

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

---

СЕМЬДЕСЯТ ТРЕТЬЯ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ  
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ГУАП  
(13–17 апреля 2020 г.)

Часть 2

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Сборник докладов



УДК 001  
ББК 72  
С30

С30 Семьдесят третья Международная студенческая научная конференция ГУАП (13–17 апреля 2020 г.): сб. докл.: в 5 ч. Ч. 2: Технические науки. – СПб.: ГУАП, 2020. – 239 с.  
ISBN 978-5-8088-1506-3 (Ч. 2)  
ISBN 978-5-8088-1504-9

Представлены доклады Семьдесят третьей Международной студенческой научной конференции ГУАП, прошедшей в апреле 2020 г.

Научные работы студентов ГУАП посвящены актуальным проблемам авиационного и аэрокосмического приборостроения, проблемам развития новых информационных технологий, радиотехники, электроники и связи, современным проблемам экономики, философии и права.

Под общей редакцией  
доктора технических наук,  
профессора *В. Ф. Шишлакова*

Редакционная коллегия конференции

Председатель редакционной коллегии:  
*В. Ф. Шишлаков*, доктор технических наук, профессор

Члены редакционной коллегии:  
*А. Р. Бестугин*, доктор технических наук, профессор  
*А. В. Бобович*, заместитель председателя совета УНИДС  
*В. М. Боер*, доктор юридических наук, профессор  
*А. С. Будагов*, доктор экономических наук, доцент  
*К. В. Лосев*, доктор экономических наук, доцент  
*Н. Н. Майоров*, кандидат технических наук, доцент  
*М. О. Самоловов*, директор РИЦ  
*Е. Г. Семенова*, доктор технических наук, профессор  
*М. Б. Сергеев*, доктор технических наук, профессор  
*А. М. Тюрликов*, доктор технических наук, профессор  
*Н. А. Чернова*, кандидат экономических наук

Ответственный секретарь редакционной коллегии *Л. И. Корнеева*

ISBN 978-5-8088-1506-3 (Ч. 2)  
ISBN 978-5-8088-1504-9

© Санкт-Петербургский государственный  
университет аэрокосмического  
приборостроения, 2020

# РАДИОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОНИКА И СВЯЗЬ

## Радиотехнические и оптоэлектронные комплексы

УДК 378.147

**И. А. Виноградов**

магистрант кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов

**А. Ф. Крячко** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

### ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ

В данной статье рассмотрен метод расчета переноса радиации в квазистационарной плоской атмосфере Земли.

Моделирование – это построение упрощенного подобия реального объекта, экспериментальные исследования этого объекта, выявление закономерностей в поведении объекта. Если затруднительно и вовсе невозможно провести эксперимент над реальным объектом применяются численное моделирование и вычислительный эксперимент. Метод численного моделирования с трудом можно применить при решении реальных задач, но в научных расчетах применяется давно. Чтобы более точно учесть энергетический спектр, процессы поглощения и переизлучения фотонов, разрабатываются методы численного моделирования переноса теплового излучения в среде. При решении задач высокотемпературной газовой динамики, создании плазменных источников ультрафиолетового излучения, плазмы для осуществления инерциального термоядерного синтеза, проектировании тепловой защиты спускаемых космических аппаратов, расчете радиационного баланса атмосферы и поверхности Земли в целях моделирования климата, решении задач астрофизики, играют большую роль процессы переноса тепла излучением. В связи с развитием информационных технологий, появлением более детальных данных о коэффициентах поглощения излучения в веществе, вследствие расширения рамок математической модели на более широкий ряд учитываемых физических эффектов, за последние шестьдесят лет методы численного моделирования переноса теплового излучения в среде были усовершенствованы. Увеличилась достоверность численного моделирования задач, поставленных ранее и появилась возможность моделирования новых процессов и явлений, востребованных в связи с развитием современных технологий.

Радиация в атмосфере – состоит из видимого света и невидимых глазом гамма-лучей, ультрафиолетовых, инфракрасных, рентгеновских лучей и радиоволн. Представляет собой электромагнитное излучение Солнца, распространяющееся со скоростью 300000 км/с. Основным источником света и тепла для Земли является Солнце.

