коаксиальный кабель вблизи конца гребня, обрезанного до того, как он достигнет короткого замыкания задней стенки волновода, оставляя небольшой разрыв. Без гребней волновод отключается на низкочастотном конце звукового сигнала. Работа волновода ниже его частоты отсечки не мешает волне достигать задней стенки, потому что расстояние короткое [2].



**Рис. 1. Поперечное сечение двухгребневой рупорной антенны**

Оригинальные рупоры использовали волноводы в отсечке в точке подачи на самых низких частотах. При сужении боковых стенок, волновод работает над отсечкой на небольшом расстоянии от подачи, и волны распространяются в эту область. Срез означает только то, что волна не будет распространяться в длинном волноводе, но затухает при движении вдоль волновода [3, 4].

Для волновода с двумя ребрами мы аналитически размещаем плоскость заземления на полпути через Е-плоскость волновода и разделяем волновод на два волновода половинной высоты. Позже мы рассмотрим сопротивление, и общие сопротивление направляющей будет этими двумя направляющими половинной высоты последовательно. Учитывая ширину волновода  $a_1$  и высоту  $2b_1$  и ширину гребня  $a_2$  с зазором  $2b_2$ , решается для частоты среза использовать трансцендентное уравнение по пропускной способности в точке перехода между двумя волноводами половинной высоты. ТЕ-моды нечетного порядка имеют виртуальную разомкнутую цепь в центре гребня и короткое замыкание на стене. Отсечка происходит при  $k_c = 2p / \lambda_c = 2pf_c / c$  при  $c$ , равном скорости света:

$$\frac{\tan(k_c a_2 / 2)}{\eta b_2} + k_c cC - \frac{\cot[k_c (a_1 - a_2) / 2]}{\eta b_1} = 0. \quad (1)$$

Решается уравнение (2) численно для  $k_c$  для мод нечетного порядка. Четные моды имеют виртуальное короткое замыкание в центре, что приводит к аналогичному уравнению для числа отсечки  $k_c$ :

$$-\frac{\cot(k_c a_2 / 2)}{\eta b_2} + k_c cC - \frac{\cot[k_c (a_1 - a_2) / 2]}{\eta b_1} = 0. \quad (2)$$

Уравнение (1) используется для расчета длины волны отсечки мод  $TE_{10}$  и  $TE_{30}$  и уравнение (2) для расчета длины волны отсечки моды  $TE_{20}$  для заданных размеров. Проектируется волновод так, чтобы иметь подходящий низкочастотный обрез с полным сопротивлением, равным входному коаксиальному кабелю, внешний проводник которого подключен к одному гребню, а центральный проводник перепрыгивает через зазор для питания другого [4].

### Библиографический список

1. **Milligan, T. A.** Modern Antenna Design, 2nd ed., Wiley, Hoboken N. J. – 2005. – P. 365 – 368.
2. **Синтез** фазированной антенной решетки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEEE802.11, IEEE802.16 / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносов, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 21. – С. 266 – 272.
3. **Применение** алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762. – DOI: 10.15827/0236-235X.031
4. **Muromtsev, D. Yu.** Intelligent Sensor in Control Systems for Objects with Changing Thermophysical Properties / О. А. Belousov, D. Yu. Muromtsev, M. P. Belyaev // Journal of Physics: Conference Series. – International Scientific and Technical Conference on Metrology, Standardization, Quality: Theory and Practice, MSQ 2017. – Omsk, April 2018. – V. 998, Is. 1.

*Работа выполнена в центре коллективного пользования «Радиоэлектроника и связь» с использованием оборудования «ОБЗОР-804»*

## МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДЛЯ КРИПТОГРАФИИ

*В. В. Маслина, С. Н. Данилов*

*Тамбовский государственный технический университет*

Нередко в электронных системах присутствуют шумы, которые зачастую рассматриваются как мешающий фактор в работе устройств. Но иногда шум можно обратить и в свою пользу. Так, например, шум в системе можно использовать в качестве тестового сигнала для исследования самой системы и ее характеристик [1]. Иногда к генерируемому шуму есть особые требования с точки зрения случайности. Рассмотрим на примере криптографии. В этом случае для шифрования сообщений используют случайные последовательности (СП), играющие важную роль в формировании ключей и иницилирующих параметров для криптографических алгоритмов и не менее важную в формировании последовательностей в поточных криптосистемах.

Для достижения наилучших криптографических свойств криптосистемы используют идеальные случайные последовательности, именуемые равномерно распределенными. Их математическая модель представляется реализацией последовательности независимых случайных величин, имеющих равномерное распределение вероятностей на заданном конечном алфавите.

Для формирования таких последовательностей зачастую используют генераторы псевдослучайных чисел, которые, в свою очередь, используют метод вычетов и его модификации (чаще всего это сложение по модулю). Так в одном из методов берут дробное число с длинной мантиссой и умножают его на большое целое число  $M$ . Затем из результата (большое число плюс дробная часть) дробную часть берут в качестве случайного числа. Для того чтобы дробные части были максимально похожи на стандартные случайные числа достаточно взять большой множитель  $M$ . Так, например, современные генераторы используют множители порядка  $M = 5^{100109}$ . Тем не менее, метод вычетов с определенным шагом зачастую приводит к «зацикливанию» генератора [2].

Таким образом, для получения детерминированных случайных чисел используют алгоритмические генераторы псевдослучайных чисел. Для квантовой криптографии и других приложений, требующих высокое качество случайности этот метод не подходит. В этом случае необходимо использовать истинно случайные числа, полученные при помощи физических недетерминированных процессов.

Источниками настоящих случайных чисел могут являться космическое излучение, шум в резисторе, детекторы событий ионизирующей радиации и т.п., но они применяются в криптографических приложениях довольно редко [3, 4].

Генераторы случайных чисел (ГСЧ) – неотъемлемая часть безопасности сети, применяемые для:

- шифрования;
- генерации «соли» для хранения паролей;
- генерации паролей.

Любые программные ГСЧ, формирующие СП только алгебраическими преобразованиями и не использующие внешних «источников случайности», не дают случайных чисел. Последовательность на выходе может быть похожа на случайную, но она подчиняется некоторому закону, а значит, со временем заикливается [5].

СП может характеризоваться четырьмя факторами [6]:

- устойчивостью частот элементов СП – стохастичностью;
- сложностью формирующего СП объекта – хаотичностью;
- сходством с подавляющим большинством подобных последовательностей – типичностью;
- непредсказуемостью.

Последний фактор отличает хорошие последовательности с точки зрения криптографии и его можно обеспечить аппаратным формированием СП.

### Библиографический список

1. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

2. **Estimation** of Location Coordinates in the System of Vehicle Control to Ensure Traffic Safety / A. P. Pudovkin, S. N. Danilov, A. V. Ivanov, Yu. N. Panasuk // International Conference on Recent Advanced in Engineering, Technology and Applied Sciens. – USA, Detroit, 2017. – С. 32 – 49.

3. **Synthesis** of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id.032111.

4. **Synthesis** of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation / A. P. Pudovkin, Yu N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.

5. **Атака** на генератор псевдослучайных чисел [Электронный ресурс] // Wikipedia. – URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1735206> (дата обращения : 14.03.2019).

6. **Naahr, M.** Introduction to Randomness and Random Numbers [Электронный ресурс] // RANDOM.ORG (Randomness and Integrity Services Ltd.). – URL : <https://www.random.org/randomness/> (дата обращения : 14.03.2019).

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ OrCAD**

***Р. Р. Мукминов, В. А. Глушков***

*Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова*

В настоящее время на рынке существует множество программ, позволяющих проектировать какие-либо устройства, но мы рассмотрим продукт *Or CAD Capture* компании *Cadence Design Systems*. *Or CAD Capture* – это графический редактор принципиальных схем, инструмент моделирования и проектирования аналоговых и цифровых систем. Смоделируем схему для получения статической характеристики ОУ, определим по ней напряжение смещения и напряжение дрейфа. Далее проверим эти значения, поставив их на вход ОУ. Определим коэффициент усиления усилителя.

*Дано:*

Напряжение питания ОУ:  $\pm 15$  В.

Марка ОУ: UA772.

$R_1 = 16$  кОм;  $R_2 = 4$  кОм.

1. Составим схему для построения статической характеристики ОУ (рис. 1).

В настройках моделирования зададим необходимые значения и запускаем моделирование.

Получили статическую характеристику ОУ, изображенную на рис. 2. Определим напряжение смещения ( $U_{см}$ ) и напряжение дрейфа ( $U_{др}$ ) по ней.

$$U_{см} = -114,268 \text{ мкВ}; \quad U_{др} = 14,702 \text{ В.}$$

Определим коэффициент усиления усилителя ( $K_0$ ). Возьмем на статической характеристике приращение  $U_{\text{ВЫХ}}$  (ось ординат) к  $U_{\text{ВХ}}$  (ось абсцисс).

$$K_0 = \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{\Delta U_{\text{ВХ}}} = \frac{(-11,430 - 6,3223)}{(-140,039 - 100,013) \cdot 10^{-6}} = \frac{-17,752}{-40,026 \cdot 10^{-6}} = 443\,511,717.$$

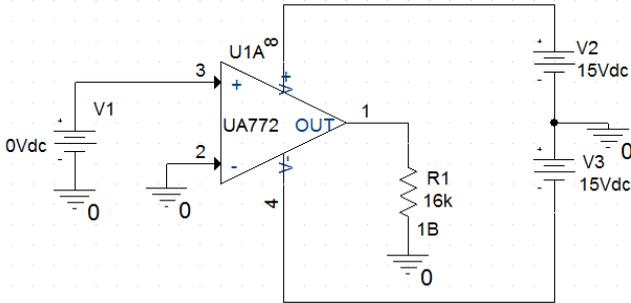


Рис. 1. Схема для построения статической характеристики ОУ

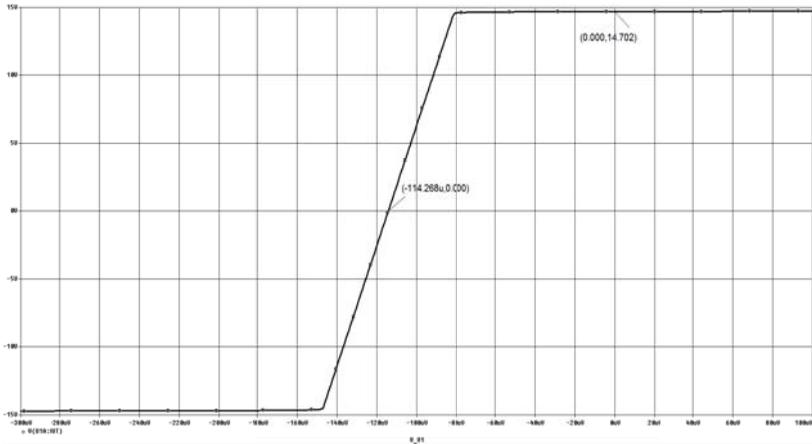


Рис. 2. Статическая характеристика ОУ

2. Поставим у источника напряжения  $V_1$  потенциал 0 В ( $U_{\text{ВХ}} = 0$ ) и на выходе ОУ получим  $U$  дрейфа.

Поставим у источника напряжения  $V_1$  потенциал  $-114,268$  мкВ ( $U_{\text{ВХ}} = U_{\text{СМ}}$ ) и на выходе ОУ получим почти нуль ( $33,13$  мкВ, нуль будет тогда, когда ОУ будет идеальным).

*Вывод:* в данной работе мы с помощью программы Or CAD Capture получили статическую характеристику ОУ, определили по ней напряжение смещения ( $U_{см} = -114,268$  мкВ) и напряжение дрейфа ( $U_{др} = 14,702$  В), проверили эти значения, поставив их на вход ОУ. Определили коэффициент усиления усилителя ( $K_0 = 443\ 511,717$ ).

### Библиографический список

1. **Полонников Д. Е.** Операционные усилители. Принципы построения, теория, схемотехника / Д. Е. Полонников. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 216 с.
2. **Самоучитель** по OrCAD. – URL : <https://lib.qrz.ru/book/export/html/6918> (дата обращения : 25.04.2019).
3. **Ушаков, П. А.** Осваиваем электронику с ЭВМ : учеб. пособие / П. А. Ушаков. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2003. – 184 с.
4. **Ушаков, П. А.** Электронная техника [Текст] : учеб. пособие / П. А. Ушаков. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2006. – 268 с.

## АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ КООРДИНАТ ДПЛА ПРИ УМЕРЕННОЙ ВЕЛИЧИНЕ ШУМА

*У. Р. Наимов, С. Н. Данилов*

*Тамбовский государственный технический университет*

Пусть система слежения за дистанционно-пилотируемым летательным аппаратом (ДПЛА) подвергается воздействию двух типов дестабилизирующих факторов: относительно медленных изменений отслеживаемых параметров и быстрых изменений [1, 2].

Решить задачу достаточно точного слежения, в том числе и в условиях помех, возможно путем применения следящих измерителей, в которых могут использовать различные сочетания моделей состояния.

В соответствии с методом синтеза систем со случайной структурой [3], можно получить алгоритм функционирования системы.

Оценки параметров на выходе первого канала фильтра равны:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k) + \hat{v}^{(1)}(k)T + K^{(1)}(k)v^{(1)}(k); \quad (1)$$

$$\hat{v}^{(1)}(k+1) = (1 - \alpha T)\hat{v}^{(1)}(k)T + K^{(1)}(k)v^{(1)}(k). \quad (2)$$

Для второго канала:

$$\hat{x}^{(2)}(k+1) = \hat{x}^{(2)}(k) + \hat{v}^{(2)}(k)T + K^{(2)}(k)v^{(2)}(k); \quad (3)$$

$$\hat{v}^{(2)}(k+1) = (1 - \beta T)\hat{v}^{(2)}(k)T + K^{(2)}(k)v^{(2)}(k), \quad (4)$$

где  $v^{(i)}$  – соответствующие невязки фильтра.

Априорная и апостериорная ковариационная матрица дисперсий ошибок определяется для каждой модели на основе выражений, приведенных в [4]. Рассмотрен алгоритм синтеза фильтрации с коэффициентами усиления от состояния скачкообразной составляющей. Показано, что синтезируемый алгоритм фильтрации позволяет сохранить свою устойчивость при ошибочном определении состояния скачкообразной составляющей.

Задача фильтрации является одной из важнейших в современной теории оптимальных систем. Эта задача используется для синтеза систем управления и следящих систем в случае измерений системы. Эти задачи отличаются одна от другой предположениями о модели наблюдаемого процесса, о принципах работы и подходами к ее решению.

Следящий фильтр используется во многих областях, в том числе для иллюстрации еще одного важного приложения адаптивного устройства подавления помех. Если выходной сигнал системы с адаптивного фильтра, то в результате имеем адаптивный следящий фильтр, который может выделять из широкополосного шума периодический сигнал [5]. Выходной сигнал этой системы получен с помощью моделирования на ЭВМ для входного сигнала из предыдущего примера.

Затем определяются ковариационные матрицы одношагового предсказания вектора наблюдений, а на их основе коэффициенты усиления фильтров:

$$K_{11}^{(i)}(k+1) = -\frac{P_{11}^{(i)}(k+1|k)}{V^{(i)}}$$

и

$$K_{12}^{(i)}(k+1) = -\frac{P_{21}^{(i)}(k+1|k)}{V^{(i)}},$$

где  $V^{(i)}$  – ковариационные матрицы,  $V^{(ij)} = P_{k/k-1}^{(i)} + R_j$  ( $i, j = 1, 2$ ).

После оценки вероятности номеров структуры системы  $W^{(i)}(k+1)$  может быть получена результирующая оценка параметра

$$\hat{x}(k+1) = \sum_i \left( \hat{x}^{(i)}(k+1) W^{(i)}(k+1) \right) \quad (5)$$

как взвешенная сумма парциальных оценок.

## Библиографический список

1. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
2. **Алгоритм** дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, И. В. Князев // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 60 – 63.
3. **Estimation** of Location Coordinates in the System of Vehicle Control to Ensure Traffic Safety / A. P. Pudovkin, S. N. Danilov, A. V. Ivanov, Yu. N. Panasuk // International Conference on Recent Advanced in Engineering, Technology and Applied Sciens. – USA, Detroit, 2017. – С. 32 – 49.
4. **Synthesis** of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.

## ОТКАЗЫ И МЕРЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

*А. Ю. Наумова*

*Тамбовский государственный технический университет*

Одной из основных характеристик качества программного обеспечения информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУС) промышленных объектов энергосбережения является надежность. Основным показателем при оценке надежности программного обеспечения является ошибка программных модулей. На данный момент не существует точных методов повышения надежности программного обеспечения, но в то же время при устранении возникающих ошибок в программных модулях показатель надежности повышается [1, 2]. Следовательно, для повышения надежности необходимо не только обнаружить ошибку, но и установить тип ошибки и определить вероятность ее появления.

Существует системно-функциональный подход, применяемый для оценки надежности отдельных функциональных блоков программных модулей. В нем рассматриваются возможные отказы и меры повышения надежности четырех функциональных блоков программного обеспечения. На этапе исполнения программы каждый блок может содержать синтаксические ошибки – ошибки, возникающие при

неправильном (некорректном) представлении команд. Однако у каждого функционального блока существуют специфичные ошибки, связанные с их структурой [3].

Возможные отказы блока подключения библиотек:

- отсутствие в системе необходимой библиотеки;
- несовместимость подключаемых библиотек.

Для представленных типов отказов необходимо выполнить загрузку внешних ресурсов в программное окружение при первом обращении.

Отказы, связанные с вводом исходных данных, – выход из допустимого диапазона данных и неверный формат данных, – устраняются с помощью проверки исходных данных на допустимость и формата данных (при необходимости преобразование к нужному формату).

Функциональный блок, содержащий обработку исходных данных, в большинстве случаев содержит различные типы логических ошибок:

- отсутствие инициализации переменных;
- некорректность заданных условий из цикла;
- неточность задания перехода по ветвям алгоритма;
- возможность появления отрицательных значений переменных.

Для устранения данных типов отказов необходимо построение логических цепочек и тестовых заданий для каждой ветви алгоритма, соблюдение структуры программы и применение специальных анализаторов.

Характерными отказами функционального блока, предназначенного для вывода полученных данных, являются ошибки, связанные с отсутствием необходимого устройства вывода и неверного формата выводимых данных. В этом случае проводится резервное копирование конечных данных в создаваемый файл, а также проверка формата данных (при необходимости преобразование к нужному формату) [4, 5].

Таким образом, устранение ошибок в программных модулях ведет к повышению надежности программного обеспечения ИИУС промышленных объектов энергосбережения. Определив тип возникшей ошибки, устраняются подобные ошибки в других частях программы.

### **Библиографический список**

1. **Чернышов, Н. Г.** Синтез энергосберегающего управления / Н. Г. Чернышов, С. И. Дворецкий // Вестник Тамбовского государственного технического университета – 2015. – № 1. – С. 7 – 15.
2. **Дворецкий, С. И.** Проектирование автоматизированных технических систем в условиях неопределенности / С. И. Дворецкий, Д. С. Дворецкий, Н. Г. Чернышов // Системы управления и информационные технологии. – 2016. – № 4(66). – С. 21 – 28.

3. **Чернышов, Н. Г.** Особенности создания систем энергосберегающего управления на множестве состояний функционирования / Н. Г. Чернышов, Д. Ю. Муромцев // Автоматика и вычислительная техника. – 2008. – № 3. – С. 74 – 82.

4. **Степович-Цветкова, Г. С.** Повышение надежности программного обеспечения: системно-функциональный подход / Г. С. Степович-Цветкова // Интернет-журнал «Науковедение». – 2015. – Т. 7, № 5.

5. **Рязанов, И. Г.** Модели и алгоритмы для оценки надежности информационно-измерительных систем с применением нейросетевых технологий / И. Г. Рязанов, Ю. Т. Зырянов, А. Д. Любимов // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития. – 2018. – № 3. – С. 98 – 100.

*Работа выполнена под руководством канд. техн. наук Н. Г. Чернышов.*

## **МИКРОВОЛНОВЫЙ МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ**

***А. П. Негуляева, С. П. Москвитин, В. Н. Чернышов***

*Тамбовский государственный технический университет*

В настоящее время существующие методы контроля теплофизических характеристик (ТФХ) строительных материалов [1 – 4] имеют ряд недостатков, таких как необходимость разрушения готового изделия для изготовления образцов исследуемых материалов, а также низкая точность определения ТФХ. С целью устранения этих недостатков был разработан микроволновый метод неразрушающего контроля ТФХ строительных материалов и изделий. Сущность метода заключается в следующем.

Нагрев исследуемого объекта осуществляется импульсом СВ-излучения. Импульс сфокусирован в линию заданных размеров линзой из радиопрозрачного диэлектрического материала. Сперва на поверхность исследуемого объекта воздействуют одиночным импульсом, мощность которого задается интервалом времени подачи электромагнитного поля СВЧ-диапазона с частотой не менее 20 ГГц. После этого определяют интервал времени релаксации от начала теплового воздействия до момента времени, когда температура в точке контроля на поверхности исследуемого объекта на расстоянии  $x_1$  от линии теплового воздействия станет равной первоначальной температуре. Затем определяют минимальную частоту подачи импульсов и далее воздействуют на исследуемый объект импульсами заданной мощности, при этом частоту подачи импульсов увеличивают до тех пор, пока установившееся значение контролируемой температуры в точке  $x_1$  станет равным заранее заданному значению. Также при этом определяют частоту

следования импульсов и измеряют установившуюся избыточную температуру в точке контроля на поверхности исследуемого объекта на расстоянии  $x_2$  от линии нагрева. Зафиксированную в результате измерений информацию используют при определении ТФХ по полученным математическим соотношениям.

Экспериментальная проверка показала работоспособность предложенного метода и достаточную для технологического контроля точность определения ТФХ исследуемых строительных материалов. Справочные значения теплопроводности и температуропроводности были взяты из [5, 6]. Преимуществами предложенного метода являются:

- простота преобразования полученной информации в цифровую форму, так как она снимается в частотно-импульсной форме, тогда как в известных методах – в аналоговой;
- уменьшение доли случайной составляющей общей погрешности измерений, так как уменьшается воздействие на информативный параметр случайных помех;
- сохранение целостности исследуемого объекта, так как способ подразумевает адаптивный поиск оптимального теплового воздействия, что позволяет нагревать исследуемые объекты до заранее заданной температуры, меньшей температуры термодеструкции.

### Библиографический список

1. Пат. 2497105. Рос. Федерация. Способ неразрушающего контроля теплофизических характеристик строительных материалов и изделий. – № 2012116343/28 ; заявл. 23.04.2012 ; опубл. 27.10.2013, Бюл. № 30. – 15 с.
2. Пат. 2399911. Рос. Федерация. Способ определения теплофизических характеристик строительных материалов (варианты). – № 2008145926/28 ; заявл. 20.11.2008 ; опубл. 20.09.2010, Бюл № 26. – 12 с.
3. **Чернышов, В. Н.** Микроволновый метод неразрушающего контроля теплофизических характеристик строительных материалов / В. Н. Чернышов, М. В. Жарикова, А. В. Чернышов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2018. – Т. 84, № 10. – С. 29 – 34.
4. **Чернышов, В. Н.** Методы и информационно-измерительные системы неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и изделий : монография / В. Н. Чернышов, Т. И. Чернышова. – СПб. : Экспертные решения, 2016. – 384 с.
5. **Приборы** для неразрушающего контроля материалов и изделий : справочник / под ред. В. В. Клюева. – М. : Машиностроение, 1976. – Т. 2. – 182 с.
6. **Франчук, А. У.** Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов / А. У. Франчук. – М. : НИИ Строительной физики, 1969. – 144 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ РЕВЕРСИВНЫХ СРЕД В АНТЕННЫХ СИСТЕМАХ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ДН

*В. В. Носков*

*Тамбовский государственный технический университет*

Одной из частей современных радиотехнических комплексов являются антенные системы, позволяющие в реальном времени управлять формой направленности антенн в процессе сканирования. Существующие способы управления, в частности, электромеханические и механические не позволяют в реальном времени управлять диаграммой направленности таких систем, а также не позволяют формировать многолучевые диаграммы направленности при сопровождении нескольких целей. Поэтому необходимо использовать современные материалы антенных систем. К таким можно отнести реверсивные материалы при выполнении зеркала из радиопрозрачного материала с последующим нанесением реверсивной пленки. Данный материал является полупроводниковым и ему предъявляются следующие требования, в частности, по спектральным характеристикам, инерционности, механическим свойствам и т.д. При этом полупроводниковая пластина имеет высокую амплитудную и фазовую однородность, чему уделяется особое внимание при разработке этого элемента [1].

В качестве полупроводниковых пластин могут быть использованы наборные монокристаллические панели из кремния и германия *n*-типов (удельное сопротивление 40...45 Ом·см, время жизни неравновесных носителей тока  $\tau \sim 50$  мкс).

Известно, что темновой коэффициент отражения таких монокристаллических пластин на резонансной длине волны составляет около 0,1...1%, а поликристаллических слоев (на основе сульфида и селена кадмия) толщиной 200...300 мкм в 8 мм диапазоне от 1,5 до 5%, а в 3 см диапазоне – от 0,8 до 2%. Время жизни неравновесных носителей тока в поликристаллических слоях  $\tau \sim 0,5...1$  мкс [1, 2].

Если монокристаллические панели обладают низкой инерционностью, то поликристаллы значительно более технологичны, что позволяет при уже существующей технологии получить пластины требуемых для создания зеркала антенны размеров. Такие пластины характеризуются лучшими показателями амплитудной и фазовой однородности (средний квадратичный разброс по всей рабочей поверхности не превосходит 1...5% по амплитуде и 1,5...2° по фазе в режиме прохождения электромагнитной волны) при больших размерах пластин (до 50л) [2].

Таким образом, использование таких сред позволит разрабатывать данные системы и комплексы, позволяющие с высокой скоростью в реальном масштабе времени формировать необходимые диаграммы направленности и проводить сканирование, а также создавать многолучевые диаграммы направленности.

### Библиографический список

1. **Применение** алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762 DOI: 10.15827/0236-235X.031

2. **Muromtsev, D. Yu.** Intelligent Sensor in Control Systems for Objects with Changing Thermophysical Properties / O. A. Belousov, D. Yu. Muromtsev, M. P. Belyaev // Journal of Physics: Conference Series. – International Scientific and Technical Conference on Metrology, Standardization, Quality: Theory and Practice, MSQ 2017. – Omsk, April 2018. – V. 998, Is. 1.

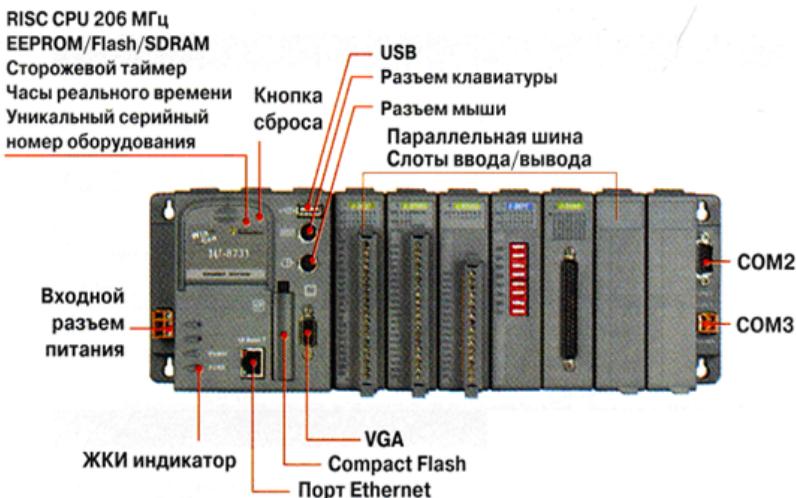
### ПЛАТФОРМА WINCON В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

*Д. М. Пуятин, О. С. Якушов, Е. И. Боровкова*

*Тамбовский государственный технический университет*

Контроллеры серии WinCon-8000 представляют собой последнее поколение промышленных контроллеров производства компании ICP DAS. Они обладают огромным функционалом, очень гибки в использовании и достаточно удобны для разработчика. WinCon-8000, по сравнению с предыдущей серией I-7000, приобрел новые возможности благодаря использованию высокопроизводительного процессора Intel Strong ARM с тактовой частотой 206 МГц и оперативной памятью 64 Мб.

Серия контроллеров WinCon-8000 имеет интерфейсы USB и Ethernet, а также возможность подключения клавиатуры, мыши и монитора. Таким образом, промышленный контроллер приобрел функциональность персонального компьютера, что значительно облегчает его программирование и расширяет сферу применения [3 – 5]. Так, отладку и редактирование управляющей программы можно осуществлять непосредственно на контроллере. Кроме того, за счет наличия интерфейсов клавиатуры и монитора, WinCon может совмещать в себе функции контроллера и операторской станции. Достаточно лишь установить SCADA-систему, например, Trace Mode, и контроллер может взять на себя функции современного операторского интерфейса.



**Рис. 1. Промышленный контроллер WinCon w-8737**

Контроллер имеет встроенную операционную систему Microsoft Windows CE.NET, которая характеризуется как операционная система реального времени. Она поддерживает переназначение приоритетов процессов и обеспечивает тот же уровень детерминированного управления, что и классические ПЛК. Интерфейс операционной системы позволяет воспользоваться любыми средствами, предназначенными для создания программ в этой среде, например, Visual Basic.NET, Visual C#, Embedded Visual C++. Контроллер поставляется в комплекте с программной библиотекой, в которой реализованы функции работы со всеми внутренними и внешними устройствами контроллера (внутренняя шина, таймер, внешние интерфейсы, модули ввода/вывода и прочее) [1, 2].

WinCon-8737 может применяться для решения самых разнообразных задач автоматизации во многих отраслях промышленности, и не только. К нему можно подключать не только модули удаленного ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов, но и любые другие устройства: принтеры, модемы, POS-терминалы, другие компьютеры и контроллеры. Таким образом, благодаря данному контроллеру система или отдельный ее сегмент могут иметь довольно сложную конфигурацию и топологию, оставаясь при этом надежной и простой в настройке и управлении.

## Библиографический список

1. **Чернышов, Н. Г.** Разработка систем оптимального управления энергоемкими объектами с применением когнитивной графики и технологии беспроводной связи ZigBee / Н. Г. Чернышов, С. И. Дворецкий // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 87 – 98.
2. **Чернышов, Н. Г.** Синтез энергосберегающего управления / Н. Г. Чернышов, С. И. Дворецкий // Вестник Тамбовского государственного технического университета – 2015. – № 1. – С. 7 – 15.
3. **Чернышов, Н. Г.** Построение системы телеметрии энергоемкими объектами с использованием промышленных контроллеров ICP DAS / Н. Г. Чернышов, Р. В. Цыганков, К. В. Чикаев // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 1. – С. 225 – 230.
4. **Дворецкий, С. И.** Проектирование автоматизированных технических систем в условиях неопределенности / С. И. Дворецкий, Д. С. Дворецкий, Н. Г. Чернышов // Системы управления и информационные технологии. – 2016. – № 4(66). – С. 21 – 28.
5. **Чернышов, Н. Г.** Особенности создания систем энергосберегающего управления на множестве состояний функционирования / Н. Г. Чернышов, Д. Ю. Муромцев // Автоматика и вычислительная техника. – 2008. – № 3. – С. 74 – 82.

*Работа выполнена под руководством канд. техн. наук Н. Г. Чернышова*

## АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ШУМА ДЛЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ СЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

*И. М. Романенко, В. В. Маслина*

*Тамбовский государственный технический университет*

Аппаратный генератор случайных чисел – это устройство, которое генерирует последовательность на основе измеряемых, хаотически изменяющихся параметров протекающего физического процесса. Работа таких устройств может быть основана на использовании надежных источников энтропии. Ниже представлен обзор источников энтропии и генерируемых ими шумов [1].

*Тепловой и дробовой шум* – это два наиболее распространенных вида шума. Тепловой шум присутствует в системе, когда резистивный элемент находится в тепловом равновесии с окружающей средой. Его можно рассматривать как механизм сохранения теплового равновесия.

Дробовой шум связан с прохождением тока через барьер, и в этом смысле он является неравновесной разновидностью шума. Очевидно, что физическая природа теплового и дробового шума различна, но структура шумовых сигналов обоих типов похожа.

*Собственный шум в диодах на  $p$ - $n$  переходах и биполярных транзисторах.* В основе этого вида шума лежит механизм диффузии носителей электрического заряда, возникающей за счет локальных флуктуации в популяции носителей.

*Шум полевых транзисторов с  $p$ - $n$  переходом и полевых транзисторов с МОП-структурой.* Источники шума в полевых транзисторах с  $p$ - $n$ -переходом и полевых транзисторах с МОП-структурой весьма схожи, за исключением, так называемого  $1/f$ -шума, который почти полностью отсутствует в первых, но доминирует на низких частотах во вторых [1].

*Розовый ( $1/f$ ) шум* – это последовательность случайных импульсов с определенным видом функции формы импульса, для которой спектральная плотность изменяется как  $|f|^{-1}$  в широком частотном диапазоне. Распределение амплитуды  $1/f$ -шума относится к гауссовскому типу.

Интересно отметить, что спектральная плотность этого шума изменяется как  $|f|^{-1}$  в широком частотном диапазоне.

*Взрывной шум.* У различных типов твердотельных приборов имеет место электрический по характеру шум, проявляющийся в виде случайных «всплесков». Подобный шум не является универсальным, однако его, как правило, обнаруживают у сравнительно небольшой части приборов определенного типа.

*Шумы в генераторах.* Твердотельные устройства, такие, как туннельные диоды, диоды Ганна и др. в наши дни широко используются в качестве генераторов СВЧ. Эти устройства обладают собственными шумами, которые заслуживают серьезного рассмотрения.

*Шум в устройствах на горячих электронах.* Физические принципы, лежащие в основе работы приборов на горячих электронах, сильно отличаются от тех, которые управляют поведением приборов с  $p$ - $n$ -переходами, например, биполярного транзистора. В большой степени это различие сказывается на природе шума приборов сантиметрового и миллиметрового диапазонов волн.

*Квантовая механика и шумы.* При высоких частотах и (или) низких температурах квантовыми эффектами пренебрегать уже нельзя. Рабочие частоты многих электронных устройств сосредоточены в СВЧ или более низкочастотных диапазонах, а рабочие температуры гораздо выше криогенных. В этих условиях квант энергии много меньше тепловой энергии и квантовые эффекты оказывают незначительное влия-

ние на шумы в системе. В отличие от этого, случайность квантовых процессов обусловлена законами квантовой физики, и подобные процессы идеально подходят для генерации истинно случайных чисел.

При выборе источника энтропии для ГСЧ следует учитывать механизм физической генерации исходного шумового сигнала и быть осторожным в его выборе. Независимо от того, какое физическое явление используется, процесс генерирования истинных случайных чисел должен включать в себя выявление небольших *непредсказуемых* изменений в данных.

### **Библиографический список**

1. **Букингем, М.** Шумы в электронных приборах и системах / М. Букингем. – М. : Мир, 1986. – 399 с.

2. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

3. **Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.**

4. **Synthesis of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation / A. P. Pudovkin, Yu N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.**

## **МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ В РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ**

***И. Г. Рязанов, Ю. Т. Зырянов***

*Тамбовский государственный технический университет*

Известно, что функциональные возможности и физическая надежность полупроводниковых приборов различного назначения во многом характеризуются температурой в процессе эксплуатации. Согласно [1 – 3], температура является одним из критических параметров, определяющих их работоспособность. Существует достаточно много исследований как тепловых характеристик цифровых изделий электронной техники (ИЭТ), так и методов контроля теплового режима, однако область применения большинства из них имеет ограничен-

ния. Имеются и методы прогнозирования надежности ИЭТ [4 – 7], однако в обзорах, посвященных состоянию технологии исследования надежности, все чаще звучит разочарование существующей технологией исследования надежности, поскольку слишком часто и слишком сильно реальные значения показателей надежности расходятся с прогнозными оценками.

Несмотря на то, что в радиоэлектронных системах (РЭС) новых поколений используется современная высокотехнологичная элементная база, их работоспособность по-прежнему определяется двумя состояниями – исправное или неисправное, а отказ продолжает оставаться неожиданным. Это связано с тем, что современные методы контроля не могут обеспечить своевременное обнаружение изменения параметров. Проведение тестовых работ, будучи основным видом контроля, не включает в себя каких-либо функциональных тестов или тестов, направленных на обнаружение неисправностей, не являющихся функцией времени. С точки зрения обнаружения процесса зарождения и развития отказа функциональные тесты, как правило, менее информативны, так как направлены только на контроль выполняемых РЭС функций. Однако, как показывает практика, успех контроля обеспечивается созданием двух взаимосвязанных баз данных – технических состояний и симптомов этих состояний. Отказ представляет собой неконтролируемый результат необратимого деградационного процесса, протекающего во времени и имеющего соответствующие временные параметры, но не сам критический акт. Используемые традиционные параметры оценки технического состояния современных РЭС не изменяют своих значений вплоть до отказа, хотя для своевременного выявления деградационной динамики должны использоваться такие параметры, которые отражали бы не только состояние структуры, но и эволюцию этого состояния.

Из вышесказанного следует, что задача поиска нового подхода к оценке технического состояния современных РЭС является весьма актуальной, а в условиях все возрастающих объемов и видов контроля, неидентичных при изготовлении и при эксплуатации, на первое место выходит проблема выбора параметров оценки состояния изделия.

### Библиографический список

1. **Shin, J. H.** On Condition Based Maintenance Policy / J. H. Shin, H. B. Jun // Journal of Computational Design and Engineering. – 2015. – № 2(2). – P. 119 – 127.
2. **Jardine, A. K. S.** A Review on Machinery Diagnostics and Prognostics Implementing Condition-based Maintenance / A. K. S. Jardine,

D. Lin, D. Banjevic // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2006. – № 20(7). – P. 1483 – 1510.

3. Rosmaini, A. An Overview of Time-based and Condition-based Maintenance in Industrial Application / A. Rosmaini, Sh. Kamaruddm // Computers & Industrial Engineering. – 2012. – № 63(1). – P. 135 – 149.

4. **Чернышова, Т. И.** Информационно-аналитическая система оценки и прогнозирования метрологической надежности электронных измерительных средств / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Спец. выпуск (52). – С. 111 – 114.

5. **Moore, W. J.** Cost-Based Criticality – A case Study / W. J. Moore, A. G. Starr // 18th International Conference of Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management. – Cranfield, England. – 2005.

6. **Алькубати, А. Ф.** Определение вероятностей состояний функционирования сложных систем при эрланговском распределении времен работы и восстановления их элементов / А. Ф. Алькубати, Д. Ю. Муромцев, В. Н. Шамкин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2014. – Т. 20, № 1. – С. 6 – 16.

7. **Глазкова, В. В.** Оценка точности вычисления нижних граничных значений вероятностей состояний функционирования сложных систем / В. В. Глазкова, Д. Ю. Муромцев, В. Н. Шамкин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – Т. 22. – № 3. – С. 340 – 349.

## **ОДНОЗЕРКАЛЬНАЯ ШИРОКОУГОЛЬНАЯ ГИБРИДНАЯ АНТЕННА КВАЗИТОРОИДАЛЬНОГО ТИПА ДЛЯ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ КОСМИЧЕСКИХ РЕТРАНСЛЯТОРОВ**

***К. С. Сайфуллозода, И. П. Клонин***

*Тамбовский государственный технический университет*

Однозеркальные антенны относятся к простейшим типам антенн, которые очень хорошо используют в составе радиотехнических устройств для телевидения, радиовещания, радиосвязи через искусственные спутники Земли (ИСЗ), находящиеся на геостационарной орбите (ГСО), в области радиолокации, радиоастрономии и систем связи.

Одной из таких является однозеркальная антенна квазитороидального типа.

Данная антенна по своей конструктивной простоте близка к однозеркальной параболической антенне, но существенно отличается от нее по своим сканирующим свойствам. В основе конструкции лежит идея тороидальных антенн, но вместо того, чтобы использовать круговой профиль, предлагается использовать эллиптический профиль (рис. 1). Особенностью данной антенны является ее некоторая аналогия с торообразной антенной, в которой каждому направлению сканирования соответствует отдельный участок однородной поверхности зеркала, что существенно снижает КИП такой антенны в целом [1, 2]. В данном случае используется принцип частичного взаимного использования поверхности зеркала как в режиме осевого направления ДН, так и на краю сектора сканирования.

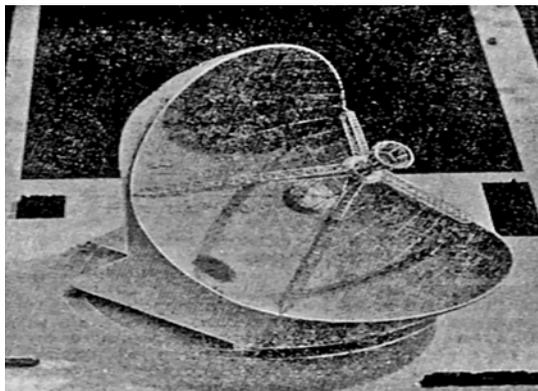


Рис. 1

Далее рассмотрим широкоугольные тороидальные антенны. Они находят применение в тех случаях, когда возникает необходимость сканирования в значительном угловом секторе в одной плоскости, например, в плоскости геостационарной орбиты для связи с несколькими разнесенными спутниками. В этом случае возможны несколько вариантов построения схем тороидальных антенн, по крайней мере таких: 1) тороидное сферическое зеркало с одиночным облучателем, который механически поворачивается вокруг центра сферы; 2) тороидное сферическое зеркало с несколькими коммутируемыми облучателями; 3) тороидальное сферическое зеркало с одиночным корректирующим вспомогательным зеркалом и, наконец, четвертый вариант, когда используются два вращающихся вспомогательных зеркала, которые не только исправляют сферическую аберрацию, но и обеспечивают

специальное распределение поля в раскрыве антенны. В этом случае возможен вариант построения антенны, в которой формостабилизация при весовых нагрузках достигается исключением дестабилизирующего влияния наклона главного зеркала по отношению к горизонту [2]. Эта задача может решиться в варианте квазистационарного рефлектора в виде вертикальной ленточной высечки из сфероида и вспомогательного зеркала, которые смонтированы на валу и опоре угломестной оси антенны, как на рис. 1. Антенны тороидального типа интенсивно развиваются и достаточно широко внедряются в практику, особенно в системах спутниковой связи для работы со спутниками, расположенными на геостационарной орбите. В настоящее время тороидальные антенны могут быть отнесены к разряду наиболее интенсивно развивающегося типа антенн.

Применение таких типов антенн позволит строить бортовые системы спутниковой связи, используя технологию многлучовости, тем самым обеспечивая необходимый рельеф покрытия спутниковым ретранслятором.

*Работа выполнена в центре коллективного пользования «Радиоэлектроника и связь» с использованием оборудования «ОБЗОР-804»*

### **Библиографический список**

1. **Воскресенский, Д. И.** Широкополосные антенны с широкоугольным неискаженным сканированием / Д. И. Воскресенский, Е. В. Овчинникова // Антенны. – 1999. – № 1(42).
2. **Вишневский, В. М.** Системы поллинга: теория и применение в широкополосных беспроводных сетях / В. М. Вишневский, О. В. Семенов. – М. : Техносфера, 2007. – 312 с.
3. **Применение** алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762 DOI: 10.15827/0236-235X.031
4. **Muromtsev, D. Yu.** Intelligent Sensor in Control Systems for Objects with Changing Thermophysical Properties / О. А. Belousov, D. Yu. Muromtsev, M. P. Belyaev // Journal of Physics: Conference Series. – International Scientific and Technical Conference on Metrology, Standardization, Quality: Theory and Practice, MSQ 2017. – Omsk, April 2018. – V. 998, Is. 1.

## СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ

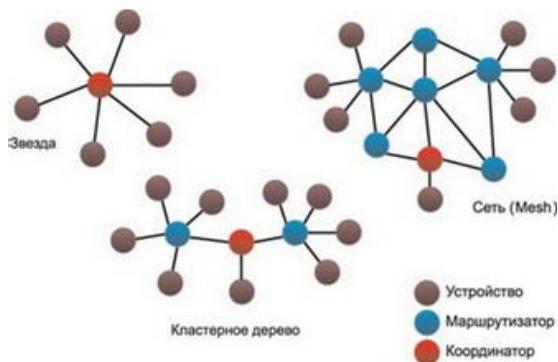
*Д. А. Сидорова, Н. Г. Чернышов*

*Тамбовский государственный технический университет*

В настоящее время существует множество технологий беспроводной связи с различной топологией сети, способами маршрутизации и адресации, видами передаваемых пакетов данных, скоростью и дальностью передачи сообщений, а также степенью безопасности.

Стандарт построения персональных сетей ZigBee был разработан группой ZigBee Alliance для применения в различных сетевых устройствах при создании «умных» домов и автоматизации промышленных систем. Название происходит от метода маршрутизации: данные в сети, построенной на базе этого стандарта, передаются между узлами зигзагообразно, так что «траектория» байтов напоминает траекторию полета пчелы.

Технология ZigBee работает на основе стандарта широкого вещания IEEE 802.15.4, но при этом обладает существенными доработками программного обеспечения разработчиками из ZigBee Alliance.



**Рис. 1. Топологии сетей ZigBee**

ZigBee-устройства, с помощью которых строится сеть, подразделяются на три группы:

- Координатор – является обязательным компонентом, запускающим и формирующим сеть, а также хранит информацию о сети и ключи безопасности.
- Маршрутизатор – передает пакеты данных по выбранному пути доставки от одного узла к другому. Обычно он работает в непре-

рывном режиме при стационарном питании и обладает возможностью подключать к себе до 32 «спящих» устройств.

Конечное устройство – принимающее или отправляющее данные материнским узлам устройство, не выполняющее функции маршрутизации и ретрансляции. Большую часть времени устройство находится в «спящем» режиме, что позволяет снизить энергопотребление. Для работы стека протоколов в этом случае требуется минимальное количество памяти. Сети ZigBee могут реализовывать топологию «звезды», «кластерного дерева» или ячеистую (mesh) топологию (рис. 1).

Связи между узлами могут обновляться и оптимизироваться при отключении устройств от сети или при появлении новых, что позволяет при аварийной ситуации сформировать новый маршрут передачи пакета данных.

Исходя из особенностей стандарта, можно сказать, что к его достоинствам относятся: защита передаваемых данных; поддержка сложных самоорганизующихся беспроводных сетей; низкое энергопотребление ввиду того, что большую часть времени устройство находится в «спящем» режиме, а включается только в моменты передачи или приема данных [1 – 5].

### Библиографический список

1. **Чернышов, Н. Г.** Разработка систем оптимального управления энергоемкими объектами с применением когнитивной графики и технологии беспроводной связи ZigBee / Н. Г. Чернышов, С. И. Дворецкий // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 87 – 98.
2. **Чернышов, Н. Г.** Синтез энергосберегающего управления / Н. Г. Чернышов, С. И. Дворецкий // Вестник Тамбовского государственного технического университета – 2015. – № 1. – С. 7 – 15.
3. **Чернышов, Н. Г.** Построение системы телеметрии энергоемкими объектами с использованием промышленных контроллеров ICP DAS / Н. Г. Чернышов, Р. В. Цыганков, К. В. Чикаев // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 1. – С. 225 – 230.
4. **Дворецкий, С. И.** Проектирование автоматизированных технических систем в условиях неопределенности / С. И. Дворецкий, Д. С. Дворецкий, Н. Г. Чернышов // Системы управления и информационные технологии. – 2016. – № 4(66). – С. 21 – 28.
5. **Чернышов, Н. Г.** Особенности создания систем энергосберегающего управления на множестве состояний функционирования / Н. Г. Чернышов, Д. Ю. Муромцев // Автоматика и вычислительная техника. – 2008. – № 3. – С. 74 – 82.

*Работа выполнена под руководством канд. техн. наук Н. Г. Чернышова*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕТИ СВЯЗИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДОВ В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЗА СЧЕТ СРЕДСТВ БЕСПРОВОДНОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА**

*И. С. Скварник*

*Дальневосточный федеральный университет*

Во всем мире безопасность движения судов в крупных морских портах обеспечивают системы управления движением судов (СУДС).

В приморье безопасность мореплавания обеспечивает СУДС залива Петра Великого. Она функционирует в целях повышения эффективности судоходства, охраны жизни на море, в том числе на акваториях морских портов: Владивосток, Находка, Восточный, Зарубино, Посыты на подходах к ним.

Важной составляющей СУДС залива Петра Великого является сеть связи и передачи данных (ССПД), которая обеспечивает передачу информации о навигационной обстановке с радиотехнических постов (РТП) на центры управления (ЦУ) СУДС.

Основу ССПД СУДС залива Петра Великого составляют радиорелейные линии связи.

Радиорелейные линии связи осуществляют передачу информации о судовой обстановке от РТП на ЦУ СУДС, однако существует ряд существенных недостатков, ограничивающих их эффективное функционирование по критерию результат/стоимость. Этими недостатками являются:

- большое влияние интерференции на качество радиорелейных каналов связи при их расположении над морской поверхностью;
- невозможность реализации полносвязной топологии построения ССПД;
- высокая себестоимость передаваемой информации.

Существующие недостатки не позволяют в полной мере реализовать возрастающие потребности к производительности ССПД и совершенствовать качество навигационных услуг СУДС залива Петра Великого, за счет увеличения информационного ресурса.

Таким образом, задача обмена большего объема навигационной информации и существенное увеличение производительности ССПД СУДС залива Петра Великого является актуальной.

Решение данной задачи может быть обеспечено за счет внедрения в ССПД СУДС новых информационных технологий – технологии беспроводного широкополосного доступа (БШД).

Технология БШД является передовой информационной технологией, внедряемой в ССПД общего и специального назначения. Данная

технология разработана для помехоустойчивой передачи информации с использованием сигналов малой мощности.

Для передачи информации в технологии БШД используется значительно более широкая полоса частот, чем это требуется при обычной передаче (в узком частотном канале). За счет избыточности полосы канала связи достигается хорошая помехозащищенность сигнала при его малой мощности. К частотной избыточности добавляется и кодовая избыточность, обеспечивающие высокое значение отношения сигнал/шум. Это позволяет использовать в составе оборудования БШД приемо-передающие устройства существенно меньшей мощности, и, как следствие, меньших габаритов и более низкой стоимости.

Внедрение технологии БШД в ССПД СУДС залива Петра Великого обеспечит:

- способность противостоять сложным условиям в радиоканале, в первую очередь устранять межсимвольную интерференцию и бороться с узкополосными помехами;

- способность противостоять интерференции между поднесущими, что обуславливает хорошие показатели при многолучевом распространении;

- высокую спектральную эффективность;

- высокую производительность сети;

- высокую эффективность по критерию результат/стоимость.

Модернизация ССПД СУДС залива Петра Великого за счет технологии БШД позволит решить актуальную задачу по повышению производительности сети для увеличения объема передаваемой информации и обеспечит повышение эффективности ее функционирования. Это повысит качество предоставляемых навигационных услуг и создаст необходимые условия для внедрения концепции e-навигации.

### Библиографический список

1. **Federal State Unitary Enterprise Rosmorport, Far Eastern Basin Branch, VTS Services.** – [http://www.rosmorport.ru/filials/vlf\\_serv\\_vts/](http://www.rosmorport.ru/filials/vlf_serv_vts/)

2. **Резолюция ИМО А.857(20) «Guidelines for Vessel Traffic Services»** от 27 ноября 1997 г.

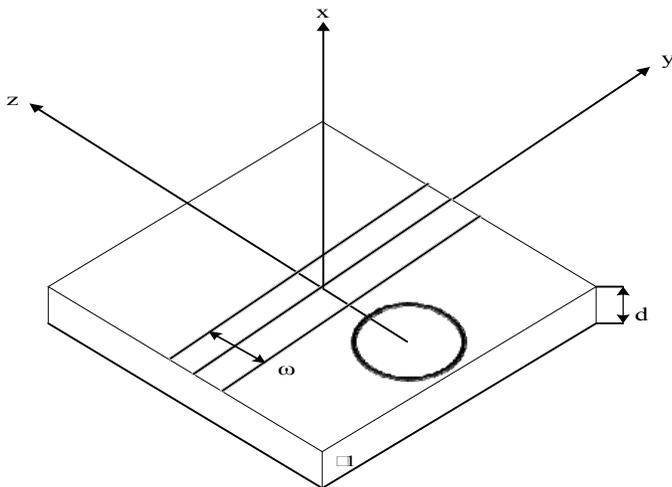
3. **Об утверждении** требований к радиолокационным системам управления движением судов, объектам инфраструктуры морского порта, необходимым для функционирования глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности, объектам и средствам автоматической информационной системы, службе контроля судоходства и управления судоходством : Приказ от 23 июля 2015 г. № 226.

## ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА В МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ

*К. В. Скоморохов, М. А. Майоров, А. С. Колмыкова*

*Тамбовский государственный технический университет*

Разработка теории полосковых линий и основ их проектирования является важной задачей современной прикладной электродинамики и техники СВЧ [1]. В сантиметровом и миллиметровом диапазонах волн МПЛ возбуждается, как правило, микрополосковыми линиями. Связь линии с возбуждающими элементами может быть как конструктивной, так и электромагнитной (рис. 1). Микрополосковая линия представляет собой открытую систему и наличие в ней неоднородностей приводит к тому, что в поле излучения антенны вносится паразитное излучение линии [2, 3].



**Рис. 1. Микрополосковая антенна с произвольной неоднородностью**

Наличие неоднородности эквивалентно включению в однородную линию некоторого генератора напряжения  $U_0$ , вызывающего появление в линии дополнительного тока (рис. 2):

$$J'(y) = I_0 \exp(-j\beta|y|). \quad (1)$$

В отличие от тока регулярной линии  $J(y) = I_0 \exp(-j\beta y)$  дополнительный ток  $J'$  является излучающим, его излучение можно интер-

претировать как излучение полубесконечной МПЛ ( $-\infty \leq y \leq 0$ ). Действительно, ток  $J'(y)$  можно рассматривать как суперпозицию двух токов  $J_1(y)$  и  $J_2(y)$ :

$$J'(y) = J_1(y) + J_2(y) = I_0 \exp(-j\beta|y|), \quad -\infty < y < \infty. \quad (2)$$

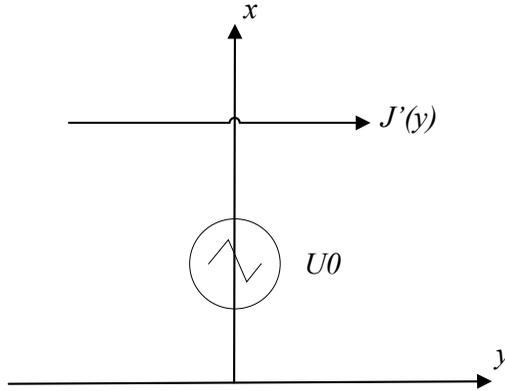


Рис. 2. Эквивалентная схема линии с неоднородностью

Так как ток  $J_1(y)$  является неизлучающим, то вклад в поле излучения дает лишь ток  $J_2(y) = 2jI_0 \sin \beta y$ ,  $y < 0$  [3, 4].

При разложении по поверхностным волнам типов  $E$  и  $H$  относительно оси  $x$  интегрирование по поверхности МПЛ приводит к следующей записи для сопротивления;

$$Z = \frac{1}{\pi^2} \int_0^\infty \left( \frac{2\beta}{\eta^2 - \beta^2} \right)^2 \left\{ \int_0^\infty \frac{1}{\xi^2 + \eta^2} \left[ \frac{\sin(\xi a/2)}{\xi a/2} \right]^2 \left[ \frac{\eta^2}{\tilde{Y}^E} + \frac{\xi^2}{\tilde{Y}^H} \right] d\xi \right\} dn, \quad (3)$$

$$\tilde{Y}^E = -j \frac{\omega \epsilon_1}{\gamma_1} \operatorname{ctg} \gamma_1 d + \frac{\omega \epsilon_2}{\gamma_2}, \quad \tilde{Y}^H = -j \frac{\gamma_1}{\omega \mu_1} \operatorname{ctg} \gamma_1 d + \frac{\gamma_2}{\omega \mu_2},$$

где  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  – постоянные распространения в диэлектрической подложке и свободном пространстве [3, 4].

Разложение поля по волнам типов LE, LM позволяет разделить вклад в сопротивление излучения пространственными и поверхностными волнами, а также паразитное излучение, так и связанные с ним снижение эффективности работы линии как канализатора мощности СВЧ.

## Библиографический список

1. **Воскресенский, Д. И.** Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток / Д. И. Воскресенский. – М. : Радиотехника, 2012. – 744 с.
2. **Баланис, К. А.** Введение в смарт-антенны / К. А. Баланис, П. И. Иоанидес. – М. : Техносфера, 2012. – 200 с.
3. **Применение** алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762 DOI: 10.15827/0236-235X.031
4. **Muromtsev, D. Yu.** Intelligent Sensor in Control Systems for Objects with Changing Thermophysical Properties / O. A. Belousov, D. Yu. Muromtsev, M. P. Belyaev // Journal of Physics: Conference Series. – International Scientific and Technical Conference on Metrology, Standardization, Quality: Theory and Practice, MSQ 2017. – Omsk, April 2018. – V. 998, Is. 1.

*Работа выполнена в центре коллективного пользования «Радиоэлектроника и связь» с использованием оборудования «ОБЗОР-804»*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ**

***Н. А. Смирнова, А. Е. Гузанова, А. Т. Кизимов***

*Рыбинский государственный авиационный технический университет  
имени П. А. Соловьева*

В настоящее время актуальна проблема разработки систем автоматического управления (САУ) динамическими объектами. К таким объектам относятся автомобили, морские и речные суда, транспортные средства доставки грузов на машиностроительных предприятиях, летательные аппараты и управляемые ракеты.

Особое внимание уделяется разработке автоматических систем управления без участия человека. САУ содержит собственно динамический объект управления, информационно-измерительный блок, автопилот, навигационный блок, блок тракторного управления и пункт дистанционного управления. Используются также корректирующие системы, к которым относятся спутниковая радионавигационная система (СРНС) и азимутально-дальномерная система управления и др.

Требования, предъявляемые к системе автоматического управления, можно разделить на программные и аппаратные [1].

Программные требования включают в себя наличие канала связи с пунктом дистанционного управления, осуществляемой по радиолинии, наличие программы движения динамического объекта, в том числе, реализуемой при потере связи с пунктом управления, наличие быстродействующих протоколов, реализующих обмен между отдельными блоками системы, входящими в состав системы управления.

К аппаратным требованиям относится наличие высококачественной элементной базы, точных измерительных устройств и высокоскоростных интерфейсов обмена между модулями САУ. Для обеспечения движения по заданному маршруту необходима навигационная система.

Таким образом, целью работы является проведение экспериментальных исследований программного обеспечения навигационной системы в специализированной среде и проверка правильности работы модуля в замкнутом контуре, а также выбор элементной базы, на основе которой возможно выполнение всех поставленных задач.

Высокая точность выходных параметров обеспечивается многоконтурной автоматической подстройкой вычисленных параметров, реализованной за счет дополнительных обратных связей и альтернативных средств коррекции. Для тестирования программного обеспечения (ПО), написанного на языке высокого уровня, была проведена отладка на полунатурном моделирующем стенде, с возможностью отображения процесса движения в режиме реального времени. Визуализация позволяет наблюдать качество работы встроеного ПО.

Для аппаратной реализации поставленной задачи подобран компонент управления, который выполняет вычисления кватернионов, производных первого порядка, фильтров высокого порядка и прочие вспомогательные расчеты с точностью не хуже 6 знаков после запятой. Параллельно с расчетами компонент управления оперативно передает информацию о состоянии динамического объекта на другие блоки САУ и записывает данные состояния динамического объекта в энергонезависимую память.

В качестве управляющего компонента был выбран двухъядерный микропроцессор с возможностью подключения оперативной памяти типа DDR3, внешней памяти типа NORFlash (для программного обеспечения) и NANDFlash (для энергонезависимой памяти).

Для реализации обмена между навигационной системой и другими модулями САУ реализованы дуплексные интерфейсы, основными требованиями, предъявляемыми к ним, являются быстродействие, надежность, наименьшее количество входов/выходов и высокое качество передачи и приема.

Таким образом, для разработки программно-аппаратного комплекса был проведен ряд мероприятий, связанных с тестированием ПО в интерактивной среде разработки, и выбором элементной базы, которая должна соответствовать всем требованиям по надежности, качеству, быстродействию и габаритам.

### Библиографический список

1. Пат. RU 2403610 Способ высокоточного и динамичного управления траекторией движения подвижного объекта (морские и речные суда, летательные аппараты, управляемые ракеты). Приоритет от 05.08.2009 ; Оpubл. 10.11.2010, Бюл. № 31.

2. Гузанова, А. Е. Выбор основной элементной базы для разработки навигационной системы управления беспилотным летательным аппаратом / А. Е. Гузанова, Н. А. Смирнова // Гагаринские чтения – 2019 : XLV Междунар. молодежная науч. конф. : сб. тез. докл. – М. : Московский авиационный институт, 2019.

## АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОАНОДНЫМИ ВАННАМИ

*И. А. Соловьева, Д. С. Соловьев, Ю. В. Литовка*

*Тамбовский государственный технический университет*

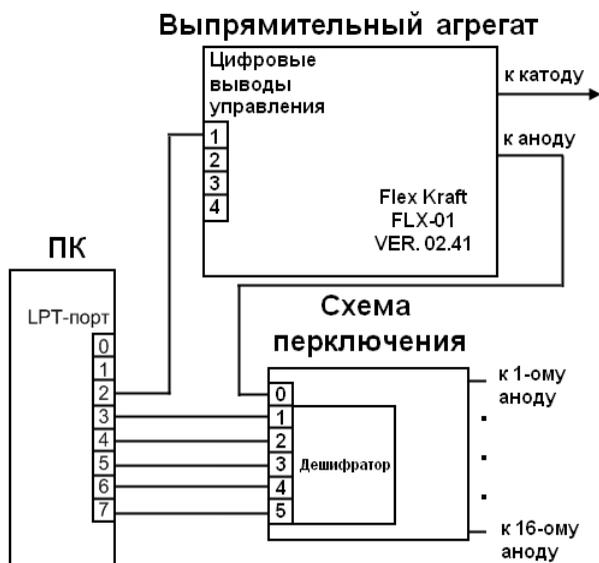
Несмотря на то, что в оборудование для гальванической обработки поверхности продолжают вноситься существенные механические усовершенствования, в последние годы наиболее значимые успехи были достигнуты в разработке автоматизированных систем управления [1, 2]. Одним из перспективных гальванических процессов, требующих автоматизации, является многоанодный электролиз [3]. Для реализации данного процесса нанесения гальванического покрытия предлагается система управления многоанодной ванной с выпрямительным агрегатом фирмы *FLEX KRAFT* (рис. 1), модели которых компактны, универсальны, надежны в производственных условиях, а также обладают возможностью программирования различных электрических режимов [4].

В качестве идеологии функционирования системы управления предлагается использовать следующий алгоритм:

1) оператором задаются входные данные (количество анодов  $N$ , длительность работы анода  $\Delta t$ , число циклов включения  $m$ );

2) очистка управляющего слова *Data*;

- 3) ожидание активного уровня СТАРТ-условия от выпрямительного агрегата (если бит *Data.2* в активном уровне, то переход на пункт 4, иначе пункт 3);
- 4) цикл по количеству переключений от 1 до  $m$  раз;
- 5) цикл по обходу анодных секций от 1 до  $N$  штук;
- 6) формирование управляющего слова (адрес текущей анодной секции) и запись его на порт устройства управления;
- 7) временная задержка команды на  $\Delta t$ ;
- 8) окончание цикла по обходу анодных секций;
- 9) окончание цикла по количеству переключений.



**Рис. 1. Структурная схема аппаратной части системы управления процессом в многоанодной ванне**

Программирование оптимальных токовых режимов осуществляется посредством дистанционного управления (от пульта) в меню выпрямителя *FLEX KRAFT*.

К преимуществам предлагаемого режима многоанодного электролиза для нанесения гальванических покрытий относится:

- 1) возможность подбора силы тока, протекающего через каждый анод, для снижения неравномерности гальванического покрытия на сложнопрофилированном изделии с целью экономии металла и уменьшения брака в получаемых покрытиях;

2) поочередная работа  $N$  анодов позволяет использовать источник питания с мощностью, в  $N$  раз меньшей, чем при электролизе с монолитным анодом, что позволит снизить энергозатраты для технологического процесса в целом.

### Библиографический список

1. **Капустин, Н. М.** Автоматизация производства : учебник для вузов / Н. М. Капустин. – М. : Высшая школа, 2003. – 224 с.
2. **Research** on Automatic Electroplating Product Line's Scheduling System in Small Batch and Multi Types of Electroplating / S. L. Wang, R. Tang, J. Zhou, H. Zhou // *Advanced Materials Research*. – 2011. – V. 317 – 319. – P. 621 – 626.
3. **Carlsson, F.** Automated production test of FLEX KRAFT / F. Carlsson, H. Matsum. – Göteborg : Chalmers University of Technology. – 2005. – 42 p.
4. **Konkina, V. V.** Mathematical Modelling of Electroplating in Reverse Mode for the Multianode Bath / V. V. Konkina, D. S. Solovjev // *ISJ Theoretical & Applied Science*. – 2015. – V. 03(23). – P. 59 – 62.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОЛИЗОМ

*И. А. Соловьева, Д. С. Соловьев, Ю. В. Литовка*

*Тамбовский государственный технический университет*

В различных отраслях промышленности увеличивается число изделий, требующих гальванической обработки все более высокого качества. Импульсный электролиз оказывает благотворное влияние на свойства гальванических покрытий [1 – 3]. В то же время влияние параметров импульсного тока на свойства покрытия изучено недостаточно, из-за чего процессы проводятся при неоптимальных режимах, что снижает эффективность используемого оборудования. Сущность импульсного электролиза заключается в чередовании включения тока прямой полярности и пауз [4].

Характеристиками импульсного тока являются: амплитуда импульса, частота и скважность. Высокие плотности тока и инерционность изменения электродного потенциала уменьшают поляризуемость катода. Поэтому распределение импульсного тока более неравномерное, чем при стационарном электролизе. Распределение металла по поверхности будет зависеть также от амплитуды и частоты импульсов через выход по току [5].

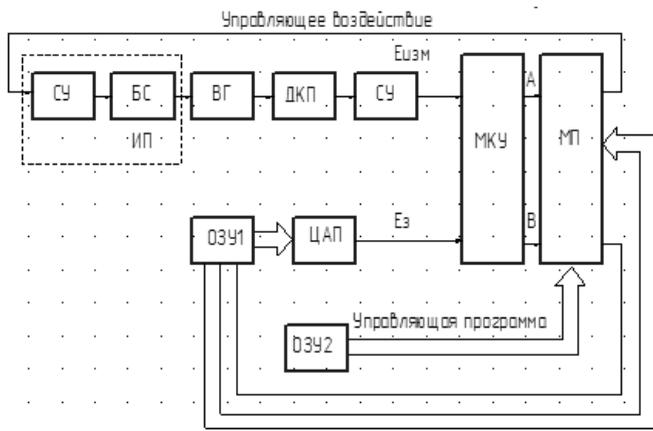
Задачу оптимизации режима импульсного электролиза сформулируем следующим образом: найти амплитуду  $j^*$  импульсов, скважность  $q^*$  и частоту  $f^*$ , при которых неравномерность покрытия минимальна:

$$R = S_c^{-1} \int_{S_c} (\delta(j, q, f) - \delta_{\min}) \delta_{\min}^{-1} dS_c \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $S_c$  – поверхность изделия-катада;  $\delta$  – толщина покрытия.

На рисунке 1 показана структура микропроцессорной системы (МП-системы) управления импульсным режимом электролиза.

Реализация найденных оптимальных параметров для импульсного электролиза, а также указанных функций, заложенных в структурную схему (рис. 1), возможна на базе отечественных МП-систем и контроллеров, например, Овен ПЛК.



**Рис. 1. Структурная схема МП-системы управления электролизом:**

СУ и БС – система управления и блок силовой импульсного источника питания; ВГ – ванна гальваническая; ДКП – датчик катодного потенциала;

СС – согласующая схема; МКУ – модуль компараторов уровня;

ЦАП – цифроаналоговый преобразователь

Система управления процессом электролиза по замкнутому контуру используют датчики тока, чтобы обеспечить непрерывный мониторинг и регулировку импульсов тока. Как правило, такие системы обеспечивают быстрое время отклика менее 1 мкс при 90% от номинального тока. Это позволяет в режиме реального времени контроли-

ровать время нарастания и спада импульсов тока в системе «электролит–электроды».

Импульсный электролиз является более экономичным режимом с точки зрения расхода металла покрытия по сравнению со стационарным режимом за счет улучшения равномерности металла (1) и уменьшения нормативной толщины покрытия.

### **Библиографический список**

1. **Alfantazi, A. M.** Pulse plating of Zn-Ni alloy coatings / A. M. Alfantazi, J. Page, U. Erb // J. Appl. Electrochem. – 1996. – V. 26, Is. 12. – P. 1225 – 1234.
2. **Костин, Н. А.** Импульсный электролиз / Н. А. Костин, В. С. Кублановский, В. А. Заблудовский. – Киев : Наукова думка, 1989. – 168 с.
3. **Бахвалов, Г. Т.** Новая технология электроосаждения металлов / Г. Т. Бахвалов. – М. : Металлургия, 1966. – 147 с.
4. **Кривцов, А. К.** Нестационарный электролиз / А. К. Кривцов, В. А. Хамаев, А. М. Озерцов. – Волгоград : Нижневолжское издательство, 1972. – 153 с.
5. **Левин, А. И.** Теоретические основы электрохимии / А. И. Левин. – М. : Металлургиздат, 1963. – 236 с.

## **УДАЛЕННЫЙ ДОСТУП К ФИЗИЧЕСКОМУ ЭКСПЕРИМЕНТУ**

***С. А. Струков, К. С. Мильников, Ю. А. Фоминых, В. А. Глушков***

*Ижевский Государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова*

В случае преподавания технических и естественнонаучных дисциплин, овладение которыми подразумевает проведение лабораторных работ с реальным оборудованием, дистанционный способ преподавания становится затруднительным [1].

Рассмотрим два возможных решения данной задачи. В качестве оборудования рассматриваем лабораторную станцию NIELVIS с подключенным к ней лабораторным макетом. Сама станция в свою очередь подключена к ПК, на котором установлено ПО Lab VIEW с соответствующими VI, и имеется доступ к сети Интернет [2].

1. Lab VIEW Webserver [3, 4]

В самой программе Lab VIEW встроен инструмент под названием Webserver, который позволяет транслировать изображение рабочей области интерфейса VI в реальном времени по локальной и глобальной

сети и отображать ее в браузере клиентского компьютера. При этом возможны два режима: простого отображения интерфейса и удаленного управления им. На рисунках 1 и 2 изображена работа инструмента Webserver.

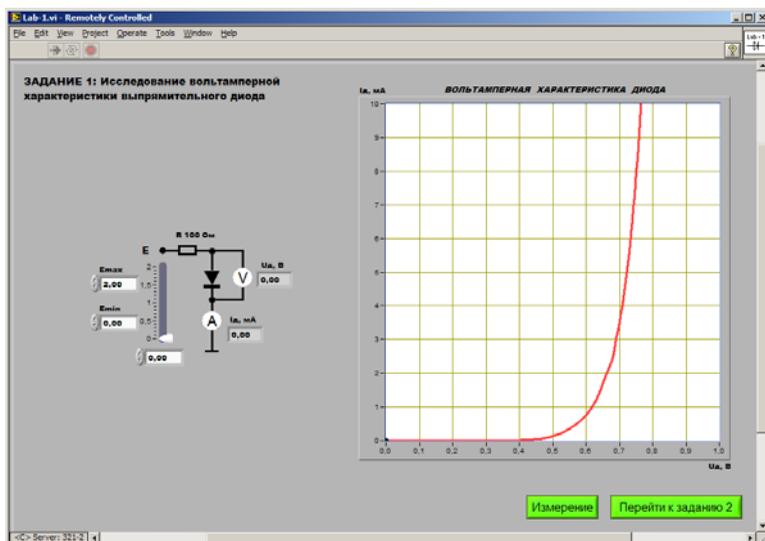


Рис. 1. Интерфейс VI лабораторной работы в среде LabVIEW

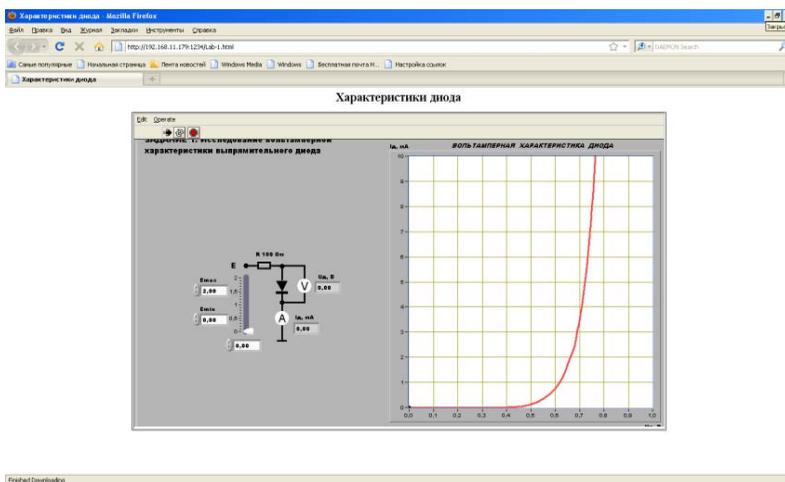


Рис. 2. Удаленное изображение интерфейса VI в интернет-браузере

Достоинством данного решения является его универсальность и удобство для пользователя, которому нет необходимости устанавливать Lab VIEW на своем ПК, а достаточно лишь иметь доступ в интернет и интернет-браузер. Относительный недостаток – это необходимость квалифицированного обеспечения программной и аппаратной составляющих со стороны сервера.

## 2. Team Viewer

Это удобная в использовании программа для получения удаленного доступа к компьютерам в обход брандмауэров, заблокированных портов, а также NAT-маршрутизации локальных IP-адресов. На рисунке 3 показана работа данной программы.

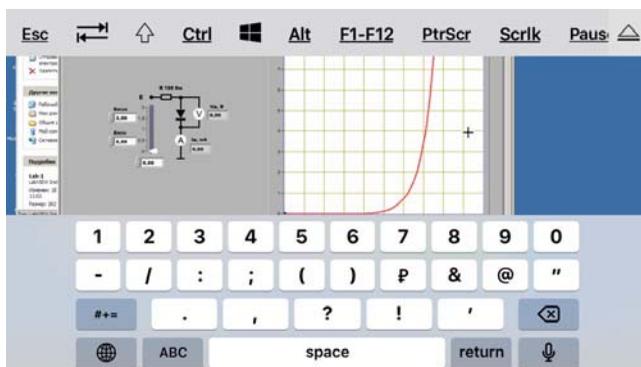


Рис. 3. Экран смартфона для удаленного управления ПК

Достоинство решения – простота, гораздо большая, чем в первом случае. Недостаток – необходимость установки клиентской версии Team Viewer на пользовательское устройство.

## Библиографический список

1. **Организация** и методика проведения лабораторных работ при дистанционном автоматизированном обучении в режиме реальных измерений по техническим дисциплинам / В. А. Глушков, А. В. Гаврилов, К. А. Зорин и др. // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : тез. докл. II Всерос. молодежной науч. конф. (Тамбов, 4–5 мая 2017 г.). – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – С. 16–17.
2. **Батоврин, В. К.** Lab VIEW: Практикум по аналоговой и цифровой электронике : лабораторный практикум / В. К. Батоврин, А. С. Бессонов, В. В. Мошкин. – М., 2007. – 132 с.

3. **Трэвис, Дж.** Lab VIEW для всех / Дж. Трэвис, Дж. Кринг. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ДМК Пресс, 2011. – 904 с.

4. **Автоматизация** физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе Lab VIEW / под ред. П. А. Бутырина. – М.: ДМК Пресс. – 265 с.

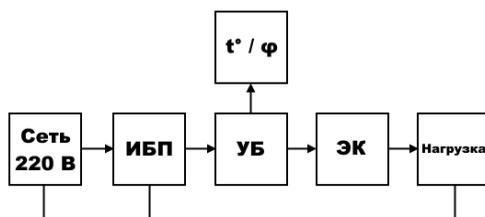
## **РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ**

*А. И. Сукачев, И. В. Миллер, Е. А. Сукачева*

*Воронежский государственный технический университет*

На рынке систем автоматизации представлено огромное количество проектов IoT. Они удобны и направлены на решение многих проблем автоматизации производства, но большинство из них не соответствуют требованиям информационной безопасности. Как правило устройство подключено, полностью или частично, к интернету, в лучшем случае через шлюз, а в худшем не обеспечено никакой безопасностью вовсе.

Целью работы является проектирование устройства, с соизмеримыми промышленным стандартам функциональными возможностями, стабильное, легкое к установке, а также использующее интегральную схему аппаратного шифрования и аутентификации семейства Crypto Authentication ATECC508A.



**Рис. 1. Блок-схема разрабатываемого устройства:**

ИБП – импульсный блок питания; УБ – управляющий блок;

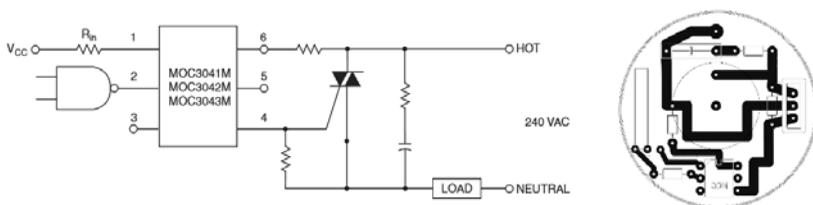
ЭК – электронный ключ;  $t^{\circ}/\varphi$  – блок датчика температуры и влажности

Управляющий блок включает микроконтроллер с встроенным беспроводным интерфейсом и микросхему для хранения данных авторизации. Электронный ключ включает в себя оптрон с детектором нуля, обеспечивающий гальваническую развязку высоковольтной и логической части устройства, а также симмистор, который обеспечивает коммутацию питания. Блок  $t^{\circ}/\varphi$  представляет из себя сдвоенный дат-

чик температуры и влажности, используемый для мониторинга состояния внутри устройства.

В начале работы была определена компонентная база, состоящая из:

- MOC3041 и BT139 для реализации силового ключа;
- ESP8266 – микроконтроллер с интерфейсом Wi-Fi;
- Импульсный блок питания с выходными характеристиками 5В, 1А;
- Microchip ATECC508A.



**Рис. 1. Принципиальная схема устройства и топология печатной платы**

Учитывая данные о размерах используемой компонентной базы, была создана 3D-модель. На рисунке 2 представлены виды проекта, полученные при моделировании.



**Рис. 2. Проекция устройства**

Данный проект продолжает развиваться, сменив программную базу на Mongoose OS. Данная операционная система является операционной системой с открытым исходным кодом для Интернета вещей, разработанная в Cesanta, работающая на микроконтроллерах семейства ESP, STM32 и других. Разработчики продемонстрировали и представили безопасное решение для Mongoose OS, которое работает через соединение TLS (протокол защиты транспортного уровня) к таким серверным решениям, как Amazon Web Service IoT, Google IoT Core и другим, используя учетные данные TLS, хранящиеся в зашиф-

рованном виде в интегральной микросхеме Microchip АТЕСС508А. Данный чип подключается через интерфейс I2C целевой платы. Данную микросхему определяют следующие достоинства:

- защищенное, аппаратно реализованное хранилище ключей;
- использует высокоскоростные алгоритмы открытых ключей (PKI): ECDSA и ECDH;
- возможность одновременного хранения до 16 ключей;
- блокировка от несанкционированного вторжения для внешних контрольных переключателей или активации при включении микросхемы;
- диапазон напряжения питания: от 2.0 В до 5.5 В;
- ток потребления в спящем режиме: не более 150 нА;
- стоимость за один чип составляет менее 70 центов.

Исследование рынка показало, что в устройствах компании Philips, Xiaomi, Redmondне используют в своих устройствах аппаратных средств обеспечения безопасности устройства класса IoT. Исключением оказалась компания Apple, технологическим решением которой стало использование чипа T2, обеспечивающего специальную физическую область в процессоре гаджета, в которой хранятся пароли, ключи шифрования или биометрические данные вроде отпечатков пальцев.

### **Библиографический список**

1. **ESP8266** Hardware Design Guidelines / Espressif Systems. – 2018. – 32 с.
2. **Security** and Privacy in Internet of Things/ ФейХу, 2016. – 604 с.
3. **Интернет** вещей. Новая технологическая революция / Кранц-Мачей – 2018. – 336 с.

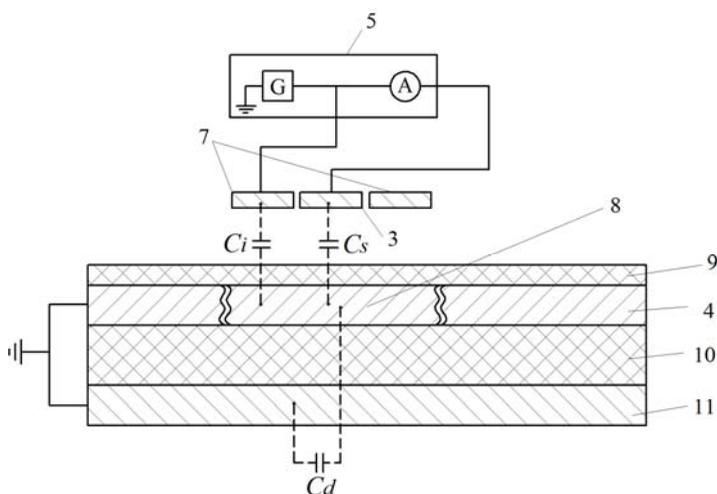
## **ЕМКОСТНЫЙ КОНТРОЛЬ ЛОКАЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ ТОКОПРОВОДЯЩЕГО ПОКРЫТИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНДУЦИРУЮЩЕГО ЭЛЕКТРОДА**

*Д. Р. Таипова*

*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С. П. Королева*

В процессе эксплуатации бака ракетно-космического аппарата возможно появление на токопроводящем покрытии (ТПП) замкнутых трещин, что при наличии статического электричества может привести

к взрыву. Устройство для контроля локальных дефектов покрытия работает следующим образом. Позиционер перемещает платформу с расположенной на ней матрицей плоских измерительных электродов вдоль слоя токопроводящего покрытия. Плоские измерительные электроды образуют с токопроводящим покрытием конденсаторы, емкость которых измеряется блоком измерения емкости. Данные о емкости конденсаторов передаются в блок обработки. На индуцирующий электрод, расположенный по периметру от электродов, подается переменное напряжение от опорного генератора, обязательно присутствующего в любом измерителе емкости, что повышает чувствительность к определению крупных дефектов [1].



**Рис. 1. Конструкция устройства:**

4 – слой токопроводящего покрытия (ТПП); 5 – блок измерения емкости;  
7 – индуцирующий электрод; 8 – область ТПП, образованная замкнутой трещиной; 9 – слой диэлектрического покрытия; 10 – диэлектрический материал; 11 – металлическая стенка бака

В блоке 5 электрический ток  $I$  через амперметр  $A$  связан соотношением:

$$C = \frac{I}{U\omega}, \quad (1)$$

где  $U$  – напряжение опорного генератора;  $\omega$  – угловая частота опорного генератора. Примем допущение, что краевые эффекты у образуемых электродами конденсаторов малы и их емкость пропорциональна пло-

щади электродов. Предположим, что измерительный электрод находится над неповрежденным участком ТПП. Тогда ток через амперметр будет максимальным и составит:

$$I = \frac{U}{Z_S} = U\omega C_S, \quad (2)$$

где  $C_S$  – емкость, образованная измерительным электродом 3 и ТПП;

$Z_S = \frac{1}{C_S\omega}$  – реактивное сопротивление конденсатора. При нахожде-

нии сенсора полностью над поврежденным участком ТПП ток через амперметр будет меньше и в случае отсутствия индуцирующего электрода 7 составит:

$$I = \frac{U}{Z_S + Z_D}, \quad (3)$$

где  $Z_S$  – реактивное сопротивление конденсатора, образованного стенкой топливного бака 11 и дефектным участком ТПП 8. Из выражения (3) следует, что при большом размере дефекта и, соответственно, малом его сопротивлении  $Z_D \ll Z_S$ , отличие тока между поврежденным (3) и неповрежденным (2) участком ТПП будет незначительно, что затрудняет фиксацию таких дефектов. В случае введения индуцирующего электрода 7, расположенного также над дефектом ТПП, в цепи появляется емкостное сопротивление  $Z_i$ , включенное параллельно с сопротивлением  $Z_S$ . Используя законы электротехники, можно получить выражение для тока в получившейся цепи:

$$I = \frac{U}{Z_S + Z_D \left( 1 + \frac{Z_S}{Z_i} \right)}. \quad (4)$$

Из (4) следует, что в случае  $Z_S \gg Z_i$  при нахождении над дефектным участком происходит значительное изменение тока, что повышает чувствительность датчика.

### Библиографический список

1. **Борминский, С. А.** Автоматизированная система обнаружения локальных дефектов токопроводящего покрытия с применением матрицы электродов / С. А. Борминский, Б. В. Скворцов, Д. Р. Таипова // Известия СНЦ РАН – 2018. – Т. 20, № 6. – С. 184 – 189.

# РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОСЕКЦИОННОЙ КОНВЕЙЕРНОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧЬЮ

*И. В. Тюрин, Р. А. Токарев*

*Тамбовский государственный технический университет*

Печь предназначена для термообработки заготовок позисторов в воздушной среде. Печь состоит из шести контролируемых и регулируемых секций ( $n = 6$ ), потребляемая мощность 80 кВт, максимальная температура в секции печи может достигать 1400 °С, скорость конвейерной ленты с изделиями регулируется в пределах 0,3 до 1 м/ч. Нагрев заготовок осуществляется косвенным способом карбидокремневыми трубчатыми электронагревателями КЭН АПС 18-250-400. Выбранный вариант реализации интеллектуальной энергосберегающей системы управления имеет двухуровневую структуру, как показано на рис. 1.

На первом (высшем) уровне располагаются управляющая ЭВМ (PC) и сервер (S) с базой знаний системы энергосберегающего управления, взаимодействующие между собой в рамках промышленной сети *Ethernet*, а на нижнем – контроллеры (K1 – K6) с локальными выходными устройствами (ВУ1 – ВУ6) секциями печи.

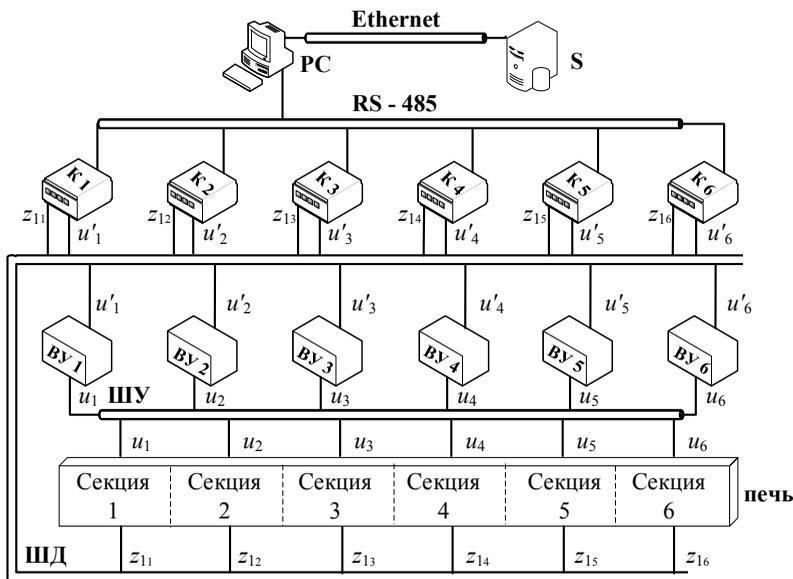


Рис. 1. Структура интеллектуальной системы управления печью

Контроллеры с локальными системами управления реализованы на шести измерителях-регуляторах температуры *OWENTPM201*. Связь контроллеров с ЭВМ осуществляется при помощи двунаправленного интерфейса *RS-485*, в качестве программного обеспечения используется *SCADA*-система. На входы контроллеров К1 – К6 по шине данных (ШД) передается информация о значениях фазовых координат (температур)  $z_{11} - z_{16}$  в секциях, а с выходов снимаются управляющие сигналы  $u'_1 - u'_6$ , необходимые для работы выходных устройств ВУ1 – ВУ6. На дисплеях контроллеров отображается информация о температурах в секциях, задаваемые значения температурных режимов, параметры настроек регулирования и др. [1, 2]. На выходах ВУ1 – ВУ6 формируются управляющие воздействия  $u_1 - u_6$ , которые по шине управления (ШУ) подаются на нагревательные элементы соответствующих секций печи.

Исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта РФФИ № 17-08-00457-а «Разработка методологии построения интеллектуальных систем энергосберегающего управления многомерными технологическими объектами на множестве состояний функционирования».

#### **Библиографический список**

1. **Муромцев, Д. Ю.** Методологические аспекты построения программно-аналитического комплекса проектирования систем энергосберегающего управления / Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015 – Т. 21, № 4. – С. 542 – 547.
2. **Муромцев, Д. Ю.** Синтез многофункциональных управляющих устройств / Д. Ю. Муромцев, В. В. Папин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013 – Т. 19, № 2. – С. 262 – 270.

### **МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ РОТОРНЫМ РЕЗИНОСМЕСИТЕЛЕМ**

*И. В. Тюрин, Р. А. Токарев*

*Тамбовский государственный технический университет*

Роторный резиносмеситель периодического действия РС-40-40 с объемом смесительной камеры 40 л предназначен для приготовления резины, фторкаучуков, ПВХ и пластикации каучука на заводах,

изготавливающих резинотехнические изделия. Номинальная мощность электродвигателя тангенциальных роторов типа «Бенбери» составляет 110 кВт. На рисунке 1 приведена структурная схема разработанной микропроцессорной системы интеллектуального энергосберегающего управления резиносмесителем. Основным узлом системы является микроконтроллер семейства *MSP430* компании *Texas Instruments*, в который из экспертной системы записан фрагмент базы знаний, содержащий необходимые сведения для синтеза энергосберегающих управляющих воздействий [1, 2]. Данный микроконтроллер базируется на 16-разрядном процессоре смешанных сигналов с *RISC*-архитектурой и характеризуется сверхнизким энергопотреблением.

Код управления по каналам 3 поступает на устройство сопряжения с объектом (УСО), которое формирует управляющее воздействие. По каналам связи 1 сигналы управления поступают на твердотельные реле, осуществляющие подачу питающего напряжения на электроприводы ЭП1 – ЭП3. Сигналы с датчиков тока и температуры поступают по каналам 2 в УСО1 – УСО3, где усиливаются и подаются по каналам 4 на 16-разрядный АЦП микроконтроллера. Связь с микроконтроллером осуществляется посредством асинхронного интерфейса RS232, что позволяет объединить несколько УСО в одну общую шину.

Клавиатура, подключаемая по интерфейсу *USB* 5 к микроконтроллеру, предназначена для ввода корректив в работу системы, смены алгоритмов управления и других установочно-отладочных операций.

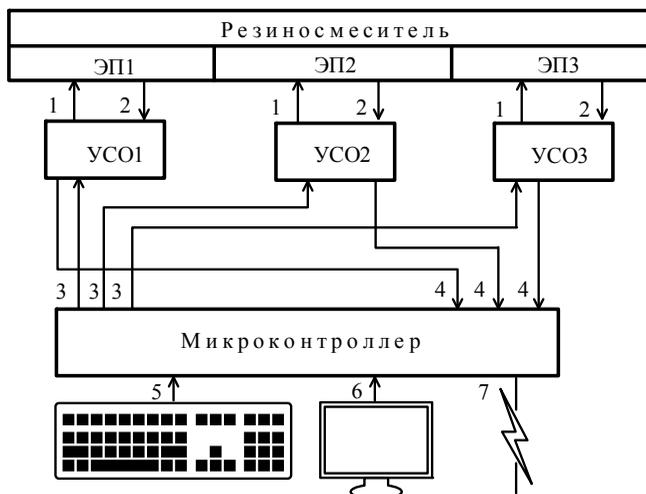


Рис. 1. Структура системы управления резиносмесителем

Для отображения контрольной и вспомогательной информации служит малогабаритный дисплей *b* на жидких кристаллах.

С помощью коммуникационного интерфейса *7* предусмотрено подключение системы к контрольно-отладочным устройствам, информационным системам, средствам АСУТП и т.п.

Исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта РФФИ № 18-08-00555-а «Разработка методологии построения помехоустойчивых информационно-управляющих систем многомерными объектами на множестве состояний функционирования».

### **Библиографический список**

1. **Муромцев, Д. Ю.** Методологические аспекты построения программно-аналитического комплекса проектирования систем энергосберегающего управления / Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015 – Т. 21, № 4. – С. 542 – 547.

2. **Муромцев, Д. Ю.** Синтез многофункциональных управляющих устройств / Д. Ю. Муромцев, В. В. Папин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013 – Т. 19, № 2. – С. 262 – 270.

## **ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ FSK-СИГНАЛОВ ПРИ ПОМОЩИ ОБОРУДОВАНИЯ EMONA DATEx**

***К. В. Федотова***

*Дальневосточный федеральный университет*

Цифровая модуляция – процесс преобразования подлежащего передаче цифрового сообщения в сигнал, совместимый с характеристиками канала [2]. В данной статье рассматривается частотная манипуляция (Frequency Shift Keying – FSK). Целью работы является анализ поведения FSK-сигналов в условиях помех (белый шум, наличие копии сигнала в канале в результате многолучевого распространения [2]). Для выполнения экспериментов используется аппаратный модуль Emona DATEx совместно с платформой NIELVISII [1].

При FSK частота несущего колебания с постоянной амплитудой может иметь два возможных значения и изменяется в соответствии со значениями модулирующего сигнала [2]. FSK сигнал имеет вид:

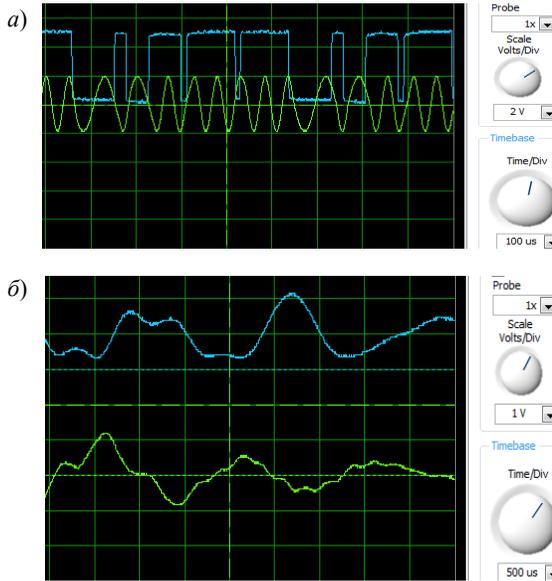
$$s(t) = A_m \cos[2\pi f_n t + \Delta\varphi(t)], \quad (1)$$

где  $A_m$  – амплитуда сигнала;  $f_n$  – несущая;  $\Delta\varphi(t)$  – приращение фазы.

Осциллограмма FSK сигнала показана на рис. 1. Исходным сообщением является речевой сигнал.

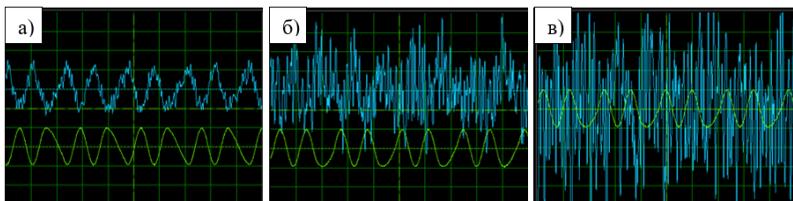
Для оценки влияния различных помех в канале связи на качество принятого речевого сообщения FSK-сигнал в системе Emona DАТЕх будет суммироваться с шумом различных уровней (–20 дБ, –6 дБ и 0 дБ, при которых отношение сигнал-шум составляет 9 дБ, 1 дБ и 0,5 дБ соответственно) и с собственной копией, сдвинутой во времени на четверть периода.

Принятый речевой сигнал в отсутствие шума (рис. 1, б) по форме практически идентичен переданному, однако при воспроизведении аудиозаписи на слух можно обнаружить наличие паразитной амплитудной модуляции. С помощью рис. 2 можно проследить влияние белого шума на форму FSK-сигнала (осциллограммы сигналов приведены в одном масштабе): при уровне шума –20 дБ сигнал еще различим во временной области, но белый шум более высоких уровней (–6 и 0 дБ) приводит к разрушению формы сигнала.

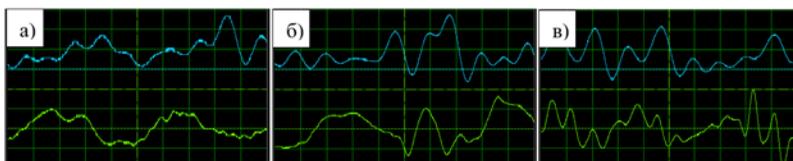


**Рис. 1. Осциллограммы:**

*a* – FSK сигнала (зеленый); *б* – исходного (зеленый) и принятого (синий) речевых сигналов



**Рис. 2.** Осциллограммы исходного (зеленый) и зашумленного (синий) FSK сигналов при добавлении шума  $-20$  дБ (а),  $-6$  дБ (б) и  $0$  дБ (в)



**Рис. 3.** Осциллограммы исходного (зеленый) и восстановленного (синий) речевых сигналов при добавлении шума  $-20$  дБ (а),  $-6$  дБ (б) и  $0$  дБ (в)

Влияние белого шума на качество восстановленного сообщения можно оценить с помощью осциллограмм, приведенных на рис. 3. С увеличением уровня добавляемого шума форма принятого сигнала все больше искажается по сравнению с исходным сигналом, речь на записи звучит все тише, а паразитная амплитудная модуляция проявляется более ярко. Наличие «отраженного» FSK-сигнала в канале привело к полному уничтожению сигнала на приемной стороне.

Таким образом, наличие различного рода помех в смоделированном канале связи привело к заметному искажению формы сигналов на осциллограммах, а также к ухудшению качества звучания речи на звуковых записях, что может быть обусловлено весьма низкими значениями отношения сигнал-шум на входе демодулятора. Следует отметить, что подобные эксперименты были также проведены для ASK и BPSK сигналов. При этом метод FSK-модуляции оказался наименее устойчив к рассмотренным помехам и имел наибольшую сложность реализации схемы демодулятора: даже небольшие погрешности настройки приборов (фильтров) приводили к уничтожению принимаемого сигнала. Также не удалось избавиться от паразитной амплитудной модуляции, присутствующей в восстановленном сигнале даже в отсутствие помех.

## Библиографический список

1. **Duncan B.** Emona DATEx Lab Manual. – Vol 1. Experiments in Modern Analog and Digital Telecommunications. – Emona Instruments Pty Ltd, 2008.
2. **Скляр, Б.** Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – М. : Вильямс, 2016. – 1099 с.

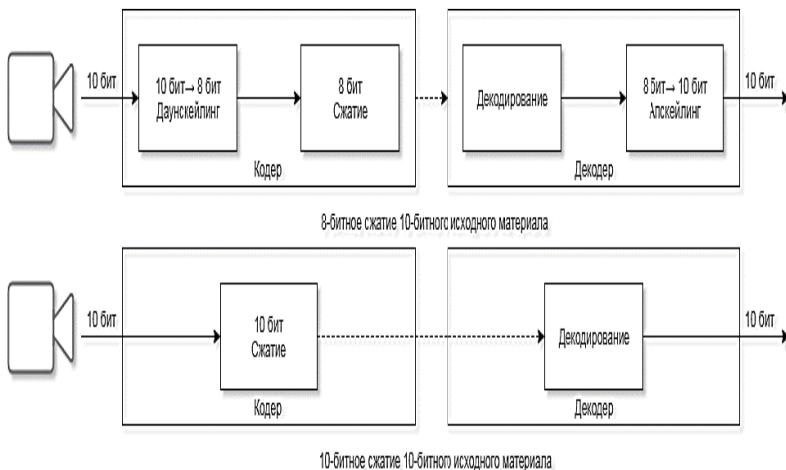
## ПРЕИМУЩЕСТВА 10-БИТНОГО КОДИРОВАНИЯ ВИДЕОСИГНАЛА

*А. А. Хоменко, И. С. Козлов, Г. Е. Контимиров*

*Дальневосточный федеральный университет*

Применение 10-битных алгоритмов кодирования 10-битного исходного видео обеспечивает лучшее качество, чем использование 8-битных алгоритмов. Одна из главных причин заключается в применении масштабирования, так при кодировании используется «даунскейлинг» (уменьшение), а при декодировании «апскейлинг» (увеличение), это менее эффективно, чем простое 10-битное сжатие (данные процессы представлены на рис. 1). Другими словами, использование сжатия без масштабирования обеспечивает лучшее качество, в отличие от сжатия с применением масштабирования для уменьшения передаваемой информации.

Также при сжатии видео кодеками AVC/H.264 каждый кадр разбивается на макроблоки размером  $16 \times 16$  по яркостной компоненте и  $8 \times 8$  по цветовой компоненте, и к каждому макроблоку применяется дискретное косинусное преобразование, которое является полностью обратимым. Для увеличения сжатия каждый элемент результирующей матрицы делится на соответствующий элемент матрицы квантования и результат округляется. На данном этапе возникает проблема – проявляются ошибки квантования. Решением этой проблемы является добавление псевдослучайного шума в структуру каждого кадра, однако это приводит к увеличению размера видеофайла. Поэтому резонно использовать увеличение размера одного канала с 8 до 10 бит, т.е. с 256 до 1024 уровней на канал. В данном случае количество ошибок квантования снижается, и его компенсация псевдослучайным шумом не имеет смысла. За счет этого снижается конечный размер видеофайла при сохранении высокого качества, близкого к качеству исходного видео.



**Рис. 1. Сравнение 8-битного и 10-битного сжатия**

Таким образом, 10-битное кодирование фактически экономит полосу пропускания за счет снижения скорости передачи данных, при сохранении высокого качества видео, близкого по характеристикам к исходному несжатому видеоматериалу.

### **Библиографический список**

1. **Карякин, В. Л.** Цифровое телевидение : учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / В. Л. Карякин. – М. : СОЛОНПРЕСС, 2013. – 448 с.

## **ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

***А. Р. Хребтов, А. В. Поплевин***

*Тамбовский государственный технический университет*

Радиолокационные (РЛ) измерители обеспечивают бесперебойную работу независимо от времени суток и погодных условий, которые никак не влияют на их измерения. Но полученного сигнала с РЛ-измерителя недостаточно для того, чтобы оценить местоположение объекта в пространстве и первичные измерения должны быть подвергнуты обработке [1].

Существует несколько методов измерения параметров сигнала. Амплитудный метод измерения углов основан на использовании направленных свойств антенн. Главным недостатком амплитудного метода является низкая точность измерений, кроме метода сравнения, который имеет высокую точность, но в то же время трудно реализуем для бюджетного исполнения системы. В связи с этим, использование данного метода нецелесообразно в разрабатываемой информационно-измерительной системе [2].

Другим методом, с помощью которого можно измерить угловое положение объекта, является фазовый метод. Метод основан на сравнении фаз сигналов в нескольких точках пространства.

По сравнению с амплитудным методом, фазовый метод обладает высокой точностью и чувствительностью к принимаемому сигналу. Недостатком фазового метода является высокая неоднозначность измерения угла [3].

Прежде чем окончательно принять решение об использовании в разрабатываемой информационно-измерительной системе именно фазового метода, были проведены расчеты, подтверждающие его работоспособность.

При исследовании ситуации на дороге, имеющей четыре полосы, была определена требуемая величина однозначно измеряемого угла, которая равна 8 градусам. При этом угле для длин волн от 1,2 до 30 см были определены расстояния между антеннами и величины отношений сигнал/шум [4].

В таблице 1 представлены результаты расчетов параметров фазового метода.

### 1. Результаты расчетов

Длина волны $\lambda$ , см	Расстояние между антеннами, см	Угол, °	Погрешность датчика в линейном выражении, см	с/ш
1,2 см (24,15 ГГц)	8,5	8	4,8	8,5
2,5 см (12 ГГц)	17,9	8	2,3	37
5 см (6 ГГц)	36	8	1,1	148
30см (1 ГГц)	214	8	0,2	5349

Как показали расчеты, погрешности и расстояния между антеннами соответствуют требованиям к разрабатываемой системе. Поэтому для использования в системе контроля за безопасностью на городских дорогах общего пользования в пределах отдельных кварталов предлагается фазовый метод.

### **Библиографический список**

1. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
2. **Алгоритм** дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, И. В. Князев // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 60 – 63.
3. **Estimation** of Location Coordinates in the System of Vehicle Control to Ensure Traffic Safety / A. P. Pudovkin, S. N. Danilov, A. V. Ivanov, Yu. N. Panasuk // International Conference on Recent Advanced in Engineering, Technology and Applied Sciens. – USA, Detroit, 2017. – С. 32 – 49.
4. **Synthesis** of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id.032111.

### **МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ДО НАЗЕМНОЙ ДВИЖУЩЕЙСЯ ЦЕЛИ**

*А. Р. Хребтов, А. В. Поплевин*

*Тамбовский государственный технический университет*

Есть несколько способов измерения расстояния до наземной движущейся цели. Одним из таких способов является метод триангуляции. Для работы этого метода измерительной системе требуются три значения угловых координат от трех различных антенных измерителей, четко зафиксированных в пространстве.

Для измерения углов был выбран фазовый метод измерения. Первые два антенных измерителя предлагается расположить в начале и конце участка дороги, отслеживаемой системой. Проведя исследование для ситуации на четырехполосной дороге, была определена требуемая величина однозначно измеряемого угла для этих измерителей, которая равна 8 градусам. Диапазон частот радиолокационного (РЛ) измерителя – 6 ГГц [1].

Радиолокационный прибор, установленный на высоте 8 м (на специальных стойках или на крыше строений), по сути своей является приемопередатчиком. Каждый такой прибор имеет две антенны, расположенные на расстоянии 0,36 м друг от друга, передатчик и многоканальный приемник. Прием отраженного сигнала непосредственно от транспортного средства невозможен, так как сигнал пропадает на фоне отражений от местности [2].

Третий измеритель предлагается расположить сбоку от участка дороги, отслеживаемого системой.

В общем случае, сравнения фаз сигналов в двух точках пространства, требуемого фазовым методом измерения, может быть недостаточно для рассматриваемой области применения. С одной стороны, необходимо обеспечить устранение неоднозначности измерения. Для этого расстояние между рупорными антеннами должно быть достаточно велико. С другой стороны, для достижения необходимой точности антенны должны быть расположены достаточно близко. Это противоречие можно разрешить с помощью антенны с тремя точками приема [3].

Причем антенные рупоры в точках *a* и *c* обеспечивают однозначность измерения, а в точках *b* и *c* необходимую точность в полученном секторе однозначности (рис. 1). Это относится в полной мере к антенной системе, расположенной на позиции 3 (рис. 2). Для рупоров антенных систем на позициях 2 и 3 достаточно по две точки приема, так как измерение однозначно из-за небольшого углового сектора обзора.

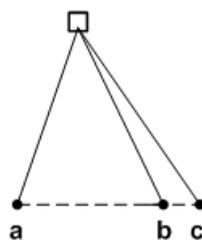


Рис. 1. Антенная система

Далее контроллер измерительной системы геометрически рассчитывает положение цели, учитывая, что цель находится в точке пересечения трех прямых «Антенна-цель». На рис. 2 представлено схематическое изображение контролируемого участка трассы и положение антенн.

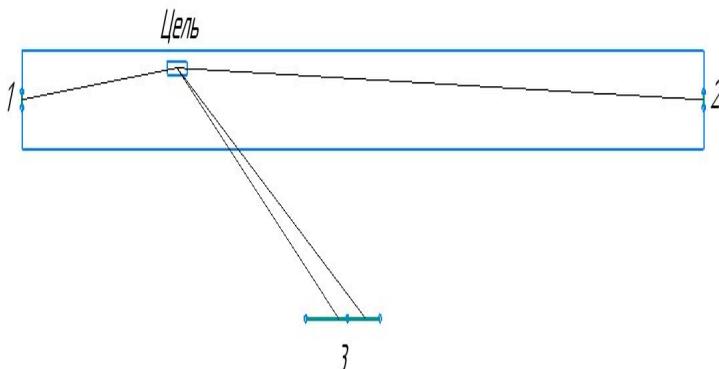


Рис. 2. Схема измерения

### Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

2. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин // Труды ТГТУ. Радиотехника. – М., 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

3. **Estimation** of Location Coordinates in the System of Vehicle Control to Ensure Traffic Safety / A. P. Pudovkin, S. N. Danilov, A. V. Ivanov, Yu. N. Panasuk // International Conference on Recent Advanced in Engineering, Technology and Applied Sciens. – USA, Detroit, 2017. – С. 32 – 49.

## НЕКОТОРЫЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА С МАШИНОЙ

*А. А. Черкасова*

*Дальневосточный Федеральный Университет*

Одним из ключевых факторов успеха программного обеспечения на сегодняшний день является его удобство для пользователя. Парадигма разработки программного обеспечения в последнее время претерпела значительные изменения. Все больше времени и ресурсов вкладывается в создание дружелюбного интерфейса, который позво-

ляет пользователям выполнять поставленные задачи быстро, легко и без учета технических аспектов работы системы.

Основной целью взаимодействия человека с компьютером является улучшение взаимодействия между людьми и компьютерами, делая компьютеры более удобными и восприимчивыми к потребностям пользователей. В частности, взаимодействие человека с компьютером касается следующего:

- методология и разработка дизайна интерфейса;
- методы реализации интерфейсов;
- методы оценки и сравнения этих интерфейсов;
- разработка новых интерфейсов и методов взаимодействия;
- разработка описательных и прогностических моделей;
- теория взаимодействия.

Долгосрочной целью взаимодействия человека с компьютером является развитие системы, которая уменьшит барьер между человеческими когнитивными моделями того, чего они хотят достичь, и пониманием поставленных компьютером задач.

Специалисты по взаимодействию человека с компьютером – это, как правило, разработчики, занимающиеся практическим применением методов проектирования к реальным глобальным проблемам. Их работа часто связана с разработкой графических и веб-интерфейсов.

Чтобы оценить взаимодействие между людьми и компьютерами, Дон Норман предложил семь принципов. Он предложил семь шагов, которые можно использовать для преобразования сложных задач. Семь принципов Нормана:

1. Используйте как знания в мире, так и знания в голове.
2. Упростить структуру задач.
3. Сделайте вещи видимыми.
4. Получите правильное отображение (Пользовательская ментальная модель = Концептуальная модель = Разработанная модель).
5. Преобразуйте ограничения в преимущества (физические ограничения, культурные ограничения, технологические ограничения).
6. Дизайн для ошибок.
7. Когда все остальное терпит неудачу – стандартизируйте.

С момента создания возникли различные методологии, определяющие методы взаимодействия человека с компьютером. Вот несколько методологий проектирования:

- Теория деятельности: это метод HCI, который описывает структуру взаимодействия человека с компьютером. Теория деятельности предоставляет рассуждения, аналитические инструменты и продукты сотрудничества.

- Ориентированный на пользователя дизайн: он предоставляет пользователям центральное место в дизайне, где они получают возможность работать с дизайнерами и инженерами-практиками.
- Принципы проектирования пользовательского интерфейса: Терпимость, простота, наглядность, доступность, последовательность, структура и обратная связь – семь принципов, используемых при проектировании интерфейса.
- Ценностно-чувствительный дизайн: этот метод используется для разработки технологий и включает три типа исследований: концептуальные, эмпирические и технические.
- Концептуальное исследование работает на понимание ценности инвесторов, которые используют технологии.
- Эмпирические исследования – это количественные и качественные исследования дизайна, которые демонстрируют понимание пользовательских ценностей дизайнера.
- Технические исследования включают использование технологий и конструкций в концептуальных и эмпирических исследованиях.

## **ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА И КОМПЬЮТЕРА**

*А. А. Черкасова*

*Дальневосточный федеральный университет*

Разработка эффективных интерфейсов для компьютерных систем является основным принципом совершенствования взаимодействия человека и компьютера.

Интерфейс может определяться как сумма компонентов аппаратного и программного обеспечения, посредством которых управляется система, а пользователи, в свою очередь, получают информацию относительно ее состояния.

Эргономический анализ задачи является одной из опор конструкции интерфейса. По существу, он является процессом, по которому дается разъяснение ответственности и видов деятельности пользователей. В свою очередь, это позволяет интерфейсам быть совместимыми с характеристиками задач, намеченных пользователями. Имеется два аспекта для любой из данных задач:

1. *Номинальная задача*, соответствующая формальному определению организации задачи. Она подразумевает цели, процедуры, контроль качества, стандарты и инструменты.

2. *Реальная задача*, соответствующая решениям и поведению пользователей, необходимых для выполнения номинальной задачи.

Промежуток между номинальной и реальной задачами является неизбежным, а результаты неудачи при выполнении номинальных задач учитывают изменения и непредвиденные обстоятельства в ходе выполнения работы, также как и различия в мысленном представлении пользователями своей работы. Анализ номинальной задачи является недостаточным для полного понимания деятельности пользователей.

Анализ деятельности исследует различные элементы, такие как цели работы, тип выполняемых операций, их временную организацию (последовательную, параллельную) и частоту, предполагаемые операционные режимы, решения, источники возникновения трудностей, ошибки и режимы восстановления. Данный анализ показывает различные операции, выполняемые для завершения выполнения задачи (обнаружение, поиск, сравнение, оценка, решение, расчет, ожидание), манипулируемые объекты, а так же отношения между операторами и объектами.

По своим основным принципам анализ задачи состоит из сбора, компиляции и анализа данных. Данное действие может выполняться предварительно, во время или после компьютеризации задачи. Во всех случаях это обеспечивает существенные возможности руководства для оценки и конструкции интерфейса. Анализ задачи всегда относится к реальной задаче, хотя так же можно исследовать и будущие задачи посредством моделирования или испытания прототипа. При использовании до компьютеризации он исследует «внутренние задачи» (т.е. задачи, находящиеся внутри компьютера), выполняемые при использовании существующих рабочих инструментов. Данный тип анализа приемлем, даже если предполагается, что компьютеризация явится результатом основной задачей модификации, так как она проясняет сущность и логику задачи, методику работы, терминологию, сущность операций и задач, рабочих инструментов и источников возникновения трудностей. При таком течении действий анализ предоставляет данные, необходимые для оптимизации и компьютеризации задачи.

Анализ задачи, выполняемый во время компьютеризации, фокусируется на «внутренних задачах», представляемых компьютерной системой. Прототипы системы на этой стадии используются для сбора данных. Фокус сосредоточен на тех же моментах, которые рассматривались на предыдущей стадии, но с точки зрения процесса компьютеризации.

Следуя компьютеризации задачи, анализ задачи так же направлен на исследование внутренних задач, но теперь анализ сфокусирован

на окончательной компьютерной системе. Данный тип анализа часто выполняется для определения оценки существующих интерфейсов или как часть проектирования новых интерфейсов.

Оценка интерфейсов пользователем является обязательным и эффективным способом для улучшения пригодности и полезности. Интерфейс почти всегда оценивается в электронной форме. Оценка является повторяющимся процессом и частью оценочно-модификационного цикла, который продолжается до тех пор, пока интерфейс не будет признан приемлемым.

Некоторые методы оценки интерфейсов не вовлекают пользователей; они могут использоваться как дополнение к оценке пользователя. Вслед за оценкой приходит решение поставленных проблем, обсуждение и выполнение модификаций, а также ответ на вопрос, необходим ли новый прототип.

## **РАДИОЛОКАЦИЯ. РАДАРЫ**

***В. Ю. Шафоростова, А. Н. Урюпин***

*Воронежский государственный технический университет*

Радар – это система, которая использует электромагнитные волны, чтобы определить дальность, высоту, направление или скорость движущихся объектов. Термин *радар* был придуман в 1941 году. Изначально в Великобритании радар называли «Радиоискатель направления».

Радарная система имеет передатчик, который излучает радиоволны. Когда они вступают в контакт с объектом, то отражаются или рассеиваются в разных направлениях. Радарные сигналы отражаются особенно хорошо от материалов со значительной электропроводностью, особенно от большинства металлов, морской воды и мокрой земли. Радарные сигналы, которые отражаются обратно к передатчику, являются полезными. Они выполняют радиолокационную работу.

Радиолокационный приемник обычно расположен в том же самом месте, что и передатчик. Несмотря на то, что отраженные сигналы, пойманные приемной антенной, как правило, очень слабые, они могут быть усилены. Более сложные методы обработки сигналов также используются для того, чтобы восстановить полезные сигналы радара.

Слабое поглощение радиоволн средой, через которую они проходят, позволяет радиолокационной станции (РЛС) обнаруживать объекты на относительно больших расстояниях.

Радар используется для разных целей, включая метеорологическое отслеживание осадков, измерение океанских глубин, контроль перемещения воздушных потоков и для измерения скорости объектов.

*Обработка радиолокационного сигнала.* Одним из способов измерения расстояния до объекта является передача короткого импульса радиосигналов и измерение времени, необходимого для его возврата. Расстояние вычисляется как половина произведения времени движения туда и обратно и скорости сигнала. В этом заключается принцип определения расстояния до объекта с помощью импульсного радара. Поскольку радиоволны распространяются со скоростью света, точное измерение расстояния требует использования высокопроизводительной электроники.

В большинстве случаев приемник не обнаруживает возврат во время передачи сигнала. С помощью использования устройства, называемого дуплексором, радар переключается между передачей и приемом с заданной скоростью. Минимальный диапазон вычисляется путем измерения длительности импульса, умноженной на скорость света, деленную на два. Для обнаружения более близких целей необходимо использовать более короткую длину импульса. Аналогичный эффект имеет и максимальный диапазон.

Эти два эффекта, как правило, противоречат друг другу. Поэтому каждый радар использует определенный тип сигнала. Радары дальнего действия обычно используют длинные импульсы с большими задержками между ними, а радары ближнего действия используют более короткие импульсы с меньшим временем между ними.

Изобретение радиосвязи дало начало таким научно-техническим направлениям, как радиоастрономия, радиометрология, радионавигация, радиолокация, радиоразведка, радиопротиводействие.

Радио послужило мощнейшим стимулом в исследовании и развитии электричества и стало основой электроники. А электроника, в свою очередь, породила вычислительную технику.

### **Библиографический список**

1. **Журавлев, Д. В.** Основы современной радиоэлектроники : учеб. пособие [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. данные (6,21 Мб) / Д. В. Журавлев. – Воронеж : ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013.

## ОБ АНТЕННАХ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ФОРМАТА CUBESAT

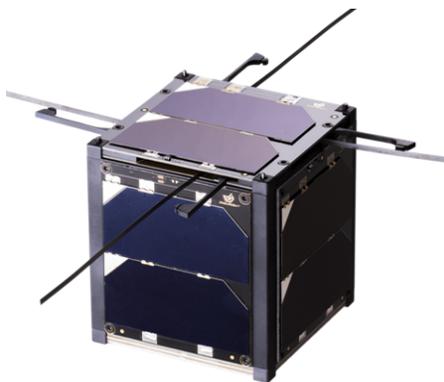
*В. Н. Ширококов, В. А. Глушков*

*Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова*

Рассматривается проблема использования различных антенн в спутниках формата CubeSAT, приводится список требований к ним для выявления оптимальных параметров конструкции и функционала антенн. Ставится акцент на один из основных критериев оптимизации – массогабаритные параметры (миниатюризация).

В настоящее время вопрос о миниатюризации сверхмалых космических аппаратов (КА) формата CubeSAT имеет большое значение для оптимизации их массогабаритных параметров. Отдельное место в данном вопросе занимают антенны, осуществляющие связь между спутником и наземной станцией, а также позволяющие осуществлять передачу оцифрованной информации с полезной нагрузки КА. Ввиду необходимости обеспечения надежной связи со спутником требуется применение антенн, не требующих использования механизмов для их раскрытия после запуска в космическое пространство и не выступающих за габариты КА.

Корпусам рассматриваемого формата малых спутников CubeSat присуща модульность – базовым структурным блоком (1 U) является куб с размером ребер 100 мм (рис. 1); максимальная масса одного блока (юнита) составляет 1,33 кг [5]. Данные характеристики позволяют относить данный формат спутников к наноспутникам.



**Рис. 1. Внешний вид наноспутника CubeSAT**

При проектировании антенны необходимо учитывать большое количество параметров и требований к ним.

1. Конструкция антенны должна быть надежной. Под данным критерием подразумевается комплексное требование к антеннам, заключающееся в следующих аспектах:

- прочность ее соединения с каркасом космического аппарата;
- ее безопасная и долговечная (в пределах целевого срока службы) эксплуатация с учетом достаточно строгих требований к материалам, используемым при ее изготовлении;
- обеспечение гарантии полного развертывания антенны после ее запуска.

2. Соответствие требуемым стандартам связи. Для связи на спутниках CubeSAT обычно применяются два частотных диапазона, являющихся любительскими – (435-438) МГц и (144-146) МГц.

3. Массогабаритные параметры должны удовлетворять требованиям стандарта CubeSAT. При выборе конфигурации спутника размером от 1U до 2U в качестве полезной нагрузки используется множество специализированных блоков, для каждого из которых необходим учет массы. За счет использования малогабаритной, невыступающей и сравнительно легкой антенны можно разрешить данный вопрос.

4. Для работы раскрываемых антенн требуется управление их раскрытием после запуска и мониторинг их состояния при эксплуатации. Для выполнения данных действий необходимо предусматривать определенный запас вычислительной мощности бортового компьютера, либо выделять и проектировать под данные нужды отдельный управляющий блок.

5. Для запуска спутника в рамках недорогого, бюджетного проекта требуется брать в учет не только минимальные тактико-технические характеристики, но и требуемые экономические затраты. Цена запуска космического аппарата прямо пропорциональна его массе.

На сегодняшний день на рынке представлено несколько основных типов конструкции антенн, использующихся в сверхмалых спутниках CubeSAT: турникетные [2], спиральные [3], печатные и микрополосковые (в том числе «патч-антенны») [4].

Разработки микрополосковых антенн (МПА) ведутся в России, в частности, АО «Научно-исследовательский институт электромеханики» уже представил собственную связную МПА, позволяющую работать в частотном диапазоне (435...437) МГц [1].

В дальнейшем ставится задача разработки малогабаритных МПА, работающих одновременно в двух различных частотных диапазонах.

## Библиографический список

1. **Генералов, А. Г.** Миниатюрные антенны для малых космических аппаратов CubeSat / А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев. // Сибирский журнал науки и технологий. – 2018. – Т. 19, № 2. – С. 259 – 270.
2. **Omnidirectional** Cantedturn Stile UHF Antenna System [Электронный ресурс] – URL : [https://gomspace.com/shop/subsystems/communication-\(1\)/nanocom-ant430.aspx](https://gomspace.com/shop/subsystems/communication-(1)/nanocom-ant430.aspx) (дата обращения : 20.03.2019).
3. **Helios** Deployable Antenna [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.cubesatshop.com/product/helios-deployable-antenna/> (дата обращения : 20.03.2019).
4. **S-Band** Patch Antenna Type II [Электронный ресурс]. – URL : [https://cdn5.endurosat.com/modules-datasheets/s\\_band\\_antenna\\_type\\_2\\_rev\\_1.pdf](https://cdn5.endurosat.com/modules-datasheets/s_band_antenna_type_2_rev_1.pdf) (дата обращения : 20.03.2019).
5. **CubeSat** Design Specification [Электронный ресурс]. – URL : [https://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/56e9b62337013b6c063a655a/1458157095454/cds\\_rev13\\_final2.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/56e9b62337013b6c063a655a/1458157095454/cds_rev13_final2.pdf) (дата обращения : 20.03.2019).

## КОНФИГУРИРОВАНИЕ СИСТЕМ НА ПЛАТФОРМЕ WINCON В СРЕДЕ ISaGRAF

*О. С. Якушов, Д. М. Пуятин, Е. И. Боровкова*

*Тамбовский государственный технический университет*

Требования, предъявляемые к программируемым логическим контроллерам (ПЛК, PLC), всегда были многообразными и различными. PLC использовались людьми всевозможных видов деятельности (опытными рабочими, технологами, инженерами) и методы программирования во многом определялись именно их требованиями. В то же время они должны были отвечать требованиям современных сложных распределенных систем управления.

Инструментальная среда ISaGRAF относится к классу CASE (Computer Aided Software Engineering). Она обеспечивает полную поддержку всех пяти языков стандарта IEC 61131-3 и позволяет разрабатывать программное обеспечение для интеллектуальных PLC.

В ISaGRAF заложена методология структурного программирования, которая дает возможность пользователю описать автоматизируемый процесс в наиболее легкой и понятной форме. Философия системо-независимого кода ISaGRAF состоит в том, чтобы добиться максимальной гибкости, никоим образом не привязываясь к какой-либо платформе.

Достоинствами среды ISaGRAF в конфигурировании систем на платформе WinCon являются:

1) использование стандартных языков программирования (IEC 61131-3);

2) графический интерфейс системы разработки;

3) легкость в освоении и удобство использования;

4) обеспечение качественных разработок пользовательских приложений;

5) встроенные средства программирования промышленных сетей PROFIBUS и MODBUS;

6) удобные и эффективные отладочные средства;

Таким образом, программирование контроллеров на платформе WinCon осуществляется непосредственно в среде ISaGRAF, поскольку имеется возможность постановки и решения сложнейших задач, требуемых во многих отраслях промышленности.

### **Библиографический список**

1. **Чернышов, Н. Г.** Разработка систем оптимального управления энергоемкими объектами с применением когнитивной графики и технологии беспроводной связи ZigBee / Н. Г. Чернышов, С. И. Дворецкий // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 87 – 98.

2. **Чернышов, Н. Г.** Синтез энергосберегающего управления / Н. Г. Чернышов, С. И. Дворецкий // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – № 1. – С. 7 – 15.

3. **Чернышов, Н. Г.** Построение системы телеметрии энергоемкими объектами с использованием промышленных контроллеров ICP DAS / Н. Г. Чернышов, Р. В. Цыганков, К. В. Чикаев // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 1. – С. 225 – 230.

4. **Дворецкий, С. И.** Проектирование автоматизированных технических систем в условиях неопределенности / С. И. Дворецкий, Д. С. Дворецкий, Н. Г. Чернышов // Системы управления и информационные технологии. – 2016. – № 4(66). – С. 21 – 28.

5. **Чернышов, Н. Г.** Особенности создания систем энергосберегающего управления на множестве состояний функционирования / Н. Г. Чернышов, Д. Ю. Муромцев // Автоматика и вычислительная техника. – 2008. – № 3. – С. 74 – 82.

*Работа выполнена под руководством канд. техн. наук Н. Г. Чернышова*

**Секция 3**  
**ПРОБЛЕМЫ БИОТЕХНИЧЕСКИХ**  
**ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ**

---

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ВЗАИМНЫХ**  
**СМЕЩЕНИЙ КАДРОВ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ**

*Н. И. Агафонова*

*Тамбовский государственный технический университет*

Известен способ визуализации колебаний кожного кровотока в конечностях. Задачей настоящего решения является визуализация колебаний кожного кровотока в конечностях с помощью регистрации динамики распределения температуры кожи (динамической термограммы) тепловизионной камерой, математической обработки температурных данных и преобразования термограмм в карты распределения колебаний кровотока [1, 2].

Основными недостатками выбранного прототипа являются:

- колебания точки наблюдения за счет произвольных движений пальцев руки;
- искажение информации о значениях температуры за счет автоматической нормировки яркости кадров при резком возрастании температуры ДФП;
- отсутствие системы подавления неинформативных колебаний температуры ДФП.

Третий недостаток обусловлен наличием медленно- и быстроизменяющимся колебаниям температуры ДФП даже в стационарных условиях, обусловленным внутренними процессами в организме.

Рассмотрим алгоритм для коррекции взаимных смещений кадров видеоизображения. Взаимное смещение происходит из-за произвольного движения рук во время обследования, что требует компенсации. Яркость в заданной точке соответствует температуре.

На первом из последовательности кадров выделяется точка ДФП для исследования, выбираем область для определения значения смещения. Для коррекции взаимных смещений была выбрана наиболее информативная область, которая включает в себя наибольшее количество отличий от других элементов изображения. Она охватывает два пальца, часть фона, а также характерный угол между пальцами.

Для каждого из двухсот выбранных кадров вычисляем значение среднего квадратичного отклонения (СКО).

СКО – это двойная сумма по  $x$  и  $y$  в пределах области обследования. На этом этапе изображение сдвигается на один пиксель. После каждого сдвига производится вычисление значения СКО и сравнение с полученным ранее, сохраненным в переменной  $a$ .

Если  $СКО < a$ , то значения  $b_x, b_y$  заменяются на новые координаты  $k_x, k_y$ , если  $СКО > a$ , то значения  $b_x, b_y$  остаются прежними. Также если  $СКО < a$ , то значение  $a$  заменяется на новое значение СКО, если  $СКО > a$ , то значение  $a$  остается прежним.

После завершения циклов выводятся новые значения  $b_x, b_y, a$ , где  $a$  – минимальное СКО в пределах  $i$ -го кадра, а  $b_x, b_y$  – координаты области с минимальным СКО.

Вычисление смещения  $i$ -го кадра происходит по формулам:

$$dx = x_0 - b_x,$$

$$dy = y_0 - b_y,$$

где  $x_0, y_0$  – координаты начальной точки области обследования на первом кадре.

Вычисляем среднее значение яркости для первого кадра, для  $i$ -го кадра вычисляем значение яркости по смещению.

Для просмотра результата коррекции строим графики по яркости пальца и фона. Вычисляем нормированную сумму, и первый кадр фона принимаем за эталон.

Разработанный алгоритм позволит отслеживать динамику процесса восстановления кровоснабжения пальцев в ходе лечения и повысить эффективность диагностики функционального состояния сосудов пальцев руки.

### Библиографический список

1. **Усанов, Д. А.** Тепловизионный анализ вариабельности температуры конечностей в состоянии покоя и в процессе проведения окклюзионной пробы [Текст] / Д. А. Усанов, А. В. Скрипаль, А. А. Сагайдачный // Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского.

2. **Пат.** 2405416 Российская Федерация, МПК<sup>51</sup> А61В5/01. Способ визуализации колебаний кожного кровотока в конечностях [Текст] / Усанов Д. А., Скрипаль А. В., Протопопов А. А., Сагайдачный А. А. ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского». – № 2014104428/14 ; заявл. 10.02.2014 ; опубл. 10.04.2015.

## ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ВЫДЕЛЕНИЯ ПРИЗНАКА ГИПЕРТРОФИИ ЛЕВОГО ПРЕДСЕРДИЯ ПО ЭКГ

*Д. И. Андрианов, В. В. Дубровин*

*Тамбовский государственный технический университет*

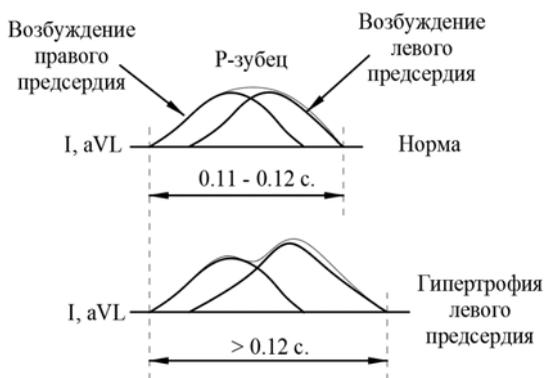
Сама по себе гипертрофия левого предсердия (ЛП) является не заболеванием, а синдромом, который может привести к серьезным болезням сердца. Следовательно, необходимо диагностировать данную патологию на ранних стадиях.

Обогащенная кислородом кровь из легких поступает в ЛП, затем передается в левый желудочек и в момент систолы распространяется по всему телу.

Гипертрофия ЛП зачастую связана с гипоксией: когда клеткам организма не хватает кислорода, сердце старается перекачать больший объем крови. Причинами гипертрофии могут быть ожирение, стеноз митрального клапана, легочные заболевания, стрессы. Незначительная гипертрофия может наблюдаться у спортсменов.

В результате гипертрофии происходит увеличение размеров кардиомиоцитов, это специальные клетки, которые «проводят электрический ток», как следствие, возрастает суммарное сопротивление клеток, что приводит к усилению асинхронизации деполяризации обоих предсердий.

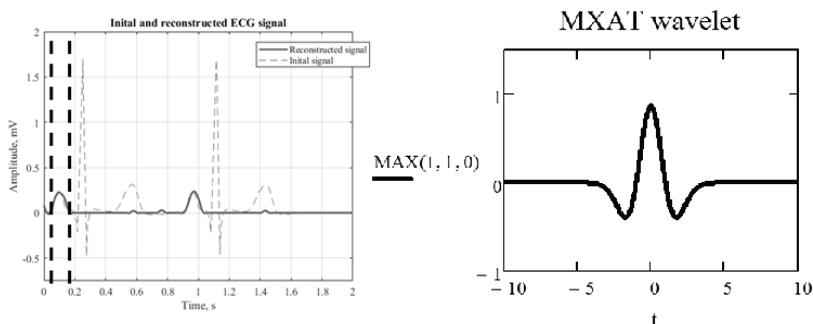
Таким образом, основными признаками гипертрофии ЛП являются увеличение длительности зубца и его расщепление на верхушке с увеличением второй фазы.



**Рис. 1. Формирование Р-зубца в норме и при гипертрофии левого предсердия**

Эти параметры можно легко выявить, используя вейвлет-преобразование. В нашем случае будем использовать МХАТ-вейвлет, который дает возможность точно локализовать участки возрастания и убывания функции, а также ее минимумы и максимумы. Выделяя нужный нам признак и сравнивая его параметры с нормальными значениями, мы можем на ранних стадиях выявлять отклонения в работе сердца.

С развитием методов цифровой обработки сигналов и возрастанием вычислительной способности процессоров, частотно-временной анализ сигнала можно реализовать с помощью программы, зашитой в микроконтроллер, тем самым, даже самый простой домашний кардиограф может предотвратить серьезные заболевания сердца.



**Рис. 1. Выделенный Р-зубец. Вейвлет МХАТ**

### Библиографический список

1. **Чуи, К.** Введение в вейвлеты / К. Чуи. – М. : Мир, 2001. – 45 с.
2. **Переберин, А. В.** О систематизации вейвлет-преобразований – Вычислительные методы и программирование / А. В. Переберин. – М., 2001. – 93 с.
3. **Семенов, В. И.** Применение вейвлет-преобразования для реконструкции акустического сигнала / В. И. Семенов, П. В. Желтов // Компьютерные технологии и моделирование : сб. науч. тр. – Чебоксары, 2008. – № 4. – С. 57 – 60.
4. **Vitec, M. A** wavelet-based ECG delineation in Multilead ECG signals: Evaluation on the CSE Database / M. A Vitec // IFMBE Proceedings. – 2009. – V. 25. – P. 177 – 180.

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АППАРАТОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСОНОТЕРАПИИ

*К. М. Баух, А. Д. Тесленко*

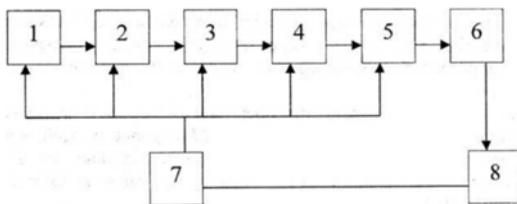
*Тамбовский государственный технический университет*

Электросонотерапия – это физиотерапевтический метод воздействия на центральную нервную систему человека низкочастотным импульсным током малой силы.

Применяется при лечении нервно-психических заболеваний, в педиатрии, в терапии и в других случаях, когда показано лечение электросномом [1].

Аппарат ЭС-10-5 является классическим физиотерапевтическим аппаратом и предназначен для лечебного дозированного воздействия на кору головного мозга импульсным током низкой частоты прямоугольной формы. Колебания от прибора ЭС-10-5 подводятся к электродам специальной маски, поставляемой в комплекте к прибору.

На рисунке 1 приведена схема аппарата ЭС-10-5.



**Рис. 1** Схема аппарата ЭС-10-5:

- 1 – генератор импульсов; 2 – формирователь импульсов;
- 3 – усилитель напряжения; 4 – выходной усилитель;
- 5 – система защиты цепи пациента; 6 – цепь пациента;
- 7 – источник питания; 8 – измерительное устройство.

В качестве аппарата, для которого была разработана конструкторская документация, был выбран аппарат ЭС-10-5. В качестве аналогов стартового аппарата были выбраны следующие типы:

Первым аналогом является аппарат Ionoson-Expert Physiomed. Аппарат представляет собой двухканальный прибор для электростимуляции [1].

*Особенности:*

– прибор способен генерировать импульсы тока различной частоты (от низкой до средней) и формы;

- режимы работы прибора можно устанавливать самостоятельно или с помощью меню терапевтических режимов;
- прибор способен запомнить до 25 различных схем лечения и режимов работы;

Вторым аналогом является аппарат Магنون-Слип, он позволяет использовать все методики, применяемые для классического аппарата ЭС-10-5.

*Особенности:*

- регулировка полярности электрического импульса, его длительности, частоты следования и частоты заполнения;
- позволяет проводить как стандартные процедуры электросна (частоты от 1 до 200 Гц), так и процедуры центральной электроанальгезии (частоты от 100 до 2000 Гц);
- установка дополнительной постоянной составляющей тока.

В таблице приведен сравнительный анализ характеристик аппаратов.

	Аппарат ЭС-10-5	Аппарат Ionoson-Expert Physiomed	Аппарат Магنون-Слип
Частота	50 Гц	50...60 Гц	50Гц
Мощность	25Вт	86 Вт	25 Вт
Вес	3,5 кг	5,5 кг	Не более 2 кг
Размеры	108×300×315 мм	345×133×348 мм	157×200×120 мм
Сеть	220 В	230 В ± 10% или 115 В ± 10%	220 В
Количество каналов	1	2	2

Метод малых импульсных токов имеет перспективы развития вследствие больших проблем человечества с неврозами и заболеваниями, вызванными расстройствами нервной системы.

Перспективами, с точки зрения развития аппаратов, является лечение все большего числа заболеваний методом малых токов, исключая вредоносное влияние медикаментозного воздействия на организм человека.

Ближайшая перспектива – это разработка аппарата для домашней терапии, который за счет правильно выбранной программы и удобного интерфейса заменит пациентам длительные курсы лечения в больнице.

### Библиографический список

1. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.
2. **Фролова, М. С.** Разработка информационной модели медицинского прибора на примере биохимического анализатора / М. С. Фролова, Т. А. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 124 – 132.

### **ПОВЕРКА ДЕТЕКТОРОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МУЛЬТИДЕТЕКТОРНОГО КОМПЬЮТЕРНОГО ТОМОГРАФА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАНТОМОВ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ**

*Н. В. Венцера, А. Ю. Потлов, Т. М. Тымчук*

*Тамбовский государственный технический университет*

В начале 1990-х годов большое распространение получила спиральная компьютерная томография (КТ), в которой использовалось относительно небольшое количество детекторов. Дальнейшие развитие метода КТ происходило, в основном, за счет наращивания количества детекторов и объединения их в массивы, в связи с чем возник термин «мультидетекторная КТ». Новый метод отличался более высоким качеством получаемых изображений, более высокой скоростью сканирования, высоким контрастом, а также меньшим количеством артефактов.

Детекторы рентгеновского излучения современных КТ-систем должны обладать чувствительностью к излучению и высокой эффективностью его обнаружения, которая соответствует такой же высокой скорости вращения рамы томографа. Такие детекторы обычно содержат кристаллический сцинтиллятор, который преобразует рентгеновское излучение в световой поток, и оптоэлектронный элемент (фотоэлектронный умножитель или полупроводниковый датчик), преобразующий световой поток в электрический сигнал.

Теоретически возможной является нестабильность в плотности рентгеновского излучения  $HU$ , при диагностических исследованиях с использованием КТ-систем [1]. В связи с вышесказанным, целесообразно проводить периодические поверки детекторов КТ-систем, а в идеале их автоматические тесты. Авторами предлагается использовать для поверки детекторов КТ-систем [2, 3] трехсекционный фантом щитовидной железы. Шея и трахея изготавливаются из полиметилме-

такрилата (ПММА), а сама щитовидная железа из полиэтилена высокой плотности.

Для нахождения рентгеновской плотности  $HU$ , по шкале Хаунсфилда можно использовать линейный коэффициент ослабления излучения фантомного материала, который зависит от энергии излучения и эффективности детекторов [4, 5]. Используя заранее известный линейный коэффициент затухания дистиллированной воды,  $\mu_w$ , и рассчитанное линейное затухание коэффициента фантомного материала,  $\mu_m$ , количество единиц Хаунсфилда можно вычислить по следующей формуле:

$$HU = \left( \frac{\mu_m - \mu_w}{\mu_w} \right) \cdot 1000.$$

Таким образом, поверка детекторов КТ-системы с использованием предложенных фантомов щитовидной железы, проста и незатратна, а, следовательно, коммерчески доступна.

### Библиографический список

1. **Pitfalls** in Urinary Stone Identification Using CT Attenuation Values: are we Getting the Same Information on Different Scanner Models? / R. Grosjean et al. // *European Journal of Radiology*. – 2013. – № 82(8). – P. 1201 – 1206.
2. **Potlov, A. Yu.** Movement of the Photon Density Normalized Maximum in Homogeneous and Inhomogeneous Media with Tissue-Like Optical Properties / A. Yu. Potlov, S. V. Frolov, S. G. Proskurin // *Laser Physics*. – 2015. – V. 25, № 3. – P. 035601.
3. **Validation** of a Paediatric Thyroid Phantom Using Different Multidetector Computed Tomography Models. / M. Alsabbagh et.al. // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2016. – 694. – № 012047.
4. **Potlov, A. Yu.** Specific Features of Movement of the Photon Density Normalized Maximum in Highly Scattering Media with Tissue-like Optical Properties / A. Yu. Potlov, S. V., Frolov, S. G. Proskurin // *Progress in Biomedical Optics and Imaging – Proceedings of SPIE*. – 2017. – V. 10336, art. No. 103360Y.
5. **Boone, J. M.** Multidetector CT: Opportunities, Challenges, and Concerns Associated with Scanners with 64 or More Detector Rows / J. M. Boone // *Radiology*. – 2006. – V. 241(2). – P. 334 – 337.

## СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ВЕСТИБУЛЯРНЫХ НАРУШЕНИЙ

*А. В. Горбунов, А. В. Непрокин*

*Тамбовский государственный технический университет*

Современным методом диагностики вестибулярных нарушений является видеонистагмография (ВНГ), также известная как видеоокулография (ВОГ). Метод основан на видеорегистрации движений глазного яблока с последующим компьютерным анализом и выдачей в графическом и числовом выражении полученных результатов. Системы ВНГ состоят из непрозрачных очков или пластиковой маски со встроенными камерами с инфракрасной подсветкой, которые надеваются на голову пациента. Видеокамеры регистрируют движения глаз при проведении тестов и передают данные для последующего анализа. Тесты включают разные виды слежения за мишенью на проекционном экране, определенные повороты головы и туловища. Камеры, работающие в инфракрасном диапазоне, позволяют также исследовать движения открытых глаз в темноте, при устранении фиксации взора. С помощью программного обеспечения осуществляется детальный анализ параметров движения глаз.

Видеозаписи глазодвигательной активности могут быть использованы для дистанционной диагностики пациента в соответствии с концепцией телемедицины. Возможна регистрация не только нистагма, но и положения больного в момент исследования и комментариев к его ощущениям.

Преимущества видеонистагмографии очевидны: регистрация необходимых количественных параметров (координаты центров зрачков, их скорости), точная фиксация горизонтальных, вертикальных и вращательных движений глаз, компьютерная обработка данных в режиме реального времени, нет необходимости в экранированном помещении (так как отсутствуют электроды и артефакты), большая экономия времени для исследования [1].

Однако, следует отметить недостатки систем видеонистагмографии ввиду их чрезвычайной дороговизны, необходимости в дополнительном энергообеспечении и отсутствия возможности работать автономно.

В связи с этим актуален вопрос технического решения систем диагностики вестибулярного аппарата, необходимость в современном и недорогом оборудовании.

Предлагаемым решением проблемы является разработанное нами устройство для видеонистагмографии на основе доступных аппаратных средств [2].

Устройство состоит из корпуса, представляющего собой очки виртуальной реальности для смартфонов, в котором размещены: две видеокамеры с автофокусом, инфракрасной подсветкой, источником питания и возможностью записи данных на карту памяти, асферические линзы, регуляторы межзрачкового расстояния, выдвигающееся крепление для смартфона, передняя непрозрачная крышка, обтюратор, обеспечивающий плотное прилегание устройства к голове исследуемого, регулируемые эластичные ремни для фиксации устройства на голове пациента.

Таким образом, в устройстве реализована возможность автономной работы при выполнении вестибулометрических тестов, позиционных маневров, при регистрации нистагмной реакции с одного и с обоих глаз. Повышение надежности и удобства в эксплуатации достигается за счет применения готовой аппаратной платформы.

### **Библиографический список**

1. **Лихачев, С. А.** Современные технологии диагностики вестибулярной дисфункции в неврологической практике / С. А. Лихачев, О. А. Аленикова // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* – 2011. – № 2. – С. 34 – 39.
2. **Пат. 183466** на полезную модель, РФ МПК А61В 3/113 (2006.01) Устройство для видеонистамографии / А. В. Непрокин ; заявл. 07.03.2018 ; опубл. 24.09.2018, Бюл. № 27.

## **ВИДЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ВО ВРЕМЯ СНА**

*Е. П. Долгов*

*Тамбовский государственный технический университет*

Актуальность изучения двигательной активности человека во время сна [1] обусловлена высокой частотой распространенности и медико-социальной значимостью пароксизмальных состояний не только для больного и его родственников, но и для общества в целом.

Для дифференциальной диагностики пароксизмальных состояний существует определенное общепризнанное разнообразие методов [4]. Среди них позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) даже позволяет выявлять эпилептогенные очаги в отсутствие электроэнцефалографических и структурных изменений головного мозга (ее используют в дифференциальной диагностике эпилептических и неэпилептических

приступов с утратой сознания). Чувствительность и специфичность метода значительно возрастают при комбинированном применении ПЭТ с электроэнцефалографией (ЭЭГ) [1 – 7].

Но все эти методы не слишком эффективны, так как целесообразен длительный мониторинг состояния пациента. Поэтому общепризнанным «золотым стандартом» нейрофизиологической диагностики пароксизмальных состояний и эпилепсии является видео ЭЭГ-мониторинг (ВЭЭГ) [3]. К неоспоримым достоинствам метода относится возможность фиксации биоэлектрических потенциалов мозга в момент двигательной активности пациента и оценки состояния пациента в момент появления эпилептических разрядов, что позволяет проводить детальный кинематический анализ иктальной ЭЭГ. Оценка клинической значимости эпилептиформных разрядов на ЭЭГ проводится путем видеоанализа двигательной активности пациента и результатов тестирования состояния пациента при вербальном и тактильном контакте. ЭЭГ и видеозапись демонстрируются параллельно в режиме прямого времени и записываются на цифровой носитель для последующей обработки [6, 7].

Однако данный метод имеет и свои недостатки: во-первых, во время приступа больной может случайно снять шлем с электродами; во-вторых, высокая стоимость оборудования является значимым ограничением для этого метода.

Таким образом, с помощью устройств, разработанных на базе метода мониторинга пароксизмальных состояний и приступов эпилепсии, более вероятна дифференциальная диагностика пароксизмальных состояний и эпилептических припадков у пациентов как в медицинских учреждениях, так и в домашних условиях.

### Библиографический список

1. **Гребенюк, О. В.** Динамика показателей ЭЭГ в состояниях сна и бодрствования у взрослых пациентов с «неконтролируемой» локально-обусловленной эпилепсией / О. В. Гребенюк, В. М. Алифирова, М. В. Светлик // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2012. – Вып. 1, Т. 11. – С. 37 – 41.

2. **Фролова, Т. А.** Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова ; под общ. ред. В. А. Немтинова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 т. ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4, Т. 3. – С. 123 – 128.

3. **Горбунов, А. В.** Дифференциальная диагностика двигательной активности человека во время сна / А. В. Горбунов, А. Ю. Потлов, А. А. Трубиенко // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 18, № 13. – С. 1292 – 1296.

4. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

5. **Фролова, М. С.** Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.

6. **Фролов, С. В.** Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.

7. **Фролова, М. С.** Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Специальный выпуск 52. – С. 106 – 111.

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МОНИТОРИНГЕ ЭПИЛЕПСИИ**

***Е. П. Долгов***

*Тамбовский государственный технический университет*

Эпилепсия представляет собой хроническое неинфекционное расстройство деятельности мозга, которому подвержены люди всех возрастов. По данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) за 2017 год во всем мире эпилепсией страдают более 50 млн. человек, это заболевание является одним из самых распространенных после инсульта и инфаркта. Эпилепсия опасна тем, что без оказания необходимого лечения болезнь прогрессирует и часто приводит пациента к инвалидности.

Мониторинг эпилепсии важен не только при первичной диагностике, но и при наблюдении динамики лечения, потому что в этом случае возможен инструментальный контроль тактики лечения. Это позволит минимизировать побочные действия противоэпилептических

препаратов по причине их длительного применения, а пациент может быть избавлен от личного посещения медицинского учреждения, так как данные мониторинга могут передаваться по существующим общедоступным средствам телекоммуникации [6], что существенно повлияет на качество жизни пациентов из небольших населенных пунктов, в первую очередь сельских, так как в настоящее время по статистике ВОЗ риск преждевременной смерти среди людей страдающих эпилепсией в три раза выше у сельского населения по сравнению с городским [1 – 7].

Система мониторинга эпилепсии представляет собой информационно-вычислительную систему анализа пароксизмальной акселерометрии, состоящую из устройства измерения и регистрации на карту памяти информации о двигательной активности пациента во время сна и программного обеспечения для анализа полученных данных на ПК. Разработанная система предназначена для первичной диагностики эпилептических расстройств во время сна пациента [3], не требует специальной подготовки пациента к сеансу и каких-либо навыков для применения, так как от пациента требуется только закрепить устройство на запястье браслетом по типу наручных часов, включить устройство и выключить после сна, что позволяет проводить сеанс в домашних условиях требуемое количество раз при схожих условиях.

Таким образом, для мониторинга эпилепсии необходимо средство для измерения и регистрации двигательной активности во время сна, которое должно применяться самим пациентом без помощи медицинского персонала в домашних условиях, а зарегистрированные данные должны передаваться медицинскому персоналу по любым широко доступным средствам телекоммуникаций и интерпретироваться прикладным программным обеспечением, находящимся в распоряжении этого персонала. Данная концепция соответствует направлению развития мобильной телемедицины.

### **Библиографический список**

1. **Строев, В. М.** Разработка метода и устройства для мониторинга эпилепсии / В. М. Строев, А. А. Трубиенко // Научно-практический электронный журнал Аллея Науки». – 2018. – № 6(22).
2. **Фролова, Т. А.** Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова ; под общ. ред. В. А. Немтинова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 т. ; ФГБОУ ВО «ГГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ГГТУ», 2017. – Вып. 4., Т.3. – С. 123 – 128.

3. **Горбунов, А. В.** Дифференциальная диагностика двигательной активности человека во время сна / А. В. Горбунов, А. Ю. Потлов, А. А. Трубиенко // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 18, № 13. – С. 1292 – 1296.

4. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

5. **Фролова, М. С.** Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.

6. **Фролов, С. В.** Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.

7. **Фролова, М. С.** Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Специальный выпуск 52. – С. 106 – 111.

## **ПРИМЕНЕНИЕ АКСЕЛЕРОМЕТРИИ И ПУЛЬСОКСИМЕТРИИ В ДИАГНОСТИКЕ ПАРОКСИЗМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ**

*Е. П. Долгов*

*Тамбовский государственный технический университет*

По данным всемирной организации здравоохранения, около 50 миллионов человек в мире страдает пароксизмальными расстройствами. Эти заболевания поддаются медикаментозному лечению, но для анализа эффективности лечения и дозировки медикаментов необходима информация о частоте возникновения эпилептических приступов [1].

В основе предложенного метода лежит проведение мониторинга и регистрации физических характеристик организма: двигательной активности человека, пульса и насыщенности крови кислородом, которые показывают основные симптомы приступов эпилепсии. На основе

этого метода разработана концепция прибора, который будет фиксировать физические характеристики организма на основе двух основных компонентов: G-сенсора (акселерометра) и пульсоксиметра.

G-сенсор (акселерометр) фиксирует смещение и положение предмета в пространстве. Внутри сенсора находится небольшой шарик, расположенный в сфере из огромного количества пьезоэлектрических элементов. Смещение вызывает давление на определенные пьезоэлементы, возникает электрический ток, и по его силе и месту возникновения можно судить о силе и направлении движения [2].

Работа пульсоксиметра основана на поглощении цвета гемоглобина. Гемоглобин, который связан с кислородом (оксигемоглобин), имеет ярко-красный цвет. Гемоглобин, не связанный с кислородом (венозный гемоглобин), имеет темно-красный цвет. Работа пульсоксиметра базируется на способности связанного с кислородом гемоглобина больше поглощать волны инфракрасного диапазона, максимум поглощения которого приходится на 940 нм. А для не связанного с кислородом гемоглобина, больше поглощать волны красного диапазона, максимум поглощения которого приходится на 660 нм.

Принцип работы устройства будет зависеть от вида пароксизмальных состояний [4]. Например, во время большого припадка у человека теряется сознание, следовательно, пульсоксиметр фиксирует слабые значения пульса. Если в этот же момент начинаются тонические судороги, то срабатывает датчик положения в пространстве G-сенсор. Он фиксирует колебания верхнего диапазона, также срабатывает пульсоксиметр, который фиксирует высокое содержание кислорода. При клонических судорогах происходит попеременное сокращение и расслабление мышц, уменьшается тонус мышц, срабатывает датчик положения в пространстве G-сенсор и пульсоксиметр. Датчик регистрирует частоту колебаний верхнего диапазона, но по времени происходящих дольше, чем при тонических судорогах. Пульсоксиметр регистрирует низкое содержание кислорода. Когда происходит малый припадок, имеет место резкий неожиданный всплеск активности – пульсоксиметр фиксирует сильное учащение пульса, дальше происходит полное ослабление организма и слабые судороги, и G-сенсор регистрирует колебания нижнего диапазона.

Таким образом, применение акселерометрии и пульсоксиметрии позволяет разработать простой в использовании прибор, позволяющий проводить измерения быстро, с высокой точностью и без каких-либо неудобств для пациента.

## Библиографический список

1. **Фролова, Т. А.** Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова ; под общ. ред. В. А. Немтинова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 т. ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4, Т. 3. – С. 123 – 128.
2. **Горбунов, А. В.** Дифференциальная диагностика двигательной активности человека во время сна / А. В. Горбунов, А. Ю. Потлов, А. А. Трубиенко // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 18, № 13. – С. 1292 – 1296.
3. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.
4. **Фролова, М. С.** Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.
5. **Фролова, М. С.** Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Специальный выпуск 52. – С. 106 – 111.

## СПОСОБ КОРРЕКЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И КРОВОТОКА

*Е. А. Егорова, А. С. Лисицын*

*Тамбовский государственный технический университет*

Аналогия между поведением тепловых и электрических систем обнаружена довольно давно и используется в практике для моделирования сложных тепловых процессов с помощью электрических схем (электротепловое моделирование).

Для выявления аналогии между тепловыми свойствами кожи и фильтром низких частот рассмотрим выполнение упрощения модели Шитцера для восстановления температурной кривой по данным о кровотоке при проведении холодной пробы.

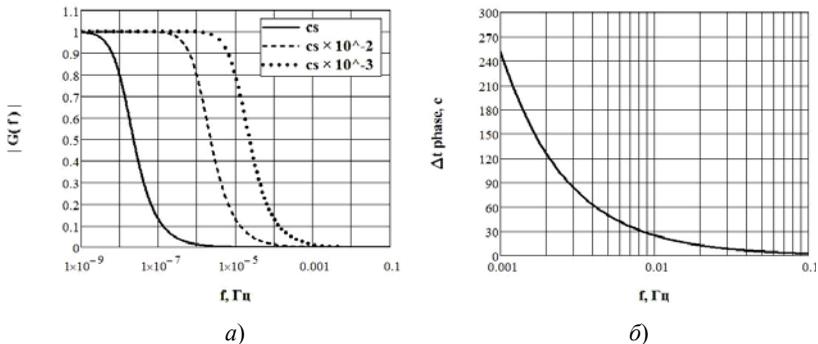
Модель А. Shitzer учитывает поступление тепла к коже за счет перфузии горячей крови и теплоотдачу в окружающую среду за счет радиации и конвекции.

В ходе исследования проводились измерения колебаний температуры кожи пальцев и фотоплетизмограммы у здоровых испытуемых, находящихся в состоянии покоя в течение 20 минут при температуре  $23 \pm 0,2^\circ\text{C}$ . Сигнал фотоплетизмограммы, характеризующий колебания кровотока, измерялся с помощью отражательного датчика. Температура определялась бесконтактным методом с помощью тепловизора.

На рисунке 1, а изображен модуль передаточной функции для 3 значений теплоемкости  $C_5$ , на рис. 1, б приведена частотная зависимость времени запаздывания выходного сигнала относительно входного.

Примеры исходных экспериментальных сигналов иллюстрируются рис. 2, а. Измеренные значения колебаний температуры кожи обрабатывались с помощью подстановки данных в выражение:

$$BF^*(t) \approx C_5 \frac{dT(t)}{dt}, \quad C_5 = \frac{C_1}{C_4}, \quad BF^*(t) = BF(t) - C_3. \quad (1)$$



**Рис. 1. Амплитудно-частотная (а) и фазо-частотная (б) характеристики фильтра низких частот**

Для оценки качества восстановления сигнала вычислялся коэффициент корреляции колебаний кровотока, определенных по температурным данным и по сигналу фотоплетизмограммы.

Данные табл. 1 демонстрируют увеличение корреляции колебаний кровотока, восстановленных с использованием температурных данных по формуле (1), и колебаний кровотока, определенных методом фотоплетизмографии.

## 1. Средние значения коэффициентов корреляции колебаний температуры и кровотока до и после обработки

Коэффициент корреляции	
Исходные сигналы	Сигналы после обработки
0,16 (0,11, 0,18)	0,67 (0,64, 0,74)

Таким образом, использование аналогии параметров кожи и электрических параметров фильтра позволяет восстановить форму колебаний кожного кровотока на основе результатов температурных измерений [6].

Кривые на рис. 1, *a* показывают, что при повышении частоты колебаний кровотока постоянной амплитуды колебания температуры будут иметь все меньшую амплитуду. Запаздывание температурного сигнала при повышении частоты колебаний кровотока будет также уменьшаться (рис. 1, *b*).

Анализ рассматриваемого в данной работе упрощенного уравнения Шитцера демонстрирует уменьшение амплитуды температурного сигнала и наличие запаздывания при увеличении частоты.

Упрощение и анализ модели температурной динамики Шитцера позволили выразить связь между колебаниями кожного кровотока и температурой кожи через временную производную. Это свидетельствует о том, что амплитуда колебаний кожного кровотока преимущественно определяет скорость изменения температуры на поверхности кожи. При этом присутствует зависимость связи между колебаниями температуры и кровотока от частоты рассматриваемого процесса.

### Библиографический список

1. **Weedy, B. M.** The Analogy Between Thermal and Electrical Quantities / B. M. Weedy // Electric Power Systems Research. – 1988. – V. 15, № 3. – P. 197 – 201.
2. **Temperature** Field Simulation of Thick-film Microcircuits Using Electro-thermal Analogy / G. Blad, W. Kalita, D. Klepacki, J. Potencki, M. Weglarski // Electronics System integration Technology Conference. – Dresden, 2006. – 1<sup>st</sup>. IEEE. – V. 2. – P. 1261 – 1265.
3. **Шлык, Ю. К.** Электромоделирование нестационарного процесса в трубопроводе с негерметичностью / Ю. К. Шлык, А. И. Плаксин // Вестник кибернетики. – 2012. – № 11. – С. 32 – 35.

4. **Киншт, Д. Н.** Принципы моделирования гемодинамики и теплопереноса при общей управляемой гипертермии / Д. Н. Киншт, Н. В. Киншт // Информатика и системы управления. – 2004. – № 1. – С. 7.

5. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

6. **Фролова, М. С.** Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.

7. **Гундарцова, Е. С.** Применение GMR-датчиков в медицине / Е. С. Гундарцова, Т. А. Фролова ; под общ. ред. В. А. Немтинова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. ; ФГБОУ ВПО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – Вып. 2. – Т. II.

8. **Фролов, С. В.** Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.

## **РАЗРАБОТКА ЕМКОСТНОГО ЭЛЕКТРОДА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

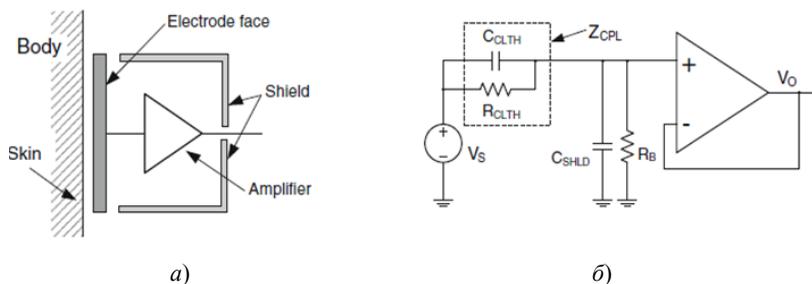
***Д. В. Журавлев, И. С. Анисимов***

*Воронежский государственный технический университет*

Записи биопотенциалов в виде ЭКГ, электроэнцефалограмм (ЭЭГ), электроокулограмм (ЭОГ) и электромиограмм (ЭМГ) являются незаменимыми и жизненно важными инструментами как для медицинской отрасли, так и для исследования. Эти хорошо зарекомендовавшие себя модальности сигналов обеспечивают богатую физиологическую информацию, которая благодаря современной технологии биоинструментации может быть использована неинвазивно и недорого для новых глобальных разработок в области здравоохранения: клинического физиологического мониторинга и лечения [1]. В отличие от обычных и

типичных электродов, разрабатываемые емкостные электроды для измерения биоэлектрических сигналов пригодны в условиях очень высокого импеданса (высокое сопротивление, малая емкость) между поверхностью тела и электродом. На рисунке 1, *a* показана общая схема емкостного электрода, включающая поверхность электрода, предусилитель и экран. Лицевая часть электрода является проводящей пластиной и воспринимает изменения электрического потенциала на поверхности тела через емкостное сцепление между кожей и поверхностью электрода. Снижение импеданса между кожей и поверхностью электрода нужно для получения хорошего качества сигнала. Поэтому поверхность электрода емкостного электрода обычно должна быть такой же большой, как разрешено приложениями [2]. В то же время измеритель биопотенциалов должен быть малогабаритным и компактным. Предусилитель передает сигнал от емкостной связи с высоким импедансом на следующую ступень с усилителем и фильтром. Поэтому предусилитель действует как импедансный трансформатор и имеет очень высокий входной импеданс. Из-за высокого импеданса между корпусом и электродом, емкостный электрод уязвим для внешнего шума. Чтобы уменьшить этот внешний шум, весь электрод, за исключением поверхности, обращенной к телу, окружен электрическим экраном. В состав предусилителя, в дополнение к центральному активному устройству, например операционному усилителю или полевому транзистору, дополнительным дискретным элементом является резистор ( $R_B$  на рис. 1, *б*), который становится каналом тока смещения для стабилизации усилителя.

$C_{SHLD}$  емкость, показанная на рис. 1, *б*, не является фактическим дискретным элементом, а представляет собой паразитную емкость, образованную между поверхностью электрода и экраном.



**Рис. 1.** Общая схема емкостного электрода (*a*), схема емкостного электрода с дополнительными элементами (*б*)

Между электродом и кожей существует емкость ( $C_{CLTH}$  на рис. 1, б), поэтому этот тип электрода называется емкостным электродом. Однако необходимо учитывать компонент сопротивления  $R_{CLTH}$  вносимый одеждой. Поэтому импеданс связи  $Z_{CPL}$  между кожей и электродом представлен как параллельное соединение сопротивления и емкости. Коэффициент усиления емкостного электрода, показанного на рис. 1, б, представлен как:

$$V_0 = \frac{R_B + j\omega C_{CLTH} R_B R_{CLTH}}{R_B + R_{CLTH} + j\omega R_B R_{CLTH} (C_{CLTH} + C_{SHLD})} V_S. \quad (1)$$

Уравнение (1) показывает, что коэффициент усиления определяется отношением  $C_{CLTH}$  и  $C_{SHLD}$  в более высокочастотном диапазоне и отношением  $R_{CLTH}$  и  $R_B$  в нижнем частотном диапазоне.

### Библиографический список

1. **Медицинские** системы для носимых P-health приборов, стандарта IEEE / Х.-Ф. Тэнг, Я.-Т. Чжан, С. Пун, П. Бонато // Откр. «Биомед». Англ. – 2008. – Т. 1, № 1. – С. 62 – 74.
2. **Сравнение** производительности конденсаторно-связанных электродов ЭЭГ сухого пенопласта в зависимости от площади контакта / Ю. Х. Ким и др. // 46 конф. корейского общества медицинской и биологической инженерии. – Корея, 2012. – С. 517–518.

## ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОКОЛОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ИССЛЕДУЕМОГО ВЕЩЕСТВА НА ПРИМЕРЕ АППАРАТА ФОТОЭЛЕКТРОКОЛОРИМЕТРА «КФК-2МП»

*Т. К. Коковкина*

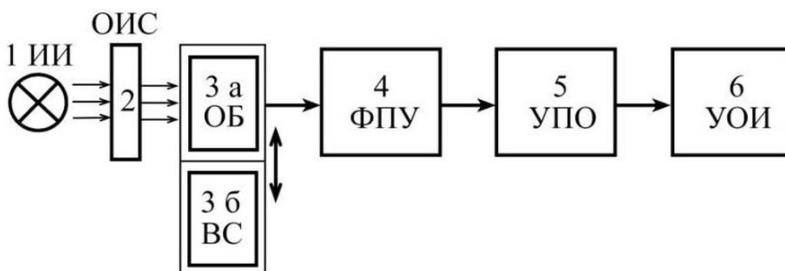
*Тамбовский государственный технический университет*

Сущность фотоколориметрического метода анализа основана на измерении интенсивности света в видимой области спектра (т.е. в интервале длин волн от ~315 до ~980 нм), прошедшего через окрашенный раствор. Приборами для фотоколориметрии служат фотоэлектроколориметры (ФЭК), характеризующиеся простотой оптической и электрической схем [1, 2].

Колориметр применяется на предприятиях водоснабжения, в металлургической, химической, пищевой промышленности, а так же в сельском хозяйстве, медицине и других областях народного хозяйства.

Принцип действия колориметра: пучок света от лампы небольшой мощности проходит через набор линз и светофильтров, на выходе получается луч определенных параметров для дальнейшего измерения, проходящий через сосуд с измеряемым веществом и попадающий на улавливающий фотоэлемент, создающий определенный фототок на основе которого и рассчитывается концентрация исследуемого вещества.

На рисунке 1 приведена принципиальная схема фотоэлектроколориметра КФК-2МП.



**Рис. 1. Принципиальная схема аппарата КФК-2МП:**

1 – источник излучения (ИИ); 2 – оптическая избирательная система (ОИС), светофильтр; 3а – исследуемое вещество (3а ОБ), 3б – вещество сравнения (3б ВС); 4 – фотоприемное устройство (ФПУ); 5 – устройство преобразования информации (УПО) и усилитель электрического сигнала; 6 – устройство регистрации и отображения информации (УОИ)

Проанализирован рынок фотоколориметров. В таблице представлен сравнительный анализ микропроцессорного фотоколориметра ЭКОТЕСТ-2020-РС, цифрового фотоэлектроколориметра AREL AP-101 и фотоэлектроколориметра КФК-2МП.

Возможности современных фотоколориметров заключаются в том, что они оснащены современной микропроцессорной системой, которая позволила проведение измерения активности веществ в течение промежутка времени. Обработанные результаты измерений выводятся на электронное табло и сохраняются в памяти прибора. Измерения проводятся не менее чем по десяти точкам спектра, что придает результату высокую точность и низкую погрешность.

## 1. Сравнительная таблица технических характеристик

	КФК-2МП (Россия)	ЭКОТЕСТ-2020-РС (Россия)	AREL AP-101 (Япония)
Спектральный диапазон, нм	315...980	400...850	400...800
Габаритные размеры, мм	435×355×320	230×120×50	220×190×96
Питание прибора, В	от сети, 220 ± 20	От сети или батареи	от сети, 220
Потребляемая мощность, Вт	130	–	10
Масса прибора, кг	12,5	0,6	2
Цена, р.	28 000	54 000	160 000

### Библиографический список

1. **Фролова, Т. А.** Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова ; под общ. ред. В. А. Немтинова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 т. ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4, Т. 3. – С. 123 – 128.

2. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

## **ТЕНЗОГРАММА КРОВИ В ЛЕВОМ ЖЕЛУДОЧКЕ ВО ВРЕМЯ СЕРДЕЧНОГО ЦИКЛА**

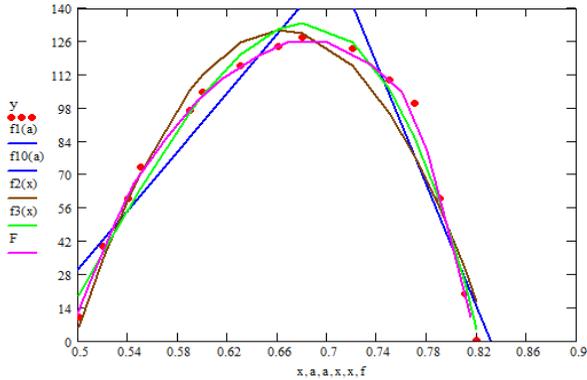
***К. Н. Коновалова, Д. Д. Семенов***

*Тамбовский государственный технический университет*

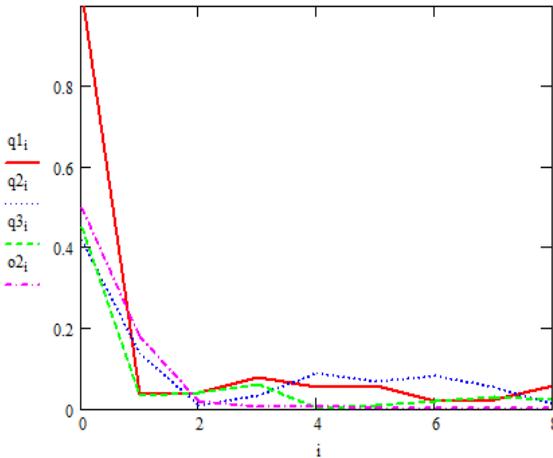
Проанализированы экспериментальные данные зависимости давления крови в левом желудочке сердца во время сердечного цикла [1 – 3] и выявлен образ точечной кривой для аппроксимации данных методом наименьших квадратов в градуировочную характеристику тензограммы.

Качественный анализ (рис. 1, *a*) показывает повышение уровня аппроксимации с увеличением степени полинома от линейной (синие линии) к кубической (зеленая кривая) модели, наиболее адекватной экспериментальной функции.

Для количественной оценки вычислим погрешность аппроксимации эксперимента линейной (синяя), квадратичной (коричневая), кубической (зеленая) функций и критерия нормированной точности (лиловая) (рис. 1, *б*).



*a*)



*б*)

**Рис. 1. Качественный анализ аппроксимации (*a*) и количественный анализ аппроксимации (*б*)**

Оценку проводят по относительной погрешности (на примере линейной аппроксимации):

$$\varepsilon = \frac{|x - F_1(x)|}{y}. \quad (1)$$

На рисунке видно, что погрешность минимальна для аппроксимации при помощи критерия нормированной точности (лиловая характеристика),

$$Q = \frac{q}{q_0} = \frac{\prod_{i=1}^n x_i}{\left(\frac{1}{n} \prod_{i=1}^n x_i\right)^n}, \quad (2)$$

т.е. данный способ исключает инструментальную погрешность, носящую случайный или систематический характер, что в итоге повышает метрологическую эффективность определения параметров скорости оседания эритроцитов.

Таким образом, проведен статистический анализ и аппроксимация точечной экспериментальной характеристики давления крови в левом желудочке сердца во время систолы методом наименьших квадратов, и построена градуировочная характеристика (ГХ).

*Вывод.* Проведена аппроксимация зависимости давления крови в левом желудочке сердца во время систолы от времени в фазу сокращения степенными полиномами (линейным, параболой и гиперболой) и при помощи критерия нормированной точности. В ходе построения выяснено, что наименьшая погрешность достигается при аппроксимации экспериментальных значений при помощи критерия нормированной точности.

### Библиографический список

1. **Фролов, С. В.** Выбор модели потоконаправляющего стента на основе использования когерентной оптической томографии и математического моделирования гемодинамики / С. В. Фролов, А. Ю. Потлов, С. В. Синдеев // Медицинская техника. – 2017. – № 6. – С. 4 – 7.
2. **Фролова, Т. А.** Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова ; под общ. ред. В. А. Немтинова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 т. ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4, Т. 3. – С. 123 – 128.

3. Синдеев, С. В. Система поддержки принятия решений врача при оценке предоперационного состояния больных с острыми нарушениями мозгового кровообращения / С. В. Синдеев, С. В. Фролов, А. Ю. Потлов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 581 – 588.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОХИРУРГИЧЕСКИХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ АППАРАТОВ**

*Н. К. Корабельников, И. А. Попов*

*Тамбовский государственный технический университет*

Оперативное вмешательство как инвазионный способ лечения заболеваний включает в себя, как правило, последовательное выполнение трех следующих действий: рассечение тканей, остановку кровотечения, соединение тканей.

Все эти задачи способна решать появившаяся еще в начале XX века высокочастотная электрохирургия (ВЧЭХ).

Аппарат электрохирургический высокочастотный ЭХВЧ-150-1Э предназначен для проведения хирургических операций через эндоскоп в проктологии и гастроэнтерологии токами высокой частоты в условиях эндоскопических отделений специализированных и многопрофильных больниц и клиник [1 – 3].

Структурная схема аппарата представлена на рис. 1.

ЭХВЧ 150-1Э получил распространение во многих областях медицины. Его применяют при выполнении хирургических вмешательств в сердечнососудистой и абдоминальной хирургии, гинекологии, офтальмологии, урологии, проктологии и торакальной хирургии.

Исходя из типового ряда электрохирургических аппаратов, применяемых в целом для оперативных вмешательств, необходимым и достаточным условием соответствия их медицинской технологии является наличие следующих режимов: резание, коагуляция, резание с одновременной коагуляцией («смешанный режим»).

ЭХВЧ – одно из наиболее эффективных и изученных средств реанимации, но несмотря на высокую эффективность ЭХВЧ как самостоятельная мера малоперспективна. Сложный комплекс хирургических приборов требует изучения функциональных возможностей, которыми в настоящее время обладают дорогостоящие, в основном зарубежные модели ЭХВЧ.



## 1. Сравнительный анализ характеристик аппаратов

	ELECTROТОМ 640	ERBOTOМIСС 50	VIO 300 D	ЭХВЧ-140-02- «ФОТЕК»	Электронож ЭН-57М
Частота	375 Гц	350 Гц	350 кГц	Нет данных	1760 кГц
Мощность	580 Вт	Нет данных	500 Вт	400 Вт	1800 Вт
Вес	12,6 кг	2,8 кг	9,5 кг	9 кг	70 кг
Размеры	405×395× ×145 мм	275×105× ×255 мм	410×165× ×380 мм	380×135× ×325 мм	900×520× ×540 мм
Бесконтактная коагуляция	Да	Нет	Да	Да	Нет
Цена, р.	22 000	81500	1 400 000	780 000	39 000

### Библиографический список

1. **Фролова, Т. А.** Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова ; под общ. ред. В. А. Немтинова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 т. ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4, Т. 3. – С. 123 – 128.

2. **Фролова, Т. А.** Применение электрохирургического аппарата в медицинской практике / Т. А. Фролова, А. В. Какорин, О. В. Проткина // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4, Т. 3. – С. 311 – 314.

3. **Фролов, С. В.** Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕТОДА ОБРАБОТКИ СОНОГРАММЫ ТУЧНЫХ ПАЦИЕНТОВ

*А. В. Лавринов*

*Тамбовский государственный технический университет*

Выбор языка для реализации кода метода обработки сонограммы тучных пациентов пал на Python – высокоуровневый язык программирования общего назначения, ориентированный на повышение производительности разработчика и читаемости кода. Синтаксис ядра Python минималистичен. В то же время стандартная библиотека включает большой объем полезных функций.

Python поддерживает структурное, объектно-ориентированное, функциональное, императивное и аспектно-ориентированное программирование. Основные архитектурные черты – динамическая типизация, автоматическое управление памятью, полная интроспекция, механизм обработки исключений, поддержка многопоточных вычислений, высокоуровневые структуры данных. Поддерживается разбиение программ на модули, которые, в свою очередь, могут объединяться в пакеты.

Кратко рассмотрим, какие вообще есть в Python библиотеки для работы с графикой, чтобы лучше понимать, о чем пойдет речь далее.

Pillow – форк PIL (Python Imaging Library). Это очень старый проект, вышедший в 1995 году для Python 1.2. В какой-то момент Python Imaging Library была заброшена, ее разработка прекратилась. Форк Pillow был сделан для того, чтобы устанавливать и собирать Python Imaging Library на современных системах. Постепенно количество изменений, которые нужны были людям в Python Imaging Library росло, и вышла Pillow 2.0, в которую была добавлена поддержка Python 3. Это можно считать началом отдельной жизни проекта Pillow.

Другая библиотека для работы с изображениями в Python, о которой вы наверняка слышали – это OpenCV (OpenComputerVision). Работает с 2000 года. Биндинг на Python входит в комплект. Это означает, что биндинг постоянно актуален, не бывает рассинхронности между самой библиотекой и биндингом. К сожалению, эта библиотека пока не поддерживается в PyPy, потому что OpenCV базируется на numpy, а numpy только недавно стал работать под PyPy, и в OpenCV поддержки PyPy все еще нет.

Еще одна библиотека, на которую стоит обратить внимание – VIPS. Основная идея VIPS в том, что для работы с изображением

не нужно загружать все изображение в память. Библиотека может загружать какие-то маленькие кусочки, обрабатывать их и сохранять. Таким образом, для обработки гигапиксельных изображений не нужно тратить гигабайты памяти.

Для реализации метода обработки сонограммы тучных пациентов выбрана библиотека Pillow, так как она является более мощным инструментом, работает на PyPy, а также при обработке медицинских изображений не требуется обработка гигапиксельных изображений.

Начальный алгоритм кода, позволяющего обработать сонограмму тучных пациентов, выглядит:

1. Подключение библиотеки Pillow.
2. Ввод всех изображений из соответствующей директории.
3. Проверка формата изображений на соответствие размеров.
4. Создание массивов данных типа float.
5. Наложение изображений, полученных на разных частотах УЗИ.
6. Обработка полученного изображения соответствующими методами повышения контрастности изображения.
7. Выгрузка финального изображения из массива в файл для последующего сохранения.

### **Библиографический список**

1. **Физические** основы использования ультразвука в медицине / И. И. Резников и др. – М., 2015. – С. 97.
2. **Физические** основы использования ультразвука в медицине : учеб. пособие / И. И. Резников, В. Н. Федорова, Е. В. Фаустов и др. – М. : РНИМУ им. Н. И. Пирогова, , 2015. – 97 с.
3. **Куликов, В. П.** Цветное дуплексное сканирование в диагностике сосудистых заболеваний / В. П. Куликов. – Новосибирск : СО РАМН, 1997. – 204 с.

## **АНАЛИЗИРОВАНИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MATLAB**

*С. Г. Леньшин*

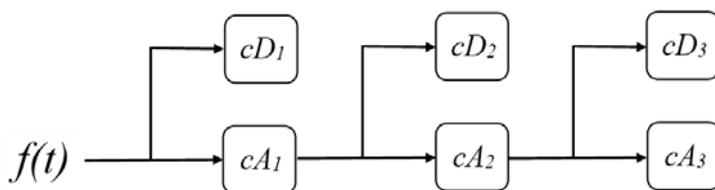
*Тамбовский государственный технический университет*

Использование электроэнцефалографа (ЭЭГ) в ходе нейробиологических исследований имеет целый ряд преимуществ перед другими инструментальными методами. Во-первых, ЭЭГ представляет собой

неинвазивный способ исследования объекта. Во-вторых, нет такой жесткой необходимости оставаться в неподвижном состоянии, как при проведении функциональной МРТ. В-третьих, в ходе ЭЭГ регистрируется спонтанная активность мозга, поэтому от субъекта не требуется взаимодействия с исследователем. Кроме того, ЭЭГ обладает высоким разрешением во времени по сравнению с такими методами, как функциональная МРТ, и может использоваться для идентификации миллисекундных колебаний электрической активности мозга. Потенциалы, связанные с событиями, выделяют путем анализа сигнала ЭЭГ для всех исследований в определенном состоянии [1].

Целью работы является повышение эффективности метода выявления психофизического возбуждения через потенциалы височной коры головного мозга медико-биологического объекта на ЭЭГ.

Вариант дискретного вейвлет-преобразования с уменьшением количества отсчетов при переходе от одного масштаба ( $j$ ) к другому ( $j + 1$ ) (рис. 1).



**Рис. 1. Трехуровневое дерево декомпозиции вейвлетов**

Процесс восстановления использует транспонированные (если записать процесс разложения в матричном виде) фильтры  $\{hk\}$  и  $\{gk\}$ .

Разные типы вейвлетов, а так же разные уровни разложения сигналов могут дать много информации о сигнале.

Определившись с типом вейвлета и уровнем (частотой) разложения, можно выявить коэффициенты аппроксимации, что можно сделать следующим способом: определить среднееквадратическое значение сигнала и обнулить все параметры, которые будут меньше (табл. 1). Коэффициенты, которые не обнулились, можно использовать для обучения на вход нейронной сети [2].

Можно заметить, что всплески имеют общую конфигурацию в виде зубца. В дальнейшем, найденные коэффициенты понадобятся для обучения искусственной нейронной сети на эмоцию – радость. Определив среднее значение для каждого из всплесков, получаем коэффициент эмоционального возбуждения для каждого из случаев.

## 1. Коэффициенты эмоционального всплеска

Дискретное время	Значения амплитуды
116	0
117	3,14573906103583
118	7,15380085908760
119	6,23212446704921
120	2,30384736463536
121	0

### Библиографический список

1. **Леньшин, С. Г.** Интеллектуальная система распознавания эмоционального состояния на электроэнцефалографе / С. Г. Леньшин // Взгляд молодых на проблемы региональной экономики – 2017 : материалы Всерос. открытого конкурса студентов вузов и молодых исследователей. – 2017. – С. 211 – 213.

2. **Леньшин, С. Г.** Использование вейвлет-фильтрации для обработки ЭЭГ/ С. Г. Леньшин, Д. Е. Судаков // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития – 2018 : материалы третьей Всерос. молодежной научн. конф., посвященной дню радио. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – С. 153–154.

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЗАПИСИ И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

*С. Г. Леньшин*

*Тамбовский государственный технический университет*

Использование электроэнцефалографа (ЭЭГ) в ходе нейробиологических исследований имеет целый ряд преимуществ перед другими инструментальными методами. Во-первых, ЭЭГ представляет собой

неинвазивный способ исследования объекта. Во-вторых, нет такой жесткой необходимости оставаться в неподвижном состоянии, как при проведении функциональной МРТ. В-третьих, в ходе ЭЭГ регистрируется спонтанная активность мозга, поэтому от субъекта не требуется взаимодействия с исследователем. Кроме того, ЭЭГ обладает высоким разрешением во времени по сравнению с такими методами, как функциональная МРТ, и может использоваться для идентификации миллисекундных колебаний электрической активности мозга. Потенциалы, связанные с событиями, выделяют путем анализа сигнала ЭЭГ для всех исследований в определенном состоянии [1].

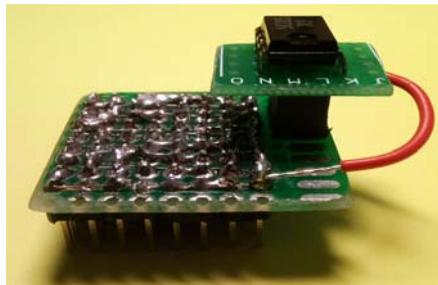
Электроэнцефалограф на плате *arduino* разрабатывается с целью упростить процесс регистрации психоэмоциональных сигналов головного мозга. Современный электроэнцефалограф имеет огромное количество отведений (электродов) и видов анализа полученных данных. В свою очередь такое количество возможностей требует наличия специальной аппаратуры и помещения.

Разрабатываемое устройство проектируется узконаправленным, в плане анализа сигнала. Регистрация данных производится не с целью полного анализа работы головного мозга, а с целью определения психоэмоционального состояния человека в ответ на различные виды стимулов.

Электродами для снятия импульсов головного мозга будут служить многоточечные электроды.

Все штырьки закорочены – это будут являться одним отведением, присоединенным к операционному усилителю (рис. 1). Длинные штырьки будут иметь контакт с кожей головы, минуя волосяной покров [2].

Принципиальная электронная схема – электрод-ОУ-БП – представлена на рис. 2.



**Рис. 1. Структура электрод – операционный усилитель**

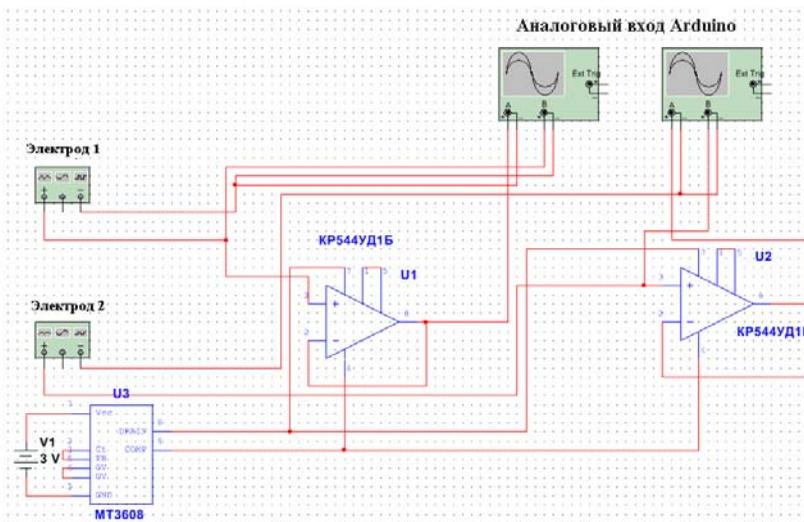


Рис. 2. Принципиальная электронная схема: электрод-ОУ-БП

### Библиографический список

1. **Леньшин, С. Г.** Интеллектуальная система распознавания эмоционального состояния на электроэнцефалографе / С. Г. Леньшин // Взгляд молодых на проблемы региональной экономики – 2017 : материалы Всерос. открытого конкурса студентов вузов и молодых исследователей. – Тамбов, 2017. – С. 211 – 213.
2. **Фролова, М. С.** Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.

## СПОСОБ УЗИ-ИССЛЕДОВАНИЙ ОКОЛОНОСОВЫХ ПАЗУХ

*А. С. Лисицын, Е. А. Егорова*

*Тамбовский государственный технический университет*

Способ относится к медицине и предназначен для ультразвукового исследования верхнечелюстных, лобных и решетчатых пазух.

В практике оториноларингологии применение ультразвукового исследования представляет определенные трудности, так как околоно-

совые пазухи в норме являются воздухоносными. Поэтому на границе ткань – воздух происходит тотальное отражение звукового луча, но если синус полностью или частично заполнен секретом, имеется опухоль или утолщение слизистой оболочки, возникновение экосигналов неизбежно.

Задачей создания нового способа ультразвукового исследования заболеваний околоносовых пазух является повышение качества изображения исследуемого объекта, проникающей способности ультразвука в ткани и возможность обследования решетчатой пазухи [1 – 3].

Поставленная задача в способе ультразвукового исследования заболеваний околоносовых пазух, включающем двухмерное сканирование патологического очага, электронную обработку видеосигнала и получение трехмерного изображения, решается тем, что двухмерное сканирование очага поражения осуществляют мультисигментными, линейными датчиками с частотой от 8 до 10 МГц с двух сторон в аксиальной и сагиттальной проекциях. В предлагаемом способе для исследования околоносовой верхнечелюстной пазухи сканирование начинают в сагиттальной проекции, для чего датчик устанавливают в области проекции передней стенки пазухи, при этом визуализируют нижнюю стенку орбиты и перемещают датчик медиально, осматривая внутреннюю стенку пазухи. Затем датчик перемещают латерально и осматривают боковую стенку пазухи. Сканированием в аксиальной проекции осуществляют осмотр бухт задней стенки верхнечелюстной пазухи, для чего датчик устанавливают параллельно нижнему краю орбиты и изменяют угол сканирования сначала по направлению к верхней стенке пазухи, затем к ее нижней стенке. Для сканирования околоносовой лобной пазухи датчик устанавливают на переносице в аксиальной проекции, затем в сагиттальной проекции и поворачивают его под углом 45° к вертикальной оси туловища. Для сканирования околоносовой решетчатой пазухи устанавливают датчик на боковой наружной стенке носа вблизи от внутреннего угла глаза.

Способ ультразвукового исследования заболеваний околоносовых пазух, включающий двухмерное сканирование патологического очага, электронную обработку видеосигнала и получение трехмерного изображения, отличается тем, что двухмерное сканирование очага поражения осуществляют линейными мультисигментными датчиками с частотой от 8 до 10 МГц. С двух сторон в аксиальной и сагиттальной проекциях, для исследования околоносовой верхнечелюстной пазухи сканирование начинают в сагиттальной проекции, устанавливают датчик в области передней стенки пазухи. Визуализируют нижнюю стенку орбиты и перемещают датчик медиально, при этом осматривают

внутреннюю стенку пазухи, затем латерально осматривают боковую стенку пазухи. После сканируют пазуху в аксиальной проекции, для чего датчик устанавливают параллельно нижнему краю орбиты и изменяют угол сканирования. Сначала по направлению в верхней стенке пазухи, затем к ее нижней стенке, а для сканирования околоносовой лобной пазухи датчик устанавливают в аксиальной проекции на переносице. Затем в сагиттальной проекции и поворачивают его под углом  $45^\circ$  к вертикальной оси туловища, причем для сканирования околоносовой решетчатой пазухи устанавливают датчик на боковой наружной стенке носа вблизи от внутреннего угла глаза.

### **Библиографический список**

1. **Современные** тенденции развития медицинских информационных систем мониторинга / С. В. Фролов, М. А. Лядов, И. А. Комарова, О. А. Остапенко, // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2013. – № 2(46). – С. 66 – 75.

2. **Фролов, С. В.** Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.

3. **Фролова, М. С.** Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Специальный выпуск 52. – С. 106 – 111.

## **ПРИНЦИП ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СТАНЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ КОСМЕТИЧЕСКОГО ЛАЗЕРА С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

*А. В. Медведева, А. А. Нечай*

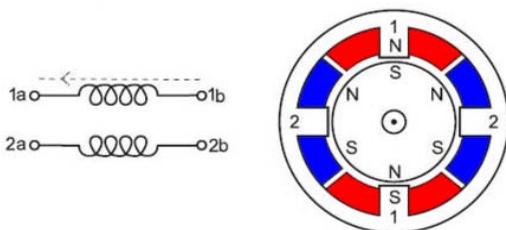
*Тамбовский государственный технический университет*

Внедрение автоматизированных систем в косметологические кабинеты обосновывается повышением эффективности проведения работы. Увеличивается скорость выполнения задачи и точность.

Разрабатываемое устройство имеет три подвижные оси:  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Оси  $X$  и  $Y$  отвечают за перемещение лазерной головки по рабочей плоскости. Ось  $Z$  позволяет в режиме реального времени осуществлять корректировку положения головки по высоте относительно рабочей поверхности. Данный процесс осуществляется при помощи ультра-

звукового датчика расстояния. Измерение расстояния датчиком производится на каждый шаг шагового двигателя.

Для функционирования разрабатываемого устройства был выбран биполярный шаговый двигатель (рис. 1). Объясняется это тем, что указанный шаговый двигатель имеет более широкий диапазон угловых разрешений, нежели униполярный. Однако, его использование несколько усложняет общую конструкцию. Дело в том, что биполярные двигатели оснащены одной обмоткой в каждой фазе, для смены направления магнитных полей необходимо переплюсовывать устройство с драйвером. При использовании такого типа двигателей потребуется мостовой драйвер либо же полумостовой с двухполярным питанием.



**Рис. 1. Устройство биполярного шагового двигателя**

Для управления системой используется контроллер Arduino UNO. Выбор объясняется следующим:

- простотой программирования через официальную платформу с большим выбором заранее подготовленных производителем библиотек;
- низкой ценой, позволяющей сделать всю конструкцию доступной для большей целевой аудитории;
- высокой производительностью и возможностью работы от гальванических элементов (батареек, аккумуляторов).

Шаговые двигатели приводятся в движение с помощью EasyDriver. Выбор указанного драйвера обоснован наибольшей совместимостью с остальными радиотехническими элементами. Он имеет большой запас прочности, из-за чего изнашиваемость минимальна, что дает продолжительный эксплуатационный срок всему оборудованию. Имеется возможность корректировки поступающего тока, что позволит увеличивать/уменьшать нагрузку на различные элементы схемы.

Было создано программное обеспечение для компьютера, позволяющее обрабатывать участки кожи, выделенные заранее заданным

цветом. Его необходимость объясняется следующим. Перед непосредственной работой косметического лазера с ЧПУ требуется определить площадь работы и конкретный участок. Для этого необходимо обвести маркером с цветом в заданном диапазоне видимых частот, например, шрам и задать диапазон цветов для программного обеспечения.

При попадании в рабочую зону подается сигнал запуска, и лазер срабатывает. В противном случае просто производится замер расстояния по оси  $Z$  и совершается следующий шаг.

### **Библиографический список**

1. **Модель** информационной системы кардиологического отделения клинической больницы / Ю. В. Сулова, К. Е. Швырева, Т. С. Сюзина, В. В. Дубровин // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы II Международ. науч.-практ. конф. – Тамбов, 2016. – С. 238 – 244.

2. **Современные** тенденции развития рынка медицинских информационных систем / С. В. Фролов, С. Н. Маковеев, С. В. Семенова, С. Г. Фареев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 266 – 272.

## **ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИКИ АЛЬФА-РИТМОВ С УЧЕТОМ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ КОЖИ ГОЛОВЫ**

***А. В. Милютин***

*Тамбовский государственный технический университет*

Электроэнцефалография (ЭЭГ) на данный момент является одним из наиболее эффективных инструментов исследования головного мозга. Благодаря цифровизации появилась возможность получения тонких информативных характеристик, их хранения и передачи. Данный метод исследования характеризуется высоким временным и пространственным разрешением, что позволяет выделять разные ритмические составляющие ЭЭГ. Поскольку в норме разность электрических потенциалов на поверхности покровов головы мала и составляет порядка 3...300 микровольт, необходимо использовать усилители с большим коэффициентом усиления.

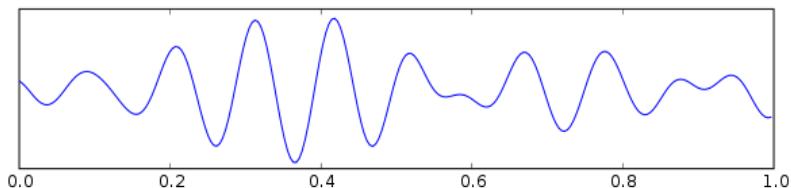
Современные электроэнцефалографические усилители имеют коэффициент усиления порядка 20 000...100 000 и, следовательно, на выходе усилителя получают электрические сигналы с амплитудой порядка 1 В. Такая величина сигнала вполне пригодна для подачи ее

на перьевой самописец или в ЭВМ. В электроэнцефалограмме измеряют амплитуду (размах) колебаний от пика до пика в микровольтах и частоту колебаний в герцах. В соответствии с этим в электроэнцефалограмме различают четыре типа волн:  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\theta$ - и  $\delta$ - ритмы. В данной работе будут рассмотрены альфа-ритмы.

Цель данной работы: выявить особенности диагностики альфа-ритмов с учетом электропроводности кожи головы и способы устранения артефактов.

Основным ритмом электроэнцефалограммы, который обычно регистрируется у человека, является альфа-ритм, локализующийся в затылочных отделах полушарий. У здорового человека могут различаться ЭЭГ в зависимости от физиологического состояния (сон и бодрствование, восприятие зрительных и слуховых сигналов, разнообразные эмоции). В норме у человека, который находится в состоянии покоя, регистрируется два основных типа ритмов: альфа- и бета-ритмы.

В норме альфа-ритм характеризуется частотой 8...13 Гц и не превышает амплитуду 100 мкВ (рис. 1).



**Рис. 1 Альфа-ритм**

Кроме изменений амплитуды, связанных с функциональным состоянием мозга, могут наблюдаться спонтанные изменения амплитуды – модуляции альфа-ритма. При повышении уровня функциональной активности мозга амплитуда уменьшается и часто стремится к нулю. На ЭЭГ появляется высокочастотная нерегулярная активность. При появлении внешнего раздражителя, например вспышки света, эта десинхронизация возникает резко, и если раздражение не несет в себе эмоциональный характер через 1–2 секунды ритм приходит в норму. Такая реакция ЭЭГ называется «реакция активации». Она возникает вследствие появления новых факторов в окружающей обстановке, требующих приспособления организма к новой ситуации. При проявлении одного и того же стимула реакция постепенно угасает.

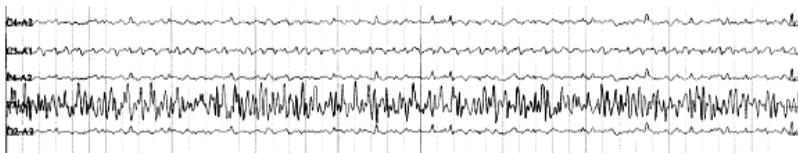
Современная аппаратура ЭЭГ может регистрировать очень малые изменения величин биопотенциалов, вследствие чего конечная запись

ЭЭГ способна искажаться из-за воздействия внешних физических или физиологических факторов. Такие искажения называются артефакты.

Одним из физиологических факторов, влияющих на регистрацию ритмов, является импеданс, возникающий между регистрирующим электродом и головой пациента. В контексте записей ЭЭГ импеданс обычно измеряется путем пропускания малого тока 10 Гц между двумя или более электродами и измерения сопротивления потоку этого тока.

Исправить плохой контакт с кожей головы можно с помощью обезжиривания кожи спиртом и покрытия места контакта электрода электропроводным гелем, обеспечить полное прижатие электрода к коже. Также выделение пота влияет на контакт между кожей головы и электродом. Потовые железы образуют мост с переменным сопротивлением между внутренней и внешней средой кожи и играют важную роль в изменениях кожного потенциала с течением времени.

Артефакт высокого импеданса возникает при неправильном наложении электрода на кожу пациента, при высыхании контактного геля или при отхождении электрода от кожной поверхности (рис. 2).



**Рис. 2. Высокий импеданс на электроде P3, имитирующий пароксизмальную активность**

Пароксизмальная активность мозга обозначает, что при замере с помощью ЭЭГ электрической активности коры больших полушарий обнаруживается, что в одной из областей процессы возбуждения превалируют над процессами торможения.

Появление артефактов может привести к неправильной постановке диагноза. Существует несколько основных способов уменьшения артефактов кожного потенциала и высокого импеданса в записях ЭЭГ. Во-первых, можно уменьшить возникновение изменений уровня пота в потовых железах. Например, постоянное охлаждение и сушка кожи головы уменьшит появление кожных потенциалов. Во-вторых, можно уменьшить размер напряжения, измеряемого на регистрирующих электродах, когда уровень пота изменяется. Также необходимо следить за правильным контактом электродов с кожей головы и за количеством электропроводящего геля.

## РАЗРАБОТКА БТС ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОКОНТРАСТНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПОРАЖЕНИЯ

*А. В. Михина*

*Тамбовский государственный технический университет*

Актуальной является задача выявления ранних стадий нарушения кровообращения и локализации области этих поражений, не проявляющихся на тепловизионной картине в стационарных температурных условиях.

В [1] рассматривается тепловизионный способ обнаружения нарушений кровообращения пальцев рук. Способ обеспечивает безопасное бесконтактное получение «венограммы» охлажденной поверхности после притока к ней теплой крови. Он основан на постоянной регистрации температуры дистальных фаланг пальцев после изменения температуры помещения и сравнительной оценке скорости восстановления температуры пальцев. Недостатком данного способа является невозможность определения местоположения области поражения.

Применение климатических исследований позволяет повысить эффективность обнаружения малоконтрастных областей поражения. В этом случае наблюдается динамическая картина изменения температуры в области артерий пальцев, что позволяет видеть процесс изменения температуры пораженного пальца в сравнении с изменением температуры пальцев с нормальным кровоснабжением. Так как этот процесс растянут во времени и длится порядка нескольких минут, то можно сначала зафиксировать пораженный палец [1, 2], а затем в определенный момент «увидеть» область поражения с более высоким контрастом, чем при обычном наблюдении. Для реализации используем блок климат-контроля.

Метод обнаружения малоконтрастных областей поражения заключается в следующем:

1. В помещении устанавливается температура  $T_1$  22...25 °С;
2. Обследуемый находится при данной температуре в течение 15 минут;
3. Устанавливается температура на 3 °С выше  $T_1$ ;
4. Включается режим видеосъемки тепловизора;
5. Для каждого пальца по меткам на ДФП в видеокадрах выделяются области ДФП, в которых непрерывно измеряется средняя температура;
6. По полученным термограммам определяется время переходного процесса по достижению максимальной температуры в области ДФП;

7. Если время переходного процесса больше типового, то принимается решение о нарушении кровоснабжения конечности.

Для аппаратной реализации метода используем блок-схему, представленную на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема аппаратной реализации метода

МПС выполняет роль управляющей измерительной системы, которая задает прибор, использующийся в данном измерении, момент его включения, момент считывания данных с их последующей обработкой, выдает информационное сообщение для обслуживающего персонала. Результаты измерений, интерпретированные в соответствии с выбранными критериями, выводятся в систему индикации.

Предлагаемая БТС позволяет выделить наиболее информативные тепловизионные изображения, содержащие области поражения в момент наибольшего контрастирования.

### Библиографический список

1. **Волков, А. Ю.** Разработка температурной модели дистальных фаланг пальцев, пригодной для оценки артериального давления / А. Ю. Волков, В. М. Строев // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы III Междунар. научн.-практ. конф. – Тамбов, 2016. – С. 65 – 71.
2. **Строев, В. М.** Тепловизионный способ обнаружения нарушений кровообращения пальцев рук / В. М. Строев, А. Ю. Волков, Н. И. Агафонова // Аллея науки. – 2017. – Т. 4, № 15. – С. 279 – 282.

# РАЗРАБОТКА БЮДЖЕТНОЙ ИНФРАКРАСНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КРОВΟΣНАБЖЕНИЯ

*А. В. Михина, В. М. Строев*

*Тамбовский государственный технический университет*

Существующие инфракрасные системы с высокой разрешающей способностью имеют большую стоимость и поэтому недоступны для проведения экспериментальных исследований [1, 2].

Необходимо разработать простую быстродействующую ИК-систему, которая имеет невысокую стоимость.

В качестве электронной схемы для преобразования сигнала и отображения результата используем платформу Arduino Nano v3.0 (CH340G).

Платформа Arduino Nano V3.0 – открытая и компактная платформа с семейства Arduino, построенная на микроконтроллере ATmega328.

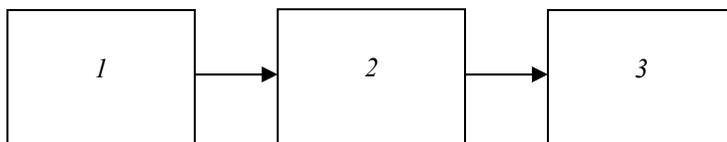
Платформа Nano имеет контакты в виде пинов, поэтому ее легко устанавливать на макетную плату.

Nano 3.0 (CH340G) является аналогом распространенных модулей Nano 3.0, и отличается от них лишь переработанной схемой преобразователя USB  $\leftrightarrow$  COM, интегрированного на плату. Вместо микросхемы FT232RL производства FTDI, в этой версии модуля применена микросхема CH340G, производства WCH.

Для реализации инфракрасного термометра выберем бесконтактный датчик температуры GY-906 MLX90614ESF.

MLX90614 представляет собой инфракрасный датчик для измерения температуры бесконтактным способом с Arduino, или с любым другим микроконтроллером, который может общаться с ним через его интерфейс I2C. Он может измерять температуру в диапазоне от  $-70$  до  $380$  °C с точностью около  $0,5$  °C.

Блок схема разрабатываемой системы представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Блок схема ИК-системы для контроля кровоснабжения**

Блок схема включает в себя:

- 1) бесконтактный датчик температуры;
- 2) плата Arduino;
- 3) персональный компьютер.

Преимуществами данного устройства являются:

- повышенная точность за счет уменьшения амплитуды тремора пальцев рук;
- разрешающая способность: 0,02 °С доступная только для тепловизоров стоимостью от 500 тыс. р.;
- возможность проведения длительных исследований в комфортных для пациента условиях;
- автоматическая связь с ПК для передачи данных в реальном времени;
- питание от ПК;
- невысокая стоимость;
- высокое быстродействие, позволяющие снимать до четырех измерений в секунду.

Данная система может применяться в медицине для контроля теплового состояния человека, контроля кровоснабжения по фалангам пальцев, для помощи в нахождения вен перед инъекцией, а так же может применяться для обнаружения движущихся объектов в помещениях.

### **Библиографический список**

1. **Волков, А. Ю.** Разработка температурной модели дистальных фаланг пальцев, пригодной для оценки артериального давления / А. Ю. Волков, В. М. Строев // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов, 2016. – С. 65 – 71.

2. **Строев, В. М.** Тепловизионный способ обнаружения нарушений кровообращения пальцев рук / В. М. Строев, А. Ю. Волков, Н. И. Агафонова // Аллея науки. – 2017. – Т. 4, № 15. – С. 279 – 282.

## **ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ РАДИОВОЛНОВАЯ ХИРУРГИЯ**

***Н. Ю. Никитина***

*Тамбовский государственный технический университет*

Настоящая медицинская технология «Высокочастотная радиоволновая хирургия» рассматривает возможности хирургического воздействия на ткани и органы человека.

Проблема хирургического рассечения ткани и гемостаза продолжает оставаться актуальной [1 – 3]. В настоящее время практическая медицина располагает множеством режущих инструментов. Применение современной технологии рассечения тканей изменило представление хирургов о возможностях бескровного проведения операции и снижения риска послеоперационных осложнений.

Высокочастотная радиоволновая хирургия – это уникальный бесконтактный метод разреза и коагуляции мягких тканей с помощью радиоволн высокой частоты (3,8...4,0 МГц). Рассекающий эффект достигается за счет тепла, выделяемого при сопротивлении тканей проникновению в них направленных высокочастотных волн. Высокочастотная энергия концентрируется на кончике «активного» или «хирургического» электрода и вызывает всплеск внутриклеточной молекулярной энергии, которая нагревает ткани и фактически испаряет клетки. При этом непосредственный контакт электрода с клетками отсутствует, а сам электрод не нагревается. Кроме этого, техника радиохирургии полностью исключает болезненные сокращения мышц или стимуляцию нервных окончаний при прохождении волн через тело пациента (эффект Фарадея). Радиоволновая хирургия принципиально отличается от электро- и лазерохирургии, при которой повреждение ткани может быть сравнимо с ожогом 3-й степени. Тканевые разрушения при воздействии радиоволновой хирургии в несколько раз меньше, чем при использовании любого другого электрохирургического инструмента (почти в 10 раз!).

Проанализированы характеристики режимов работы аппарата радиочастотного электрохирургического (табл. 1)

Универсальность применения приборов в хирургии достигается многообразием выбора комплектов электродов и пинцетов.

Основными преимуществами использования радиоволновой хирургии является:

- высокая эффективность работы аппарата;
- атравматичный разрез;
- минимальное термическое воздействие на ткани (по сравнению с электрокоагуляцией);
- отсутствие выраженного кровотечения и надежный гемостаз;
- формирование «нежного» полноценного рубца.

Таблица 1

Режим	Выходная форма волны	Максимальная выходная мощность	Выходная частота	Активация
«Cut» (Разрез)	Полностью выпрямленная фильтрованная	90 Вт	3,8 МГц	Посредством ножной педали или наконечника ручного включения
«Cut/Coag» (Разрез и коагуляция)	Полностью выпрямленная	70 Вт	3,8 МГц	Посредством ножной педали или наконечника ручного включения
«Coag» (Коагуляция)	Частично выпрямленная	40 Вт	3,8 МГц	Посредством ножной педали или наконечника ручного включения
«Fulgurate» (Фульгурация)	Прерывисто-искровая	35 Вт	3,8 МГц	Посредством ножной педали
Биполярная коагуляция	Частично выпрямленная	90 Вт	3,8 МГц	Посредством ножной педали

### Библиографический список

1. **Синдеев, С. В.** Система поддержки принятия решений врача при оценке предоперационного состояния больных с острыми нарушениями мозгового кровообращения / С. В. Синдеев, С. В. Фролов, А. Ю. Потлов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 581 – 588.

2. **Фролов, С. В.** Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.

3. **Четырехкамерная** модель сердечно-сосудистой системы человека / С. В. Фролов, С. В. Синдеев, В. А. Лищук и др. // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2012. – № 2(40). – С. 51 – 60.

## **БИОНИЧЕСКИЕ ГЛАЗА**

*И. Э. Родионова*

*Тамбовский государственный технический университет*

Бионическими называют протезы и имплантируемые элементы частей организма человека, которые подобны по внешнему виду и функциям настоящим органам или конечностям. На сегодняшний день людям успешно помогают в полноценной жизни бионические руки, ноги, сердца, а также органы слуха.

Бионический глаз – устройство, позволяющее слепым различать ряд визуальных объектов и компенсировать в определенном объеме отсутствие зрения. Хирурги имплантируют его в поврежденный глаз в качестве протеза сетчатки. Сохранившиеся в сетчатке неповрежденные нейроны дополняются искусственными фоторецепторами. Бионический глаз фиксирует даже слабые электрические импульсы и транслирует их нервным клеткам, т.е. сигналы преобразуются в электрическую форму и воздействуют на нейроны, которые сохранились в сетчатке.

В очки встраивается видеокамера, записывающая картинку и отправляющая ее в процессор-конвертор. Тот, в свою очередь, преобразует сигнал и отправляет его ресиверу и фотосенсору, который вживлен в сетчатку глаза больного. И только потом электрические импульсы передаются в мозг пациента через оптический нерв.

В ранних моделях картинка передавалась с видеокамеры сразу в глаз пациента. Но в этом процессе был один недостаток – разность в восприятии изображения камерой и глазным яблоком, они работали не синхронно.

Другой подход заключается в отправлении видеoinформации в компьютер, который преобразовывает видимое изображение в инфракрасные импульсы [1 – 3]. Они отражаются от стекол очков и попадают через хрусталик в глазную сетчатку на фотосенсоры. Картинка, полученная от действующих фоторецепторов глаза, накладывается на изображение от камеры и проецируется на сетчатку.

Бионический глаз ArgusII был разработан и сделан в США компанией «Second Sight». Argus II состоит из двух частей: встроенной в очки мини-видеокамеры и имплантата. Все объекты окружающего

мира фиксируются на камеру и передаются в имплантат через процессор по беспроводной связи. Имплантат с помощью электродов активирует имеющиеся у больного клетки сетчатки, отправляя информацию напрямую в зрительный нерв.

Пользователи бионического глаза уже через неделю четко различают горизонтальные и вертикальные линии. В дальнейшем качество зрения через это устройство только возрастает.

К сожалению, нынешний прототип бионического глаза не позволяет слепым людям видеть окружающий мир так, как видят его зрячие. Их цель – перемещаться самостоятельно без посторонней помощи. До массового использования этой технологии еще далеко, однако ученые подарят надежду людям, потерявшим зрение.

Одного офтальмолога-хирурга при операции недостаточно – нужна помощь других дисциплин, операция длится долгих 6 часов. Операция, как и разработки, дорогостоящие. 150 тысяч долларов за устройство пока делают бионические глаза очень далекими от рынка и недостижимыми для большинства больных.

Из всего этого следует, что у разработки еще много нерешенных проблем. В ближайшем будущем технология будет идти по пути повышения качества изображения и детализации. Важная задача – избавиться от носимых компонентов: камеры, очков, кабеля. Имплант должен стать мягче и, можно сказать, дружелюбнее для тканей человека, чтобы не ранить их. Вероятно, чипы без внешних вспомогательных элементов, вживляемые прямо в мозг, – это самая перспективная ветка киборгизации зрения.

Надежды на фантастическое зрение для всех не угаснут: мгновенный снимок с помощью глаза и сетчатки, подключенная к интернету, только сейчас выглядят как научная фантастика.

### **Библиографический список**

1. **Фролов, С. В.** Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.
2. **Фролова, М. С.** Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Специальный выпуск 52. – С. 106 – 111.
3. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЙ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫХАЖИВАНИИ НОВОРОЖДЕННЫХ**

*К. С. Савинова, А. А. Коробов, А. А. Трубиенко*

*Тамбовский государственный технический университет*

Проблема недоношенности является одной из ключевых в перинатологии и педиатрии в целом. Совершенствование методик выхаживания недоношенных детей привело к снижению летальности и выживанию детей с очень низкой и экстремально низкой массой тела при рождении.

Цель исследования заключается в разработке программно-аппаратного комплекса для поддержки принятия решений при выхаживании недоношенных детей.

Для достижения цели работы необходимо решить следующие задачи:

- исследовать инкубаторы как биотехническую систему;
- изучить процессы постнатальной адаптации недоношенных новорожденных;
- доказать эффективность использования предлагаемого программно-аппаратного комплекса.

Программно-аппаратный комплекс оценки состояния сердечно-сосудистой системы предназначен для поддержки принятия решений врача-неонатолога в реанимационных отделениях недоношенных новорожденных. Первостепенной является задача интеграции в ПАК диагностических приборов, методов мониторингового контроля, обработки медицинских данных, программного обеспечения.

Структура разрабатываемого программно-аппаратного комплекса представлена на рис. 1.

Основными компонентами разрабатываемого программно-аппаратного комплекса являются диагностический прибор и компьютер. В роли диагностического прибора может выступать прикроватный монитор, обладающий минимальный набором необходимых исследуемых параметров состояния сердечно-сосудистой системы. Процесс исследования оценки происходит поэтапно. Прикроватный монитор с помощью датчиков снимает показатели сердечно-сосудистой системы (ССС), затем обработанные данные поступают на компьютер, где из этих показателей получают дополнительные для адекватной оценки состояния пациента-новорожденного, рассчитанные показатели. Далее весь массив данных поступает на блок вычисления алгоритмов оценки состояния ССС, построенной на основе математической модели регуляции, исходя из которой находятся наиболее подходящие показатели температуры для выхаживания ребенка в инкубаторе.



## Библиографический список

1. **Основы** оптимального ухода за недоношенными детьми в условиях отделения реанимации и интенсивной терапии [Текст] / В. А. Романенко, А. П. Аверин, А. И. Гаева и др. – Челябинск : Фотохудожник, 2008. – 154 с.
2. **Акулов, С. А.** Основы теории биотехнических систем [Текст] / С. А. Акулов, А. А. Федотов. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 259 с.
3. **Модель** сердечно-сосудистой системы, ориентированная на современную интенсивную терапию – 2008 / С. В. Фролов, С. Н. Маковеев, Д. Ш. Газизова, В. А. Лищук // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 892 – 902.

*Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук,  
проф. С. В. Фролова*

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ рН-МЕТРА рН-150

*А. А. Сайкина*

*Тамбовский государственный технический университет*

Стремительное развитие микроэлектроники позволило создавать миниатюрные высокоинтегрированные системы. Располагаясь на одной печатной плате, такая система может выполнять различные функции: от измерения до генерации тестового сигнала. Наиболее распространенным измерительным прибором такого типа является рН-150 метр. Такой прибор исследует и фиксирует качество различных сред на кислотно-щелочной баланс, температуру и другие физико-химические характеристики.

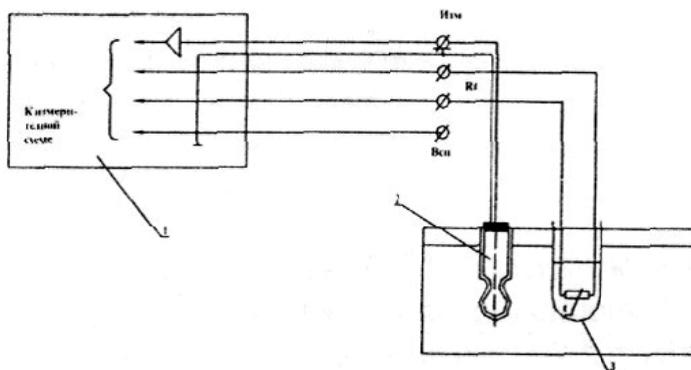
В основу работы рН-метра положен потенциометрический метод измерения рН и Еh контролируемого раствора. При измерении рН (или Еh) раствора используется система, состоящая из измерительного и вспомогательного электродов. В качестве измерительного электрода при измерении рН используется стеклянный электрод, а в качестве вспомогательного – хлорсеребряный электрод. Для рН-150М оба электрода совмещены в комбинированный электрод.

Расчет значения рН по следующей формуле:

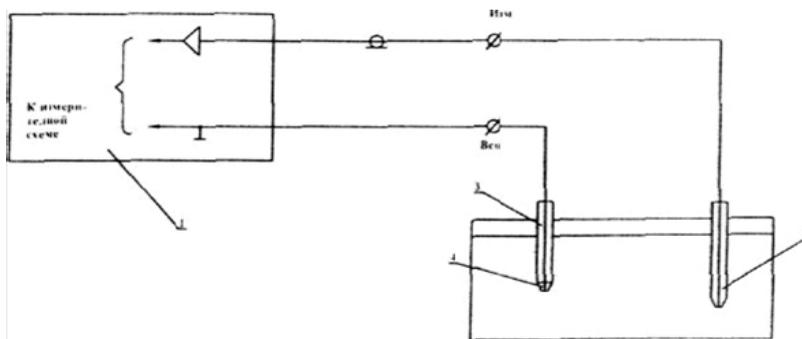
$$\text{pH} = \text{p}X_i - (E - E_i) / K_s (54,1 + 0,198t),$$

где  $E$  – измеренная ЭДС электродной системы, мВ;  $\text{p}X_i$  – координата изопотенциальной точки электродной системы;  $E_i$  – координата изо-

потенциальной точки электродной системы, мВ;  $K_s$  – доля, которую составляет реальная крутизна электродной характеристики от теоретического значения, равного  $(54,1 + 0,198t)$ ;  $t$  – температура раствора, измеренная при помощи термодатчика или введенная вручную, °С.



**Рис. 1. Схема вспомогательных электродов:**  
 1 – преобразователь рН-150М; 2 – комбинированный электрод ЭСКЛ-08М I; 3 – автоматический термокомпенсатор



**Рис. 2. Схема подключения электродной системы при изменении Eh:**  
 1 – преобразователь рН-150М; 2 – измерительный (редоксметрический) электрод; 3 – вспомогательный электрод

### Библиографический список

1. **Фролов, С. В.** Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.

2. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

3. **Проскурин, С. Г.** Визуализация кровеносных сосудов при помощи оптической когерентной томографии / С. Г. Проскурин, С. В. Фролов // Медицинская техника. – 2012. – № 3. – С. 9 – 14.

4. **Фролова, М. С.** Разработка информационной модели медицинского прибора на примере биохимического анализатора / М. С. Фролова, Т. А. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 124 – 132.

5. **Интеграция** медицинской техники в информационную систему лечебно-профилактического учреждения / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин, В. Ю. Ошурков // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 3(53). – С. 68 – 80.

6. **Фролова, М. С.** Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19(3). – С. 553 – 561.

7. **Фролов, С. В.** Мировые проблемы при выборе медицинского изделия для учреждения здравоохранения / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Менеджер здравоохранения. – 2013. – № 11. – С. 50 – 61.

8. **Фролова, Т. А.** 3D-биопринтинг / Т. А. Фролова, Е. Н. Родина ; под общ. ред. М. Н. Краснянского // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 т. ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – Вып. 5, Т. III. – С. 135 – 140.

## **ЭКВАЛИЗАЦИЯ ГИСТОГРАММЫ ЦИФРОВОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ПИРАМИДЫ ЛАПЛАСА**

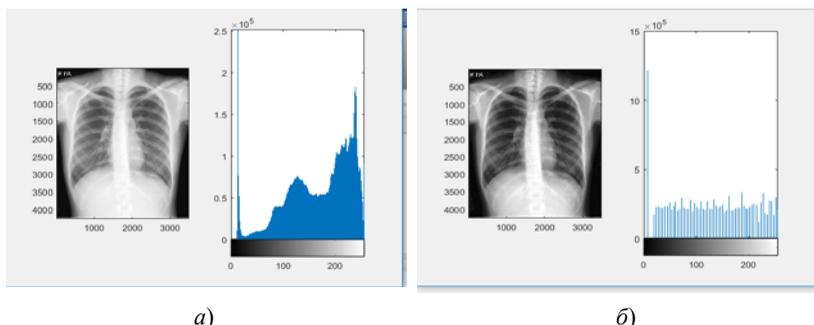
*Д. Д. Семенов, К. Н. Коновалова*

*Тамбовский государственный технический университет*

В настоящее время одним из самых распространенных методов исследования внутренней структуры биологических объектов является рентгенография. Основной недостаток исходных цифровых рентгеновских изображений – это неравномерно распределенная гистограмма, которая затрудняет восприятие деталей изображения. В связи с этим

целесообразно разработать метод коррекции, который позволит улучшить восприятие цифровых рентгеновских изображений человека [1, 2].

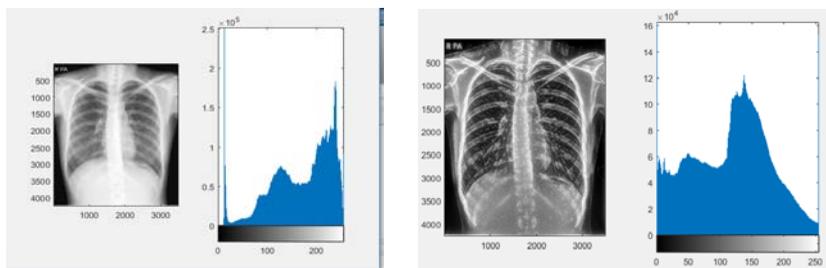
Одним из известных методов изменения гистограммы является операция эквализации (выравнивания) гистограммы. При таком подходе увеличение контрастности изображения происходит путем преобразования гистограммы элементов исходного изображения. Пример эквализации гистограммы в программной среде MATLAB показан на рис. 1.



**Рис. 1. Эквализация гистограммы в среде MATLAB:**  
*а* – исходное изображение; *б* – обработанное изображение

Из анализа гистограмм по рис. 1 видно, что гистограммы после эквализации имеют заметные разрывы, а это приводит к потере части информации на изображении.

Устранить этот недостаток можно при помощи использования пирамиды Лапласа. Формирование пирамиды Лапласа происходит следующим образом. Сигнал пропускается через низкочастотный фильтр и затем прореживается. В результате получается низкочастотная составляющая изображения. Высокочастотная составляющая изображения формируется за счет последовательного выполнения следующих операций: интерполяции, свертки с интерполирующим фильтром и вычитания результата из исходного сигнала. Реконструкция сигнала происходит путем интерполяции, свертки с интерполирующим фильтром и суммирования полученного результата с высокочастотной составляющей изображения [2]. Выравнивание гистограммы происходит в высокочастотной части изображения. Пример реализации вышеуказанных процедур в программной среде MATLAB показан на рис. 2.



а)

б)

**Рис. 2. Эквиализация гистограммы при помощи пирамиды Лапласа в среде MATLAB:**

*а* – исходное изображение; *б* – обработанное изображение

Из рисунка 2 видно, что изображение имеет более равномерную гистограмму и отсутствуют разрывы, которые приводили к потере информации на цифровом рентгеновском изображении.

Таким образом, выравнивание гистограммы в высокочастотной части пирамиды Лапласа позволяет устранить разрывы гистограммы в обработанном изображении и поэтому улучшить восприятие цифровых рентгеновских изображений человеком.

### Библиографический список

1. **Фролова, Т. А.** Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова ; под общ. ред. В. А. Немтинова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 т. ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4, Т. 3. – С. 123 – 128.
2. **Фролова, М. С.** Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19(3). – С. 553 – 561.

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДАТЧИКОВ УЗИ

*Н. А. Скворцов*

*Тамбовский государственный технический университет*

Наряду с модернизацией УЗ-аппаратов, производители совершенствуют и возможности датчиков, так как они являются ключевыми в цепи передачи сигнала для восстановления изображения [1 – 3].

Фактически, датчики – основной определяющий фактор качества изображения. Однако, область медицинского оборудования использует тот же пьезоэлектрический материал уже более 40 лет.

Технологическим прорывом стало появление ряда технологий, которые касаются производства датчиков и предоставления им новых возможностей и свойств [4].

Ультразвуковые датчики – сенсорные устройства, преобразующие электрический ток в волны ультразвука. Их принцип действия аналогичен работе радара, они улавливают цель по отраженному сигналу. Скорость звука – величина постоянная. На основании этого таким датчиком вычисляется расстояние до некоторого объекта, соответствующее диапазону времени между выходом сигнала и его возвращением [5].

xMATRIX – самая передовая универсальная технология датчиков. На консоли управления есть кнопка, которая активирует технологию, благодаря чему все режимы станут доступными в одном датчике: 2D, 3D / 4D, Live 3D Echo, Live xPlane, Live 3D Zoom, Live 3D Full Volume, iRotate, Live MPR, MPR, M-mode, Doppler, цветной доплер и CPA. Нет необходимости приостанавливать обследование для переключения датчиков. Может сочетаться с технологиями Philips nSIGHT и PureWave [3].

Датчики с xMATRIX повышают уровень производительности сканирования. Они используют мощность 150 компьютерных плат, с полностью дискретизированными элементами для фокусировки и управления на 360 градусов.

Данная технология позволяет одновременное использование полного перечня ультразвуковых датчиков. До нынешнего времени подобной возможности не предусматривалось ни в одном из вариантов ультразвуковых систем. Означенная технология предусматривает простое переключение режимов при помощи панели управления. Такой расширенный спектр возможностей предполагает более детальный вариант диагностики.

Сегодня такие датчики дороги и относительно ненадежны, однако создание новых пьезоматериалов и совершенствование технологии решат эти проблемы в будущем. Потенциал у технологии большой [6, 7].

### Библиографический список

1. **Фролова, Т. А.** Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова ; под общ. ред. В. А. Немтинова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 т. ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4, Т. 3. – С. 123 – 128.
2. **Быков, М. В.** Ультразвуковые исследования в обеспечении инфузионной терапии в отделениях реанимации и интенсивной терапии / М. В. Быков. – Тверь : ООО «Издательство «Триада», 2011. – 36 с.
3. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.
4. **Блют, Э. И.** Б21 Ультразвуковая диагностика. Практическое решение клинических проблем / Э. И. Блют : пер. с англ. – М. : Мед. лит., 2010. – 176 с.
5. **Фролова, М. С.** Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.
6. **Фролов, С. В.** Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.
7. **Фролова, М. С.** Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Специальный выпуск 52. – С. 106 – 111.

## ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ АППАРАТОВ ЭКГ

*И. А. Сладкова*

*Тамбовский государственный технический университет*

Сегодня нельзя встретить медицинское учреждение, в которых отсутствуют электрокардиографы. Электрокардиограф представляет собой специальное медицинское устройство, который фиксирует параметры работы сердца за счет использования датчика, который преобразует поступающий сигнал в систему для последующей регистрации.

Современные модели электрокардиографов – это полностью электронные приборы. В целях измерения разности потенциалов при работе электрокардиографа на разные места человеческого тела накладываются специальные электроды. В местах контакта на кожу наносится специальный токопроводящий гель, поскольку слабый электрический контакт между кожей и электродами способствует образованию помех. Для получения более качественного результата электрокардиограммы в современных устройствах используются особые фильтры, которые вносят определенные искажения в получаемом сигнале, но дают возможность значительно уменьшить эффект плавающей изолинии, исключают сетевые наводки и артефакты, которые зависят от мышечной активности. За последние несколько десятилетий габариты кардиографов значительно уменьшились, приборы стали многоканальными и более безопасными для пациентов. Они были оснащены функциями автоматического анализа кардиограмм, компактными термопринтерами и интерфейсами для обмена данными с компьютерами.

На рынке медицинского оборудования электрокардиограф можно выбрать по следующим критериям:

По условиям эксплуатации выделяют две основных группы для диагностики сердца данным методом:

- 1) стационарные электрокардиографы;
- 2) переносные электрокардиографы.

По возможности обработки поступательного сигнала, также можно выделить две группы:

- 1) автоматические;
- 2) ручные.

Электрокардиографы различаются также по типу регистрации:

- 1) с термопринтером, имеющим тепловой писчик;
- 2) с механическим регистратором и чернильным писчиком;

- 3) с механическим регистратором и копировальной бумагой;
- 4) с регистратором капиллярного типа;
- 5) с регистратором на основе ПК.

По количеству одновременно регистрируемых каналов электрокардиографы разделяются на следующие группы.

1. Одноканальный.
2. Трехканальные.
3. Шестиканальные.
4. Двенадцатиканальные.

Электрокардиограф AsCARD Grey – трех/шести/двенадцати канальный аппарат, имеющий кабель на 12 отведений, предназначенный для проведения обученным персоналом обследований ЭКГ взрослых и детей во всех подразделениях службы здравоохранения. Аппарат оснащен термическим принтером с высокочувствительной головкой, а также графическим ЖК-дисплеем TFT, сенсорной панелью и мембранной буквенно-цифровой клавиатурой с функциональными клавишами. Электрокардиограф имеет небольшие габариты 258×199×50 и вес 1,3 кг, что позволяет без труда транспортировать прибор. Питание аппарата осуществляется через сеть переменного тока или аккумулятор. Время работы от аккумулятора 6,5 часов. Аппарат имеет связь с ПК, что является преимуществом. С помощью данного прибора возможно провести до 130 автоматических обследований в режиме работы от аккумуляторов.

Несмотря на имеющиеся результаты в развитии электрокардиографов, их нужно совершенствовать, Это повлияет на качество диагностики и упростит работу медицинского персонала.

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ УЗИ-ИЗОБРАЖЕНИЙ**

*И. А. Сладкова*

*Тамбовский государственный технический университет*

Ежегодно ультразвуковое обследование проходит около 60 млн. человек по всему миру. Их число с каждым годом увеличивается. Исследование заняло прочное положение среди других методов лучевой диагностики.

Популярности ультразвуковой диагностики среди медицинского персонала и пациентов способствует следующий ряд факторов:

- достоверность получаемых результатов с высоким процентом совпадений (до 85...100%);
- возможность исследования в режиме реального времени;
- доступность исследования, благодаря простоте процедуры и неинвазивности;
- безвредность (по клиническим и экспериментальным данным не выявлено достоверных патологических изменений в тканях после кратковременного УЗ-воздействия);
- возможность получения ценной диагностической информации во многих областях медицины. Область применения ультразвуковой диагностики постоянно расширяется;
- низкая себестоимость исследования по сравнению с большинством методов лучевой диагностики.

Несмотря на то, что место и значение ультразвуковой диагностики в медицине не вызывает сомнений, нельзя переоценивать ее, потому что любой метод имеет свои ограничения.

Ультразвуковому методу присущи некоторые недостатки:

- существенные ограничения в исследовании ряда органов и систем (легкие, внутренняя костная структура, головной мозг у взрослых, кишечник, заполненный газом); – зависимость качества получаемого изображения от класса аппарата;
- субъективность в интерпретации получаемых изображений, т.е. зависимость точности диагностики от квалификации врача;
- плохая демонстративность застывших изображений, и, соответственно, относительно низкие возможности в документировании изображений;
- невысокое пространственное разрешение.

При устранении последнего недостатка появится возможность приблизить точность УЗИ-скринингов к точности изображений, получаемых с помощью МРТ и КТ-аппаратов.

Получаемое в результате ультразвуковой диагностики изображение – это копии пространственных характеристик реальных объектов – анатомических и патологических образований. Пространственное разрешение изображений тесно связано с количеством содержащихся в них пикселей. Чем больше пикселей содержит изображение, тем лучше его качество. При обработке изображений, в частности при изменении его размера, оно может деформироваться – появляется зубчатость контуров, пропадают мелкие детали. Недостаточно высокое пространственное разрешения затрудняет диагностирование мелких структур и может привести к некорректной постановке диагноза.

На сегодняшний день тема повышения пространственного разрешения получаемых изображений является актуальной.

Повышение разрешения позволит обнаружить патологические образования на начальных стадиях, поспособствует улучшению качества диагностики, повысит четкость визуализации, что может привести к значительному расширению диагностических способностей ультразвукового метода и повысит возможность изучения макроструктуры органов.

## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ИАД-1

*М. О. Становских*

*Тамбовский государственный технический университет*

Требования, предъявляемые к любой измерительной аппаратуре, имеют общие характеристики: точность измерения, воспроизводимость, простота и удобство в обслуживании, удобная форма регистрации полученных данных, оптимальное соотношение цена – качество, экологическая безопасность [1 – 7]. В отношении к аппаратам, измеряющим уровень АД, данное положение в будущем предполагает отказ от использования ртутных тонометров, возрастание процента использования автоматических аппаратов, действующих по принципу «нажатия одной кнопки», и разработку новых методов контроля АД.

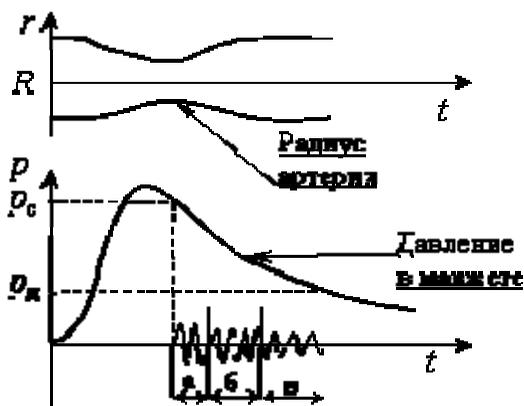


Рис. 1. Соотношения между изменениями давлением

При снижении в манжете давления начинают прослушиваться отчетливые тоны (участок *a* на рис. 1). Эти тоны обусловлены вибрацией стенок артерии непосредственно за манжетой под действием мощных толчков крови, которые проходят сквозь сжатый манжетой участок сосуда только в моменты систолы сердца.

При дальнейшем снижении давления в манжете тоны дополняются шумами (участок *b* на рис. 1). Эти шумы обусловлены турбулентным течением крови через частично сжатый манжетой участок артерии. Затем шумы уменьшаются и в фонендоскопе вновь прослушиваются чистые тоны (участок *b* на рис. 1). Эти тоны быстро затухают, в артерии устанавливается ламинарное течение крови. Показание манометра в момент резкого ослабления тонов соответствует диастолическому давлению.

### Библиографический список

1. **Фролов, С. В.** Выбор модели потоконаправляющего стента на основе использования когерентной оптической томографии и математического моделирования гемодинамики / С. В. Фролов, А. Ю. Потлов, С. В. Синдеев // Медицинская техника. – 2017. – № 6. – С. 4 – 7.

2. **Куликов, Р. А.** Новые технологии в ультразвуковой диагностике / Р. А. Куликов, С. В. Фролов : отв. ред. Т. И. Чернышова // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы IV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. Тамбов, 10 – 12 июля 2017 г. Министерство образования и науки Российской Федерации; Российский фонд фундаментальных исследований ; ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2017. – С. 481–482.

3. **Синдеев, С. В.** Система поддержки принятия решений врача при оценке предоперационного состояния больных с острыми нарушениями мозгового кровообращения / С. В. Синдеев, С. В. Фролов, А. Ю. Потлов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 581 – 588.

4. **Фролов, С. В.** Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.

5. **Четырехкамерная** модель сердечно-сосудистой системы человека / С. В. Фролов, С. В. Синдеев, В. А. Лищук и др. // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2012. – № 2(40). – С. 51 – 60.

6. **Фролов, С. В.** Региональная информационная система мониторинга здоровья школьников / С. В. Фролов, М. А. Лядов, И. А. Комарова // Врач и информационные технологии. – 2011. – № 6. – С. 24 – 33.

7. **Современные** тенденции развития рынка медицинских информационных систем / С. В. Фролов, С. Н. Маковеев, С. В. Семенова, С. Г. Фареев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 266 – 272.

## **ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ**

*А. Ю. Степина*

*Тамбовский государственный технический университет*

Уникальные свойства рентгеновского излучения – его высокая разрешающая и большая проникающая способности, возможность неразрушающего контроля – определяют широкий круг исследовательских и диагностических задач, решаемых с применением рентгеновских лучей в различных областях науки и техники.

В то же время, потенциал рентгеновского излучения используется далеко не полностью в значительной степени из-за ограниченных возможностей оперативного управления такими параметрами рентгеновского пучка, как длина волны, угловое и пространственное положение, фокусировка, сходимость.

В настоящее время управление рентгеновским экспериментом осуществляется с помощью прецизионных устройств и механизмов, позволяющих с высокой точностью ( $<1''$ ) поворачивать и устанавливать кристалл относительно падающего на него рентгеновского пучка. Именно механическое управление ограничивает возможности использования рентгеновского излучения и связано это, в первую очередь, с низкой скоростью перестройки рентгенооптической схемы. В связи с этим разработка методов немеханического управления представляется крайне актуальной.

Возможность относительно простого возбуждения в кристаллах ультразвуковых колебаний и изменения в широких пределах их параметров, создает условия контролируемого управления пространственно-временной структурой дифрагированного рентгеновского пучка на основе модуляции параметра кристаллической решетки. Ультразвуковое управление позволяет с высокой точностью и скоростью, на несколько порядков превышающей скорость механических систем, перестраивать рентгенооптическую схему.

Электрическое поле – еще один способ контролируемого воздействия на кристаллическую структуру, который позволяет создавать условия объемной статической и динамической деформации кристаллической решетки с высокой степенью однородности по кристаллу. Такую деформацию кристаллической решетки также можно эффективно использовать для управления рентгеновской дифракцией в кристаллах.

Внешние воздействия (такие как ультразвук или электрическое поле) могут приводить и к необратимым изменениям кристаллической структуры, к появлению или размножению дефектов, образованию доменов и т.д., что может существенно изменить свойства самого материала, используемого в качестве рабочего рентгенооптического элемента. В связи с этим востребованы методы прецизионного рентгеновского контроля изменений в дефектной структуре кристаллических материалов как находящихся в нормальных условиях, так и в условиях внешних воздействий. Применение фазочувствительных методов, таких как многоволновая дифракция, вместе с методами, чувствительными к изменениям параметра кристаллической решетки, может дать существенный выигрыш в информативности и чувствительности рентгеновских методов.

Таким образом, развитие методов рентгеновской дифракционной диагностики конденсированных сред в условиях динамических воздействий позволит реализовать немеханическое управление пространственными и спектральными параметрами рентгеновского излучения, т.е. вывести рентгеновскую диагностику на совершенно новый уровень исследований.

### Библиографический список

1. **Фролов, С. В.** Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.
2. **Современные** тенденции развития рынка медицинских информационных систем / С. В. Фролов, С. Н. Маковеев, С. В. Семенова, С. Г. Фареев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 266 – 272.
3. **Фролова, М. С.** Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19(3). – С. 553 – 561.
4. **Фролов, С. В.** Мировые проблемы при выборе медицинского изделия для учреждения здравоохранения / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Менеджер здравоохранения. – 2013. – № 11. – С. 50 – 61.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ

*Д. Е. Судаков*

*Тамбовский государственный технический университет*

Электроэнцефалограмма представляет собой сложный колебательный электрический процесс, который может быть зарегистрирован при расположении электродов на мозге или на поверхности скальпа, и является результатом электрической суммации и фильтрации элементарных процессов, протекающих в нейронах головного мозга.

Регистрация ЭЭГ производится при помощи электроэнцефалографа через специальные электроды. ЭЭГ-сигнал преобразовывается с помощью АЦП и записывается в файл на компьютере. Запись потенциалов с каждого электрода осуществляется относительно нулевого потенциала референта.

В ходе нашей работы были обработаны сигналы ЭЭГ с участка коры головного мозга, отвечающего за зрительную информацию.

В результате мы получаем значения интервалов, на которых производится движение глазного яблока. Обозначим движение вверх цифрой «1», а движение вниз цифрой «2», найдем средние значения амплитуд до, во время и после движения глазного яблока. Занесем получившиеся значения в табл. 1.

Движениям глазного яблока соответствуют резкие скачки амплитуды. Резкое увеличение для движения вверх и резкое уменьшение для движения вниз.

Значения данных интервалов используем для обучения искусственной нейронной сети (НС), которая будет автоматически распознавать заранее заданные движения глазного яблока.

**Таблица 1**

Момент времени	Среднее значение амплитуды
До движения 1	-11,0307
Во время движения 1	2,6611
После движения 1	-5,1135
До движения 2	8,2176
Во время движения 2	-2,0633
После движения 2	9,0264

НС построена по принципу персептрона. Персептрон представляет собой сеть, состоящую из элементов с переменной матрицей взаимодействия, определяемой последовательностью прошлых состояний активности сети. Обучение персептрона реализуется методом коррекции ошибки.

На выходе обучаемой НС формируется вектор, число элементов вектора (число выходов нейронной сети) соответствует числу особенностей, предусмотренных для выявления устройством. Каждый элемент – это оценка наличия определенного движения глазного яблока. В случае, когда было выделено и проанализировано несколько векторов, которые поступили на вход обучаемой НС, результаты анализа суммируются (поэлементно) и суммарные элементы умножаются на весовой коэффициент. Значение весового коэффициента определяется на момент отладки устройства, реализующего данный способ. На основе полученного вектора формируется матрица заключения. Она содержит две строки и число столбцов, равное числу потенциально возможных особенностей.

Первая строка содержит номера возможных движений глазного яблока. Вторая строка содержит оценку наличия или отсутствия этой особенности, полученную с выходов обучаемой НС и занесенную в матрицу результатов в порядке соответствия значениям первой строки. Таким образом, матрица результатов содержит все типы движений глазного яблока в первой строке и соответствующую оценку их наличия в ЭЭГ записи – во второй.

### **Библиографический список**

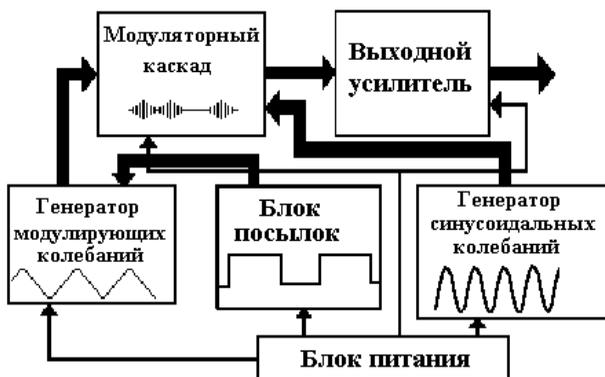
1. **Судаков, Д. Е.** Модель электронного глаза человека с использованием искусственной нейронной сети / Д. Е. Судаков, В. В. Дубровин // Энергосбережение и эффективность в технических системах. – 2016. – С. 521–522.
2. **Фролова, М. С.** Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 4. – С. 139 – 145.
3. **Дубровин, В. В.** Аппаратно-программные средства повышения точности медицинских приборов на основе нейронных сетей / В.В. Дубровин, И. С. Рязанов, О. О. Голубятников // Математические методы в технике и технологиях. – Т. 27, № 3. – 2014. – С. 131–132.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВОЗДЕЙСТВИЯ СИНУСОИДАЛЬНЫМИ ТОКАМИ НА ПРИМЕРЕ АППАРАТА ФИЗИОТЕРАПИИ «АМПЛИПУЛЬС»

*А. Д. Тесленко, К. М. Баух*

*Тамбовский государственный технический университет*

Сущность амплипульстерапии заключается в использовании с лечебной целью переменного синусоидального тока. Переменный ток частоты 5 кГц проходит в ткани без выраженного раздражения кожных рецепторов, а под электродами не появляется ощущения жжения. На аппаратах такого типа параметры тока зависят от выраженности болевого синдрома: для лечения используют I, III, IV рода работы; чем острее боль, тем большую частоту и меньшую глубину модуляции используют в методиках лечения [1].



**Рис. 1** Структурная схема аппарата Амплипульс-4

Синусоидальные модулированные токи оказывают на человека следующее воздействие: обезболивающий эффект; разрывается круг «очаг боли – нервная система – очаг боли»; улучшается крово- и лимфообращение, проницаемость тканей, усвоение ими веществ; стимулирует сокращение мышц при их атрофии и парезе; повышается тонус мышечного каркаса; активация регенерации пораженных недугами клеток [2].

Рассмотрены аппараты: аппарат Амплипульс-4 (Россия), аппарат низкочастотной физиотерапии АФТ СИ-01 (Россия), аппарат для электротерапии BTL-4610 PULSTOPLINE (Великобритания), аппарат электротерапии Endomed 482 new (Нидерланды). В результате анализа тех-

нических характеристик видно, что самым эффективным аппаратом является аппарат низкочастотной физиотерапии АФТ СИ-01. Аппарат нового поколения имеет разнообразные режимы и модуляции токов несущей частоты, является самым эффективным и самым лучшим из представленных аппаратов.

### Сравнительная таблица технических характеристик

	Амплипульс-4 (Россия)	АФТ СИ-01 (Россия)	BTL-4610 PULSTOPLINE (Велико- британия)	Endomed 482 new (Нидерланды)
Частоты модуляции, Гц	30,50, 70, 80, 100, 150	10...150 дискретность 10 Гц	–	–
Габаритные размеры, мм	389×173×393	200×120×80	160×140×350	240×320×120
Глубина модуляции, %	0; 50; 75; 100	0, 25, 50, 75, 100, более 100	–	–
Потребляемая мощность, Вт	40	12	100...240	30
Вес, кг	7,5	0,4	3	2
Цена, р.	24 300	74 700	114 900	271 975

Физиотерапия активно развивается. На сегодняшний день существует масса различных методов, которые позволяют благотворно влиять как на организм в целом, так и на локальные проблемные места. Помимо применения в медицине данные аппараты стали применять и в других областях, например, в косметологии для эстетической коррекции внешности.

### Библиографический список

1. **Фролов, С. В.** Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.
2. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

3. **Проскурин, С. Г.** Визуализация кровеносных сосудов при помощи оптической когерентной томографии / С. Г. Проскурин, С. В. Фролов // Медицинская техника. – 2012. – № 3. – С. 9 – 14.

4. **Фролова, М. С.** Разработка информационной модели медицинского прибора на примере биохимического анализатора / М. С. Фролова, Т. А. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 124 – 132.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАРКОЗНО-ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

*А. П. Толмачев*

*Тамбовский государственный технический университет*

Наркозно-дыхательная аппаратура (НДА) входит в оборудование практически любой городской или областной больницы. Она также широко используется в родильных домах, зубоврачебных кабинетах, в поликлиниках и здравпунктах, машинах скорой помощи и самолетах санитарной авиации [1 – 3].

Аппараты ИВЛ применяются в тех многочисленных случаях, когда требуется на более или менее длительный срок заменить или поддержать самостоятельное дыхание пациента в случаях нарушения герметичности грудной клетки, прекращения нормальной деятельности дыхательной мускулатуры или нарушения в управлении последней со стороны центральной нервной системы. Высокая эффективность сделали ИВЛ решающим методом лечения в вышеперечисленных и ряде других случаев.

Аппараты ИН применяются в тех случаях когда во время хирургических вмешательств или терапевтических процедур требуется обезболивание с сохранением или управляемым отключением сознания пациента.

НДА применяется у новорожденных, детей, взрослых пациентов. При этом набор функциональных параметров и их количественные значения могут существенно различаться как для различных условий применения, так и для применения у пациентов определенного возрастного диапазона.

Таким образом круг пациентов, подвергающихся воздействию НДА, достаточно широк, условия, в которых они применяются очень разнообразны.

Между тем устройство НДА достаточно сложно. В ней используются для привода и управления электроэнергия или сжатые газы, в том числе кислород, силовые движущиеся части, прецизионные массо- и теплообменные устройства, многообразные измерительные устройства, а также разнообразные алгоритмы управления. От НДА требуется высокая надежность и большой ресурс работы. Применение НДА в «острых» условиях хирургии, анестезии, реанимации и интенсивной терапии предъявляет к аппаратам специфические требования по организации управления их работой, наличию необходимого минимума средств измерений, аварийной сигнализации, исключению перекрестного инфицирования пациента через аппаратуру, наличию специальных средств обеспечения безопасности пациента и медицинского персонала. Эти проблемы вызывают необходимость системного анализа и комплексного подхода к созданию и организации производства.

Многообразие областей применения аппаратов ИВЛ, вытекающее из этого многообразия требований к ним диктует необходимость перспективной номенклатуры аппаратов и их функциональных характеристик, учета постоянно обновляющихся и развивающихся медицинских методик ИВЛ.

При формировании параметров аппаратов ИВЛ и целесообразном распределении их в конкретных моделях аппаратов, в зависимости от назначения и места применения мы выделяли 4 группы функций и параметров: обязательные, обеспечения безопасности, индивидуальные для данной модели, и дополнительные.

Анализ перечисленного комплекса параметров позволяет выбирать основные параметры для конкретной модели аппарата с учетом: уровня медицинского учреждения, где он применяется; вида и продолжительности ИВЛ, обеспечиваются данной моделью аппарата; обеспечения мер безопасности для определенного набора опасных ситуаций, могущих возникнуть в данной сфере применения аппарата; материальных возможностей данной группы медицинских учреждений; возможно высокой степени унификации между моделями аппаратов.

### **Библиографический список**

1. Синдеев, С. В. Система поддержки принятия решений врача при оценке предоперационного состояния больных с острыми нарушениями мозгового кровообращения / С. В. Синдеев, С. В. Фролов, А. Ю. Потлов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 581 – 588.

2. **Фролов, С. В.** Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врачи и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.

3. **Четырехкамерная** модель сердечно-сосудистой системы человека / С. В. Фролов, С. В. Синдеев, В. А. Лишук и др. // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2012. – № 2(40). – С. 51 – 60.

## **АНТРОПОМОРФНЫЙ ФАНТОМ С КРОВОТОКОМ ДЛЯ ЛАПАРОСКОПИЧЕСКОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО СКАНИРОВАНИЯ**

*Т. М. Тымчук, Н. В. Венцера*

*Тамбовский государственный технический университет*

Лапароскопическое ультразвуковое сканирование – это методика, сочетающая принципы интраоперационной контактной ультрасонографии и лапароскопии. Интраоперационная лапароскопия применялась в клинике в различных ситуациях, однако наибольшую популярность она приобрела у хирургов, выполняющих операции на печени и желчевыводящей системе. Ультразвуковая лапароскопия имеет определенные преимущества вследствие непосредственного контакта ультразвукового датчика с исследуемыми тканями [2].

Такие операции являются сложным вмешательством для хирурга, так как опухоли трудно локализовать и необходимо найти оптимальную границу резекции, чтобы избежать повреждения сосудов вблизи опухоли [4]. Лапароскопический ультразвук обеспечивает визуализацию в реальном времени в операционной, включая визуализацию кровотока. Актуальной задачей считается разработка антропоморфного фантома для тестирования такого оборудования [1]. Данный фантом должен содержать анатомически реалистичную систему кровеносных сосудов, а также модель для тренировки локализации патологических очагов.

В настоящее время существуют доступные на рынке фантомы печени с моделями опухолей и структурами кровеносных сосудов, но они не обеспечивают функциональность кровотока. Большинство из них были разработаны для исследования компьютерной томографии, МРТ. Разработка мультимодального фантома, основанного

на реальной анатомии человека, смогла бы упростить исследование лапароскопического оборудования.

Для создания подобного фантома возможно использование отливки с использованием расплавленного воска и полимеров [3]. Расплавленный воск вводится одновременно в печеночные вены человека. При затвердевании воска окружающая печеночная ткань растворяется, оставляя слепок сосудов. Отливка помещается вместе с различными моделями опухолей в форму печени, которая впоследствии заполняется полимером. После того как воск затвердеет, он расплавляется и вымывается из модели, тем самым создавая систему взаимосвязанных каналов, воспроизводящих главную сосудистую сеть исходной печени. Таким образом, жидкость может циркулировать через модель, чтобы точно имитировать естественный кровоток.

Подобный метод создания длительного искусственного фантома печени основан на реальной анатомии органов, позволяет наблюдать функциональность кровотока. Фантом в равной степени подходит для выполнения диагностических процедур, так и для высокопроизводительных минимально инвазивных хирургических навигационных процедур, требующих нескольких методов визуализации одновременно, таких как лапароскопический ультразвук. Такой фантом можно использовать для клинического обучения, а также для разработки и тестирования технологических систем. Он может заменить эксперименты на животных и превосходит компьютерное моделирование как для простой клинической диагностики, так и для высокопроизводительных хирургических процедур, ограниченных одним органом.

### Библиографический список

1. **Тучин, В. В.** Оптика биологических тканей. Методы рассеяния света в медицинской диагностике / пер. с англ. ; под ред. В. В. Тучина. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2013. – С. 812.
2. **Rethy A., Langø T., Mårvik R.** Laparoscopic Ultrasound for Hepatocellular Carcinoma and Colorectal Liver Metastasis: an overview // Surg Laparosc Endosc Percutaneous Tech. – 2013. – № 23(2). – P. 135 – 144.
3. **Kyoto, Kagaku.** Co., Ltd. (2017) IOUSFAN, Abdominal Intraoperative & Laparoscopic Ultrasound Phantom. – 2017.
4. **Potlov, A. Yu.** Localization of Inhomogeneities in Diffuse Optical Tomography Based on Late Arriving Photons / A. Yu. Potlov, S. V. Frolov, S. G. Proskurin // Optics and Spectroscopy. – 2016. – V. 120. – № 1. – P. 9 – 19.

## ТКАНЕИМЕТИРУЮЩИЕ ФАНТОМЫ НА БАЗЕ МИКРОФЛЮИДНЫХ УСТРОЙСТВ

*Т. М. Тымчук, Н. В. Венцера*

*Тамбовский государственный технический университет*

Динамические фантомы биологических тканей позволяют имитировать не только их структуру, но и функциональные особенности. Такие фантомы с той или иной степенью достоверности характеризуют сосудистую систему имитируемой ткани, причем имеется возможность прокачки кровезаменяющей жидкости по искусственной сети капилляров. Основой для формирования подобных фантомов могут служить микрофлюидные (микрожидкостные) устройства [1 – 4].

Нарушение кровотока, изменение содержания кислорода в сосудах, другие патологические факторы могут быть связаны с такими серьезными заболеваниями, как диабет или рак. Поэтому визуализация капиллярных структур, мониторинг и оценка кровотока в сосудистой сети являются актуальными направлениями в биомедицинских исследованиях.

Калибровка и проверка медицинских систем, работающих на базе методов, направленных на мониторинг потока, проводится в основном с простыми фантомами, имитирующими один или два кровеносных сосуда [4]. Такие фантомы чаще всего представляют собой одну или две стеклянные капиллярные трубки, погруженные в рассеивающую среду. Такая модель довольно проста в изготовлении и использовании, однако достоверность получаемых результатов будет оставляющей желать лучшего.

Более достоверным подходом к формированию фантомов, моделирующих поверхностную сеть сосудистой сети, является использование микрофлюидики [3, 4]. Такие системы используются для имитации поверхностных капилляров сетчатки, сосудистой сети слизистой оболочки полости рта и т.п. Мягкая литография является одним из наиболее распространенных методов изготовления микрожидкостных устройств, в котором мастер-форма с положительным рельефом используется для быстрого тиражирования микрофлюидного рисунка с полимерным или эластомерным материалом. Изготовление литейной формы является основным этапом моделирования, но этот этап весьма трудоемок.

Другим методом изготовления микрофлюидных устройств является лазерная микрообработка [3]. Традиционные технологии изготов-

ления микрожидкостных изделий, такие как горячее тиснение, требуют проектирования и изготовления литейной формы. Поскольку изготовление этой мастер-формы часто выполняется с использованием фотолитографии, может потребоваться изготовление фотошаблона. Поэтому, подобное изготовление микрофлюидных изделий занимает большое количество времени и не дает возможности вносить изменения в уже имеющуюся структуру. Лазерная же микрообработка обеспечивает точную технологию изготовления, позволяющую вносить изменения в конструкцию и испытывать их за считанные часы или в некоторых случаях минуты. Лазерная микрообработка является идеальной техникой для быстрого прототипирования микрофлюидных структур.

Таким образом, из перечисленных методов формирования динамического фантома, оптимальным является лазерный подход к его изготовлению, так как имеется возможность создавать динамические фантомы на базе микрофлюидных устройств со сложной, многослойной геометрией, которые имитируют сосудистые сети за короткий период времени с использованием недорогих коммерчески доступных материалов.

### Библиографический список

1. **Тучин, В. В.** Оптика биологических тканей. Методы рассеяния света в медицинской диагностике / пер. с англ. ; под ред. В. В. Тучина. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2013. – С. 812.
2. **Potlov A. Yu.** Forward Problem of Time-Resolved Diffuse Optical Tomography Considering Biological Tissue Deformation : Chapter of the Multi-authored Monograph “Computational Biomechanics for Medicine” / T. I. Avsievich, S. V. Frolov, S. G. Proskurin. – Switzerland : Springer International Publishing, 2016. – P. 51.
3. **Long the Luu.** Microfluidics Based Phantoms of Superficial Vascular Network / Patrick A. Roman, Scott A. Mathews and Jessica C. Ramella-Roman / Biomedical optics express, 2012. – P. 1350 – 64.
4. **Dunn, A. K.** Dynamic Imaging of Cerebral Blood Flow Using Laser Speckle / H. Bolay, M. A. Moskowitz, and D. A. Boas / J. Cereb. Blood Flow Metab, 2001. – P. 195 – 201.

## ПРЕИМУЩЕСТВА МЕТОДА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИИ

*М. В. Филатов*

*Тамбовский государственный технический университет*

Среди очевидных преимуществ метода количественной электроэнцефалографии можно назвать следующие ее возможности: многократное воспроизведение записи ЭЭГ с разным усилением и разной временной разверткой («скоростью»); прямое и обратное «сканирование» отдельных фрагментов записи для определения фокусов патологической активности; преобразование монополярно записанного фрагмента ЭЭГ в любые биполярные монтажи; автоматическое или ручное устранение артефактов записи, что особенно важно при ЭЭГ-обследовании детей младшего возраста, а также пожилых и беспокойных психически больных; запись очень детализированных, многоканальных или очень длительных фрагментов ЭЭГ, анализ низкоамплитудных видов ЭЭГ-активности и узких частотных полос внутри традиционных частотных диапазонов ЭЭГ, количественной оценки сходства и различия активности в разных отведениях, что было практически недоступно при визуальном анализе ЭЭГ.

Все эти преимущества позволяют существенно сократить время записи, резко повышают вероятность выявления отклонений ЭЭГ от «нормы» и точность определения источников патологической ЭЭГ-активности.

Кроме того, метод количественной электроэнцефалографии обеспечивает сравнение индивидуальных ЭЭГ с коммерческими или созданными самим пользователем базами нормативных данных (возрастной нормы, разных видов патологии и т.п.) с целью дифференциально-диагностических уточнений, динамический мониторинг ЭЭГ в процессе лечения с объективной количественной оценкой влияния психофармпрепаратов на функциональное состояние мозга – количественная фармако-ЭЭГ, хранение огромных объемов ЭЭГ-информации в виде пачки миниатюрных дискет или компакт-дисков. Результаты количественного анализа ЭЭГ могут быть выданы не только в форме таблиц, но и в виде наглядной цветной «карты мозга». Эти карты удобно сравнивать с результатами разных методов компьютерной томографии – рентгеновской, ядерно-магнитно-резонансной и позитронно-эмиссионной, а также с оценками локального мозгового кровотока и данными нейropsychологического тестирования. Тем самым создается возмож-

ность прямо сопоставлять структурные и функциональные нарушения деятельности мозга.

Важным шагом в развитии количественной электроэнцефалографии явилось создание программного обеспечения для определения внутримозговой локализации дипольных источников наиболее высокоамплитудных компонентов ЭЭГ. Последним достижением в этой области является разработка программы, совмещающей магнитно-резонансные и электроэнцефалографические карты мозга конкретного человека с учетом индивидуальной формы черепа и топографии мозговых структур. В зависимости от конкретной клинической или исследовательской задачи можно рекомендовать использование нескольких основных вариантов компьютерного анализа ЭЭГ и построения ЭЭГ-карт мозга.

Кроме того, при использовании методов компьютерного анализа и топографического картирования ЭЭГ исследователю требуются дополнительные знания и навыки: понимание нейрофизиологической природы первичных параметров ЭЭГ, подвергающихся анализу; знание принципов преобразования ЭЭГ-сигнала, лежащих в основе картирования; навыков операторской работы на ЭВМ; знание различных методов математической статистики. Только такое квалифицированное использование метода топографического ЭЭГ-картирования ведет к существенному повышению информативности электроэнцефалографии в функциональной диагностике нервно-психических расстройств.

### Библиографический список

1. **Синдеев, С. В.** Система поддержки принятия решений врача при оценке предоперационного состояния больных с острыми нарушениями мозгового кровообращения / С. В. Синдеев, С. В. Фролов, А. Ю. Потлов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 581 – 588.

2. **Фролов, С. В.** Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.

3. **Четырехкамерная** модель сердечно-сосудистой системы человека / С. В. Фролов, С. В. Синдеев, В. А. Лищук и др. // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2012. – № 2(40). – С. 51 – 60.

## МЕТОДЫ МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С БОЛЕЗНЬЮ ПАРКИНСОНА НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОСОНОТЕРАПИИ

*А. П. Филимонова*

*Тамбовский государственный технический университет*

По данным исследования министерства здравоохранения Российской Федерации болезнь Паркинсона занимает первое место среди нейродегенеративной патологии. [1]. Поэтому подход к лечению этого медленно прогрессирующего хронического неврологического заболевания должен быть комплексным. Из вышесказанного можно сделать вывод, что методы медицинской реабилитации включают не только базовую лекарственную терапию, хирургические методы лечения, но и методы физиотерапии, рефлексотерапии, лечебной физкультуры, логопедии и психотерапии. А из физических факторов назначают бальнеотерапию, теплогрязелечение, импульсные токи, электрофорез, электростатическое поле, сверхвысокочастотную терапию, светолечение, баротерапию, а так же интересующий нас электросон [1].

Применение физических факторов как одного из методов лечения этого заболевания привлекает многих специалистов, так как физиотерапия имеет большой выбор различных методов лечения, не вызывает осложнений, аллергических реакций и хорошо переносится больными [5].

Электросон – это метод электротерапии, в основе которого лежит использование импульсных токов низкой частоты. Они оказывают непосредственное воздействие на центральную нервную систему. При этом вызывается ее торможение, приводящее ко сну [2].

При воздействии электросна наибольшее влияние оказывается на подкорково-стволовые образования головного мозга [6], при этом изменяется функциональное состояние этих структур, за счет выработки Р-эндорфинов корректируются иммунные нарушения. Также есть сведения об исчезновении или уменьшении основных проявлений заболевания во время сна [7].

Процедуры электросна проводят по глазнично-затылочной методике с частотой 10 Гц, время воздействия обычно составляет от 15 до 40 мин, ежедневно или через день, курс лечения включает 12 процедур [3]. Электросон назначается пациентам со смешанными формами заболевания при наличии депрессивной симптоматики и когнитивных нарушений [1].

Также для получения лучших результатов проводят комбинированный метод воздействия, который включает применение на первом этапе электрического поля высокой УВЧ, на втором – назначение процедур электросна. Метод применяется с целью усиления влияния физических факторов различной природы на клинические проявления этого заболевания. Метод комбинированного воздействия назначается больным со смешанными формами заболевания, нарушениями в когнитивной сфере [1].

Технические характеристики малогабаритного электротерапевтического аппарата «Мета – 1» позволяют использовать его в качестве аппарата для электросна [4].

### Библиографический список

1. **Фролов, С. В.** Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.
2. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.
3. **Проскурин, С. Г.** Визуализация кровеносных сосудов при помощи оптической когерентной томографии / С. Г. Проскурин, С. В. Фролов // Медицинская техника. – 2012. – № 3. – С. 9 – 14.
4. **Фролова, М. С.** Разработка информационной модели медицинского прибора на примере биохимического анализатора / М. С. Фролова, Т. А. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 124 – 132.
5. **Интеграция** медицинской техники в информационную систему лечебно-профилактического учреждения / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин, В. Ю. Ошурков // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 3(53). – С. 68 – 80.
6. **Фролова, М. С.** Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19(3). – С. 553 – 561.
7. **Фролов, С. В.** Мировые проблемы при выборе медицинского изделия для учреждения здравоохранения / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Менеджер здравоохранения. – 2013. – № 11. – С. 50 – 61.

# **ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ**

***В. О. Черешнев***

*Тамбовский государственный технический университет*

Оптическая когерентная томография (ОКТ) – неинвазивная методика исследования внутренней структуры объекта, основанная на принципах низкокогерентной интерферометрии. ОКТ нашла свое применение во многих прикладных и научно-исследовательских задачах. Использование оптического излучения ближнего инфракрасного диапазона (длина волны источника, как правило, составляет 700...1500 нм) с малой когерентностью позволяет визуализировать внутреннюю структуру исследуемого образца с высоким пространственным разрешением [1].

Быстродействие систем ОКТ определяется несколькими факторами: энергетическими характеристиками источника излучения и степенью рассеяния среды, эффективностью извлечения информации по всей глубине исследуемого объекта, средствами регистрации, преобразования и обработки информации.

С точки зрения повышения быстродействия, основной характеристикой источника излучения является его мощность. При высокой мощности требуемое отношение сигнала к шуму достигается в течение малого интервала времени. Однако в ряде случаев, в частности, в офтальмологии, допустимая мощность излучения ограничена уровнем, безопасным для органов зрения человека, поэтому становится особенно важной эффективность извлечения полезной информации за минимальное время [2].

В рассматриваемом случае определенные преимущества в быстродействии могут быть обеспечены при использовании методов спектральной интерферометрии. Особенность метода спектральной интерферометрии состоит в том, что информация о степени отражения излучения по всей глубине среды содержится в результирующем спектре в виде периодических составляющих, частота каждой из которых соответствует глубине расположения слоя в среде. При этом информация о всем объекте регистрируется одновременно, поскольку не требуется операция селекции слоев по глубине за счет перемещения опорного отражателя интерферометра [3].

Следует заметить, что разрешающая способность метода спектральной интерферометрии ограничена, с одной стороны, разрешающей способностью спектрального прибора и, с другой стороны, конеч-

ной шириной спектра источника излучения, т.е. длиной реализации сигнала, подвергаемого преобразованию Фурье для извлечения полезной информации об исследуемой среде. В результате разрешение оказывается примерно на порядок ниже, чем в корреляционных интерферометрах с изменением оптической разности хода и составляет около 20 мкм. Кроме этого, необходимость вычисления преобразования Фурье обуславливает повышенные требования к быстродействию вычислительной системы [4].

### **Библиографический список**

1. **Fisher Y. L., Nogueira F., Salles D.** Diagnostic Ophthalmic Trasonography. In: Tasman W, Jaeger EA, eds. // Duane's Foundations of Clinical Ophthalmology. 15th ed. Philadelphia, Pa: Lippincott Williams & Wilkins. – 2009. – P. 108
2. **Фролов, С. В.** Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.
3. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.
4. **Проскурин, С. Г.** Визуализация кровеносных сосудов при помощи оптической когерентной томографии / С. Г. Проскурин, С. В. Фролов // Медицинская техника. – 2012. – № 3. – С. 9 – 14.

## **ПОВЫШЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ С ПОМОЩЬЮ СУПЕРЛЮМИНИСЦЕНТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ**

***В. О. Черешнев***

*Тамбовский государственный технический университет*

Исследования внутренней структуры различных объектов неразрушающими методами имеют важное значение для биомедицины, материаловедения и современных высоких технологий. Восстановление трехмерной структуры объектов осуществляется при использовании рентгеновской, магнитно-резонансной, ультразвуковой и других методов томографии [1].

В последнее десятилетие достигнуты значительные успехи в области оптической когерентной томографии (ОКТ), обеспечивающей

наиболее высокое разрешение (до единиц микрометров) при восстановлении томографических изображений, представляющих трехмерную внутреннюю микроструктуру неоднородных объектов и сред на глубине проникновения оптического излучения со значительным диффузным рассеянием. Преимущества ОКТ основываются на использовании свойств оптического излучения, прежде всего малой длины волны и когерентности излучения [2].

Для повышения разрешающей способности систем ОКТ необходимы новые виды источников излучения с широким спектром до сотен нанометров и длиной когерентности в диапазоне единиц микрометров. В работе [3] представлено описание одной из систем ОКТ повышенного разрешения. В качестве источника излучения в системе использован суперлюминесцентный титан-сапфировый кристалл с внешней накачкой. При этом ширина спектра излучения составила 138 нм при длине когерентности излучения около 2 мкм.

Оптическое излучение с широким спектром формируется с использованием волоконно-оптических фотонных кристаллов, возбуждаемых фемтосекундными импульсами. При этом ширина спектра излучения значительно превышает ширину спектра усиления всех известных в настоящее время кристаллов.

Излучение титан-сапфирового лазера в диапазоне 500...950 нм с центральной длиной волны 780 нм в форме импульсов длительностью 20 фс с частотой повторения 100 МГц после коррекции искажений, вносимых влиянием дисперсии, фокусировалось на волоконно-оптический фотонный кристалл длиной 40 мм и диаметром 2,3 мкм, что позволило сформировать излучение с непрерывным спектром шириной 325 нм при центральной длине волны 725 нм и мощности 28 мВт. Малая длина когерентности излучения (около 0,75 мкм) позволила обеспечить разрешающую способность системы ОКТ примерно 1,5 мкм.

Для получения излучения малой когерентности с широким спектром в ближнем ИК-диапазоне использовался источник в виде эрбиевого оптического волокна, излучение которого усиливалось двухкаскадным эрбиевым усилителем и вводилось в нелинейный волоконно-оптический преобразователь, что позволило получить излучение в диапазоне 1100...1500 нм при мощности 45 мВт.

Техника формирования излучения малой когерентности с широким спектром, повышенной мощностью и пространственной когерентностью является достаточно сложной и дорогостоящей. Поэтому проводятся исследования возможностей создания более доступных источников излучения с требуемыми характеристиками при приемлемой стоимости [4].

## Библиографический список

1. **Фролов, С. В.** Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.
2. **Ultrahigh Resolution Optical Coherence Tomography Using a Superluminescent Light Source** / A. M. Kowalewicz, T. Ko, I. Hartl, J. G. Fujimoto, M. Pollnau, R. P. Salathe // Opt. Exp. – 2002. – V. 10. – P. 349 – 353.
3. **Фролова, Т. А.** Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.
4. **Проскурин, С. Г.** Визуализация кровеносных сосудов при помощи оптической когерентной томографии / С. Г. Проскурин, С. В. Фролов // Медицинская техника. – 2012. – № 3. – С. 9 – 14.

## ПРИМЕНЕНИЕ ВОКСЕЛОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МИГРАЦИИ ФОТОНОВ В ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ

*В. О. Черешнев*

*Тамбовский государственный технический университет*

В современной медицинской практике находит широкое применение аппарата, использующая различные свойства оптического излучения для постановки диагноза: биохимические анализаторы, оптические когерентные томографы, диффузионные оптические томографы и т.д. [1]. В то же время большинство этих методов лимитированы различными факторами, связанными с особенностями распространения оптического излучения в биологических тканях. Для преодоления этих факторов прежде всего необходимо изучить эти особенности путем проведения соответствующего компьютерного моделирования.

Биологические объекты, как правило, имеют сложную пространственную структуру, что определяет необходимость создания соответствующего алгоритма, учитывающего это свойство. Одним из наиболее точных методов описания подобных сред является метод, основанный на применении вокселей [2]. Данный метод предполагает задание большого количества объемных сегментов в пространстве, каждый из которых характеризуется своими оптическими свойствами (показатель преломления, коэффициент поглощения, анизотропия и коэффи-

циент рассеяния). Фотон начинает движение в одном из вокселей и по мере распространения переходит из одного вокселя в другой. При этом в случае различия показателей преломления вокселей вероятность отражения фотона от границы определяют с помощью формул Френеля [3].

Подобный алгоритм позволяет представить биологический объект с совершенно произвольной пространственной структурой, но в то же время является достаточно медленным, что связано с большим количеством проверок на пересечение границ вокселей. Соответственно необходимо разработать алгоритм, позволяющий наиболее быстро решать задачу пересечения пучка фотонов и граней вокселя. Для этого предлагается использовать усовершенствованный алгоритм Смита, обобщенный для случая пересечения куба вектором, начало которого находится внутри вокселя [4].

Применение подобного подхода для решения задачи миграции фотонов в биологических тканях позволило увеличить скорость моделирования транспорта фотонов в биологических тканях в 3 – 6 раз в зависимости от того, насколько однородной является среда [5].

### Библиографический список

1. **Проскурин, С. Г.** Детектирование поглощающей неоднородности биологических тканей в диффузионной оптической томографии на основе поздно пришедших фотонов / С. Г. Проскурин, С. В. Фролов, А. Ю. Потлов // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. – 2012. – № 9.

2. **Детектирование** поглощающей неоднородности в диффузионной оптической томографии / С. Г. Проскурин, С. В. Фролов, А. Ю. Потлов, В. Ю. Ошурков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 18, № 1. – С. 212 – 215.

3. **Proskurin, S. G.** Detection of an Absorbing Heterogeneity in a Biological Object During Recording of Scattered Photons / S. G. Proskurin, A. Yu. Potlov, S. V. Frolov // Biomedical Engineering. – 2013. – V. 46, № 6. – P. 219 – 223.

4. **Proskurin, S. G.** Doppler Mapping of an Alternating-sign Flow with a Complex Geometry Using Optical Coherence Tomography / S. G. Proskurin, A. Yu. Potlov, S. V. Frolov // Quantum Electronics. – 2014. – V. 44(1). – P. 54 – 58.

5. **Potlov, A. Yu.** Localization of Inhomogeneities in Diffuse Optical Tomography Based on Late Arriving Photons / A. Yu. Potlov, S. V. Frolov, S. G. Proskurin // Optics and Spectroscopy. – 2016. – V. 120, № 1. – P. 9 – 19.

# СОДЕРЖАНИЕ

---

## Секция 1

### ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

<i>Е. И. Алгазин</i> Об одном универсальном методе оценки состояния радиотехнических цепей .....	3
<i>Д. Р. Антоничев, С. А. Марчуков, С. П. Москвитин</i> Исследование влияния частоты на затухание электромагнитной волны для различных сред .....	5
<i>С. Н. Баршутин, А. П. Илясов, Э. А. Мешкова</i> Исследование скважности генератора прямоугольных импульсов .....	7
<i>В. В. Бобров</i> Исследование эффективности алгоритмов оценки направления прихода электромагнитных волн .....	9
<i>А. А. Брюзгин, А. А. Ефремов, С. В. Ключенков, С. Н. Минаков</i> Роботизированные системы и комплексы в войсках радиоэлектронной борьбы .....	11
<i>И. П. Бугримов, А. А. Герасименко</i> Перспективы применения генеративных алгоритмов для синтеза и оптимизации микрополосковых антенн .....	14
<i>А. В. Володько, Ю. В. Худяков, Е. А. Сукачева</i> Оптический телефон «Луч» ...	16
<i>П. А. Ворогушин</i> Фрактальные антенны. Особенности и перспективы применения .....	18
<i>В. Н. Глистин, Ю. Н. Панасюк</i> Исследование потенциальной точности алгоритма информационно-измерительного комплекса .....	20
<i>А. С. Голуб, Н. С. Ильичев, П. А. Казак</i> Построение пакетов сигнала стандарта DMR на физическом уровне .....	23
<i>С. А. Графская</i> Исследования радиоволнового фазового метода контроля толщины .....	25
<i>С. А. Графская</i> Радиоволновой контроль толщины многослойных материалов .....	27
<i>М. С. Демидов, Н. А. Глотов, С. П. Москвитин</i> Исследование надежности обмена данными в беспроводных сенсорных сетях с множеством операторов на основе сетевого протокола ZIGBEE .....	29
<i>Д. М. Егоров, Д. В. Закальский, О. И. Совкова</i> Перспективы использования 5G .....	32
<i>С. Д. Ерохин, А. Л. Завадский, Н. С. Ильичев, П. А. Казак</i> Исследование помехоустойчивости GPS-сигнала .....	33
<i>А. А. Ефремов, А. А. Брюзгин, С. В. Ключенков, В. В. Шатских</i> Имитатор сигналов для обучения операторов БПЛА .....	35

<i>Д. О. Жалнин, А. П. Пудовкин</i> Исследование влияния характеристик станции помех на дальность обнаружения РЛС .....	37
<i>Д. В. Журавлев, М. А. Сиваш</i> Лабораторный комплекс «Универсальная программно-определяемая радиосистема» .....	40
<i>Е. А. Ильин, С. Ю. Кругликов</i> Проектирование тепловизионных приемников на микроконтроллерах STM32 .....	42
<i>Е. А. Ильин, В. В. Сахарчук, А. В. Печаткин</i> Адаптация PSPICE симуляторов для моделирования реконфигурируемых адаптивных электронных узлов на переключаемых конденсаторах .....	44
<i>Е. А. Ильин, В. В. Сахарчук, А. В. Печаткин</i> Модернизация аналитической модели для инвариантного расчета узкополосных согласующих трансформаторов на сосредоточенных компонентах .....	47
<i>А. П. Илясов, Д. С. Курепина, Д. С. Луцков</i> Исследование частоты генератора прямоугольных импульсов .....	49
<i>В. Г. Клемешов, Е. С. Кузина, Н. А. Кольтюков</i> Методы оптимизации режимов работы энергоемкого оборудования радиоэлектронных предприятий .....	52
<i>В. Г. Клемешов, М. В. Бесперстов, Н. А. Кольтюков</i> Модель задачи оптимального управления многоприводным объектом .....	55
<i>И. П. Клонин, К. С. Сайфуллозода</i> Кольцевая концентрическая фазированная антенная решетка с круговым обзором пространства в азимутальной плоскости для систем радиосвязи СВЧ-диапазона .....	58
<i>Н. С. Корж, С. М. Каданцев, П. А. Казак</i> Алгоритм итерационного декодирования блокового турбокода .....	60
<i>Д. Р. Кузьяев, А. С. Туровский, А. П. Пудовкин</i> Применение радиомодулей ZIGBEE на производстве для телеметрической сети .....	62
<i>С. А. Марчуков, Д. Р. Антоничев</i> Исследование изменения напряженности электрического поля ЭМВ от расстояния в различных средах .....	64
<i>Д. Д. Мельникова, Д. А. Сыщикова</i> Беспилотные летательные аппараты как объекты радиолокационного наблюдения .....	66
<i>К. А. Меркушова, Д. А. Яковлева, А. П. Рыжков</i> Оценка потенциальной эффективности пространственной обработки сигналов в РСА .....	68
<i>К. А. Меркушова, Д. А. Яковлева, А. П. Рыжков</i> Условия устойчивости пространственной обработки сигналов в двухканальной РСА .....	70
<i>И. В. Мещеряков, И. В. Шарипов, А. П. Пудовкин</i> Выбор моделировщика и моделирование диаграммы направленности на примере антенны «Волновой канал» .....	72
<i>А. А. Мжельский, В. В. Евтеев</i> Исследование влияния параметров среды на распространение электромагнитных волн .....	74

<i>Д. О. Никитенков, Е. С. Кузина, В. Г. Клемешов</i> Управление электроприводами технологических установок предприятий радиоэлектронного профиля .....	77
<i>А. С. Писарчук, С. П. Москвитин</i> Влияние характеристик пассивных помех и цели на показатели качества СДЦ .....	78
<i>А. А. Попов, Д. Ю. Рябов, О. А. Белоусов</i> Анализ линзового диэлектрического крупноапертурного излучателя для систем спутниковой связи .....	81
<i>А. И. Рогачев, Ю. Н. Панасюк</i> Оценка показателей качества работы алгоритмов угломерного канала с применением третичной обработки информации .....	83
<i>Д. Ю. Рябов, А. А. Попов, О. А. Белоусов</i> Анализ многолучевого крупноапертурного излучателя .....	86
<i>Р. А. Сарычев, Д. А. Сторожев, Ю. Н. Панасюк</i> Исследование алгоритмов измерителя дальности в парковочной системе .....	89
<i>Р. А. Сарычев, Д. А. Сторожев, Ю. Н. Панасюк</i> Математическая модель измерителя дальности в парковочной системе .....	91
<i>В. В. Сахарчук, А. В. Печаткин</i> Исследование возможностей и ограничений функционально-параметрического поведенческого моделирования электронных схем в формате «Худший случай» .....	94
<i>В. Ю. Семенов, И. А. Черноиваненко</i> Изучение основных электрофизических параметров гетероперехода n-SiC/p-Si .....	97
<i>О. И. Совкова, Д. В. Закальский, Д. М. Егоров</i> Перспективы внедрения технологии узкополосной передачи данных NB-IOT .....	100
<i>М. М. Стрельцова</i> Исследование влияния размера периферийных элементов на усиление фрактальной микрополосковой антенны на основе квадратных излучателей .....	102
<i>А. И. Сустин, А. П. Пудовкин</i> Оценка показателей качества работы алгоритмов дальномерного канала с использованием третичной обработки информации .....	104
<i>В. В. Терехов, С. П. Москвитин</i> Исследование зависимости дальности обнаружения РЛС от ее технических параметров .....	106
<i>Д. В. Тихонин, А. П. Пудовкин</i> Оценка методической погрешности бесконтактного теплового метода при частичном поглощении излучения промежуточной средой .....	109
<i>А. С. Туровский</i> Обзор методов снижения пик-фактора в беспроводных системах передачи данных с OFDM-модуляцией .....	110
<i>С. В. Сапожникова, Д. А. Турищев, А. Р. Лобанов</i> Распространение радиоволн в космических условиях .....	113

<i>И. В. Шаранов, И. В. Мецзяков</i> Использование антенных решеток в телекоммуникационных системах .....	115
<i>П. С. Шишов</i> Технология xDSL .....	117

## Секция 2

### ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СВЯЗИ

<i>Р. Р. Абдулвелеева, Д. М. Утямишев</i> Имитационная модель устройства для подачи слябов на продольную порезку .....	120
<i>В. С. Аистов, М. В. Алексеев</i> Слежение за БПЛА, как за источником радиоизлучения .....	122
<i>В. И. Амелина, А. Д. Худякова</i> Сравнительный анализ моделей для реализации алгоритма экстраполяции с учетом скорости .....	124
<i>Е. А. Антонов, К. Д. Раев</i> Передатчик с нелинейным усилителем и обратной связью .....	126
<i>Г. А. Болтнев, Д. С. Попов, В. Ю. Новохатский</i> Обработка данных с весоизмерительных датчиков микроконтроллером ISKRAJS .....	128
<i>Г. А. Болтнев, Д. С. Попов, В. Ю. Новохатский</i> Особенности применения электронной весоизмерительной техники в медицине .....	130
<i>Г. А. Болтнев, Д. С. Попов, В. Ю. Новохатский</i> Передача данных с микроконтроллера четырехполюсных весов на ЭВМ посредством беспроводной синхронизации .....	132
<i>Г. А. Болтнев, Д. С. Попов, В. Ю. Новохатский</i> Применение моста Уитсона в весоизмерительном изделии .....	133
<i>А. Н. Бондарь, М. М. Беляева</i> Контрольно-измерительная система с удаленным управлением параметрами микроклимата в аппаратных помещениях сотовой связи .....	135
<i>А. В. Горбунов, А. В. Непрокин</i> Автоматизированные системы диагностики вестибулярных нарушений .....	137
<i>А. Н. Грибков, Д. Ю. Муромцев, А. Н. Корнева, М. А. Трушина</i> Особенности программно-технической реализации систем энергосберегающего управления сложными технологическими объектами .....	139
<i>А. Н. Грибков, М. А. Трушина, А. Н. Корнева</i> Оценка помехоустойчивости алгоритмов синтеза оптимального управления в информационно-управляющих системах технологическими объектами .....	141
<i>А. Ю. Дмитриевцев, А. И. Дякин</i> Сравнение электродинамических характеристик широкополосных микрополосковых излучателей с экспоненциальным раскрывом .....	143
<i>Т. Ю. Дорохова, А. О. Смирнов, И. Н. Кочетов</i> Особенности устранения семантических ошибок при создании программных модулей .....	145

<i>А. И. Дякин, А. Ю. Дмитриевцев</i> Синтез излучателя на основе секториального рупора с фазокорректирующими линзами для бортовых антенных систем спутниковой связи .....	147
<i>Д. М. Егоров, Д. В. Закальский, О. И. Совкова</i> Исследование световых характеристик ультрафиолетовых светодиодов для оптических каналов связи .....	150
<i>М. М. Кирюпин, С. В. Бабкин</i> Модель диспетчеризации в системах беспроводного радиодоступа .....	152
<i>М. М. Кирюпин, С. В. Бабкин</i> Применение современных энергоэффективных стандартов высокоскоростного беспроводного широкополосного доступа в сетях управления или сбора данных .....	154
<i>А. Д. Киселев, М. А. Кудряшов</i> Анализ апертурного излучателя для систем высокоскоростного беспроводного широкополосного доступа Е-диапазона .....	156
<i>А. Д. Киселев, М. А. Кудряшов</i> Синтез антенной решетки для систем высокоскоростного беспроводного широкополосного доступа Е-диапазона .....	159
<i>И. С. Козлов, Г. Е. Контимиров, А. А. Хоменко</i> Система «умного» уличного освещения .....	162
<i>М. А. Кудряшов, О. А. Белоусов, А. Д. Киселев</i> Синтез структуры антенной решетки с электрическим сканированием луча на основе излучателей круговой поляризации для радиолокационной метеостанции .....	165
<i>Д. С. Куренков, З. М. Селиванова</i> Алгоритмическое обеспечение информационно-измерительной системы параметров интегральных схем на базе ПЛИС .....	167
<i>Р. Ю. Курносков, А. А. Тришаков, П. И. Карелин</i> Особенности построения высокоскоростного канала радиосвязи в диапазоне 37...40 ГГц .....	169
<i>Р. Ю. Курносков, А. А. Тришаков, П. И. Карелин</i> Реализация маршрутизирующей коммутации на примере коммутатора HUAWEI QUIDWAY S2328P-EL-AC .....	171
<i>М. А. Майоров, К. В. Скоморохов</i> Синтез двухгребневой рупорной антенны .....	172
<i>В. В. Маслина, С. Н. Данилов</i> Методы формирования случайных последовательностей для криптографии .....	175
<i>Р. Р. Мукминов, В. А. Глушков</i> Исследование операционного усилителя с помощью пакета компьютерных программ OrCAD .....	177
<i>У. Р. Наимов, С. Н. Данилов</i> Алгоритм оценивания координат ДПЛА при умеренной величине шума .....	179
<i>А. Ю. Наумова</i> Отказы и меры повышения надежности и программного обеспечения информационно-измерительных и управляющих систем промышленных объектов энергосбережения .....	181

<i>А. П. Негуляева, С. П. Москвитин, В. Н. Чернышов</i> Микроволновый метод неразрушающего контроля теплофизических характеристик строительных материалов и изделий .....	183
<i>В. В. Носков</i> Применение реверсивных сред в антенных системах при формировании сложных ДН .....	185
<i>Д. М. Пуятин, О. С. Якушов, Е.И. Боровкова</i> Платформа WINCON в системах управления .....	186
<i>И. М. Романенко, В. В. Маслина</i> Анализ источников шума для криптографических генераторов случайных последовательностей .....	188
<i>И. Г. Рязанов, Ю. Т. Зырянов</i> Методы прогнозирования надежности в радиоэлектронных системах .....	190
<i>К. С. Сайфуллозода, И. П. Клонин</i> Однозеркальная широкоугольная гибридная антенна квазитороидального типа для систем спутниковой связи космических ретрансляторов .....	192
<i>Д. А. Сидорова, Н. Г. Чернышов</i> Современные решения для построения технологий беспроводной связи .....	195
<i>И. С. Скварник</i> Модернизация сети связи и передачи данных системы управления движением судов в заливе Петра Великого за счет средств беспроводного широкополосного доступа .....	197
<i>К. В. Скоморохов, М. А. Майоров, А. С. Колмыкова</i> Влияние неоднородности на распределение тока в микрополосковой линии .....	199
<i>Н. А. Смирнова, А. Е. Гузанова, А. Т. Кизимов</i> Проектирование микропроцессорной навигационной системы для управления динамическим объектом .....	201
<i>И. А. Соловьева, Д. С. Соловьев, Ю. В. Литовка</i> Алгоритмическое и аппаратное обеспечение системы управления многоанодными ваннами .....	203
<i>И. А. Соловьева, Д. С. Соловьев, Ю. В. Литовка</i> Математическое и аппаратное обеспечение системы управления импульсным электролизом .....	205
<i>С. А. Струков, К. С. Мыльников, Ю. А. Фоминых, В. А. Глушков</i> Удаленный доступ к физическому эксперименту .....	207
<i>А. И. Сукачев, И. В. Миллер, Е. А. Сукачева</i> Разработка аппаратно-программной платформы интернета вещей .....	210
<i>Д. Р. Таипова</i> Емкостный контроль локальных дефектов токопроводящего покрытия с применением индуцирующего электрода .....	212
<i>И. В. Тюрин, Р. А. Токарев</i> Реализация интеллектуальной системы управления многосекционной конвейерной электропечью .....	215
<i>И. В. Тюрин, Р. А. Токарев</i> Микропроцессорная система интеллектуально-энергосберегающего управления роторным резиносмесителем .....	216

<i>К. В. Федотова</i> Оценка помехоустойчивости FSK-сигналов при помощи оборудования EMONA DATEх .....	218
<i>А. А. Хоменко, И. С. Козлов, Г. Е. Контимиров</i> Преимущества 10-битного кодирования видеосигнала .....	221
<i>А. Р. Хребтов, А. В. Поплевин</i> Обоснование структуры информационно-измерительной системы контроля движения транспортных средств .....	222
<i>А. Р. Хребтов, А. В. Поплевин</i> Метод измерения расстояния до наземной движущейся цели .....	224
<i>А. А. Черкасова</i> Некоторые фундаментальные аспекты взаимодействия человека с машиной .....	226
<i>А. А. Черкасова</i> Эргономические аспекты взаимодействия человека и компьютера .....	228
<i>В. Ю. Шафоростова, А. Н. Урюпин</i> Радиолокация. Радары .....	230
<i>В. Н. Широбоков, В. А. Глушков</i> Об антеннах для космических аппаратов формата CUBESAT .....	232
<i>О. С. Якушов, Д. М. Путьятин, Е. И. Боровкова</i> Конфигурирование систем на платформе WINCON в среде ISaGRAF .....	234

### Секция 3

#### ПРОБЛЕМЫ БИОТЕХНИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

<i>Н. И. Агафонова</i> Разработка алгоритма для коррекции взаимных смещений кадров видеоизображения .....	236
<i>Д. И. Андрианов, В. В. Дубровин</i> Частотно-временной анализ выделения признака гипертрофии левого предсердия по ЭКГ .....	238
<i>К. М. Баух, А. Д. Тесленко</i> Перспективы развития аппаратов для электро-сонотерапии .....	240
<i>Н. В. Венцеровая, А. Ю. Потлов, Т. М. Тымчук</i> Проверка детекторов рентгеновского излучения мультidetекторного компьютерного томографа с использованием фантомов щитовидной железы .....	242
<i>А. В. Горбунов, А. В. Непроккин</i> Современные системы диагностики вестибулярных нарушений .....	244
<i>Е. П. Долгов</i> Виды дифференциальной диагностики двигательной активности во время сна .....	245
<i>Е. П. Долгов</i> Информационные технологии в мониторинге эпилепсии .....	247
<i>Е. П. Долгов</i> Применение акселерометрии и пульсоксиметрии в диагностике пароксизмальных состояний .....	249
<i>Е. А. Егорова, А. С. Лисицын</i> Способ коррекции измерений температуры и кровотока .....	251

<i>Д. В. Журавлев, И. С. Анисимов</i> Разработка емкостного электрода, предназначенного для регистрации медико-биологических показателей .....	254
<i>Т. К. Коковкина</i> Применение фотоколориметрического метода анализа для измерения концентрации исследуемого вещества на примере аппарата фотоэлектрокolorиметра «КФК-2МП» .....	256
<i>К. Н. Коновалова, Д. Д. Семенов</i> Тензограмма крови в левом желудочке во время сердечного цикла .....	258
<i>Н. К. Корабельников, И. А. Попов</i> Перспективы развития электрохирургических высокочастотных аппаратов .....	261
<i>А. В. Лавринов</i> Программное обеспечение метода обработки сонограммы тучных пациентов .....	264
<i>С. Г. Леньшин</i> Анализирование эмоционального состояния человека в программной среде MATLAB .....	265
<i>С. Г. Леньшин</i> Устройство для записи и функционального анализа психоэмоционального состояния человека .....	267
<i>А. С. Лисицын, Е. А. Егорова</i> Способ УЗИ-исследований околоносовых пазух .....	269
<i>А. В. Медведева, А. А. Нечай</i> Принцип функционирования станции автоматизированного контроля косметического лазера с числовым программным управлением .....	271
<i>А. В. Милютин</i> Особенности диагностики альфа-ритмов с учетом электропроводности кожи головы .....	273
<i>А. В. Михина</i> Разработка БТС для обнаружения малоконтрастных областей поражения .....	276
<i>А. В. Михина, В. М. Строев</i> Разработка бюджетной инфракрасной системы контроля кровоснабжения .....	278
<i>Н. Ю. Никитина</i> Высокочастотная радиоволновая хирургия .....	279
<i>И. Э. Родионова</i> Бионические глаза .....	282
<i>К. С. Савинова, А. А. Коробов, А. А. Трубиенко</i> Интеллектуальная система поддержки принятий решений при выхаживании новорожденных .....	284
<i>А. А. Сайкина</i> Перспективы применения РН-метра РН-150 .....	286
<i>Д. Д. Семенов, К. Н. Коновалова</i> Эквализация гистограммы цифрового рентгеновского изображения при помощи пирамиды Лапласа .....	288
<i>Н. А. Скворцов</i> Современные технологии датчиков УЗИ .....	291
<i>И. А. Сладкова</i> Возможности современных аппаратов ЭКГ .....	293
<i>И. А. Сладкова</i> Повышение пространственного разрешения УЗИ-изображений .....	294

<i>М. О. Становских</i> Разработка конструкторской документации измерителя артериального давления ИАД-1 .....	296
<i>А. Ю. Степина</i> Особенности методов рентгеновской дифракционной диагностики .....	298
<i>Д. Е. Судаков</i> Использование нейронной сети для обработки электроэнцефалограмм .....	300
<i>А. Д. Тесленко, К. М. Баух</i> Применение метода воздействия синусоидальными токами на примере аппарата физиотерапии «АМПЛИГУЛЬС» .....	302
<i>А. П. Толмачев</i> Перспективы развития наркозно-дыхательных аппаратов ...	304
<i>Т. М. Тымчук, Н. В. Венцорова</i> Антропоморфный фантом с кровотоком для лапароскопического ультразвукового сканирования .....	306
<i>Т. М. Тымчук, Н. В. Венцорова</i> Тканеиметирующие фантомы на базе микрофлюидных устройств .....	308
<i>М. В. Филатов</i> Преимущества метода количественной электроэнцефалографии .....	310
<i>А. П. Филимонова</i> Методы медицинской реабилитации пациентов с болезнью Паркинсона на основе электросонотерапии .....	312
<i>В. О. Черешнев</i> Повышение быстродействия оптической когерентной томографии методом спектральной интерферометрии .....	314
<i>В. О. Черешнев</i> Повышение разрешающей способности оптической когерентной томографии с помощью суперлюминисцентных источников излучения .....	315
<i>В. О. Черешнев</i> Применение вокселей для моделирования миграции фотонов в оптической когерентной томографии .....	317

Научное электронное издание

**РАДИОЭЛЕКТРОНИКА.  
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ  
РАЗВИТИЯ**

**ЧЕТВЕРТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ  
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ,  
ПОСВЯЩЕННАЯ ДНЮ РАДИО**

*Тезисы докладов*

Редактирование Е. С. Мордасовой  
Инженер по компьютерному макетированию Т. Ю. Зотова

ISBN 978-5-8265-2081-9



9 785826 520819

Подписано к использованию 02.07.2019.

Тираж 100 шт. Заказ № 74

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14  
Тел. 8(4752) 63-81-08.

E-mail: [izdatelstvo@admin.tstu.ru](mailto:izdatelstvo@admin.tstu.ru)