Множество процессов переноса тепла излучением описываются с помощью различных уравнений: кинетическое уравнение переноса излучения, система уравнений радиационной газовой динамики, уравнения описывающие взаимодействие излучения с веществом. Исходя из поставленной задачи могут использоваться коэффициенты испускания и поглощения излучения, в более сложных случаях – уравнения радиационной химической кинетики, в еще более сложных – уравнения поуровневой кинетики населенностей квантовых состояний атомов ионов, молекул. Численное решение уравнения переноса имеет некоторые проблемы:

- функция распределения излучения достаточно массивна (имеет зависимость от шести фазовых переменных и времени). Чтобы уменьшить число арифметических операций и время численного расчета, требуется сократить размерность пространства аргументов;

- в кинетическом уравнении переноса излучения неизвестная функция содержится и под знаком интеграла, и под знаком дифференциала или производной (интегро-дифференциальное уравнение). При решении требуется применение метода итерации, так как в правой части уравнения содержится интеграл рассеяния фотонов;

- нелинейная и нелокальная связь газодинамических параметров поля излучения и движущейся среды сложна. Связь является нелокальной, так как в некоторых участках спектра возможен большой пробег фотонов, вследствие чего возникает селективный перенос энергии на большие расстояния. Зависимость коэффициентов испускания излучения и поглощения от физических параметров среды (плотность, температура, химический состав, населенность возбужденных состояний частиц вещества) имеет нелинейный характер, с чем и связана нелинейность связи газодинамических параметров и поля излучения. Чтобы найти коэффициенты уравнения переноса излучения нужно знать решения газодинамических и термодинамических уравнений, уравнений кинетики. Нелокальный процесс переноса тепла влияет на решение кинетических уравнений. Наличие сильной нелинейной и нелокальной связи между всеми уравнениями математической модели приводят к необходимости введения еще одного «внешнего» итерационного процесса для нахождения решения на каждом шаге по времени [2].

Задача расчета переноса радиации в квазистационарной плоской атмосфере является главной физической задачей, на которой возможно отработать алгоритмы расчета для решения уравнения переноса излучения и компьютерные коды подготовки входных данных для транспортных расчетов. Уравнение переноса излучения имеет следующий вид:

$$\mu \frac{\partial I}{\partial z} + (x^{ab} + \kappa^{(0)}) I = Q,$$

$$Q = cx^{ab} \frac{U^{PI}}{2} + \sum_{n=0}^N \frac{2n+1}{2} \kappa^{(n)} I^{(n)} P_n(\mu), \quad I^{(n)} = \int_{-1}^1 P_n(\mu) I(\mu) d\mu,$$

$$\kappa^{(n)} = 2\pi \int_{-1}^1 K^{sc}(\eta) P_n(\eta) d\eta, \quad \eta = \Omega \Omega', \quad (n = 0, 1, \dots, N).$$

Здесь  $I(E, \mu, z)$  – искомая интенсивность излучения, представляющая собой функцию распределения в фазовом пространстве  $(E, \mu, z)$ , где  $E$  – энергия пучков фотонов, пролетающих на высоте  $z$  в направлениях  $\Omega$ , где  $\mu$  – косинус угла между  $\Omega$  и осью  $z$ , направленной от земли вверх;  $x^{ab}(E, z)$  – коэффициент поглощения излучения атмосферой;  $K^{sc}(\eta)$  – ядро рассеяния излучения,  $\eta$  – косинус угла рассеяния. Интенсивность излучения нормирована так, что ее скалярный угловой момент и векторный угловой момент равны соответственно плотности энергии излучения, умноженной на скорость света  $c$ , и потоку энергии излучения в единичном интервале спектра энергий:

$$U(z, E) = \int_{-1}^1 I(E, \mu, z) d\mu;$$

$$W(z, E) = \int_{-1}^1 \mu I(E, \mu, z) d\mu.$$

Для корректной постановки задачи уравнение переноса излучения дополняется граничным условием отражения на поверхности Земли:

$$I(E, \mu, z=0) \Big|_{\mu>0} = \int_{\mu'=-1}^0 K_r(\eta) \cdot I(\mu') d\mu' + I^{ext}(E, \mu),$$

и условием свободного излучения в вакуум на верхней границе атмосферы:

$$I(E, \mu, z = z_{\max}) \Big|_{\mu>0} = 0.$$

На поверхности Земли ( $z = 0$ ) – входящее внутрь атмосферы излучение есть сумма излучения поверхности Земли ( $I^{ext}$ ) и отраженного излучения – интеграл с ядром отражения  $K_{\Gamma}(\eta)$ . На верхней границе атмосферы ( $z = z_{max}$ ) внешнее излучение и отражение внутрь отсутствуют. За координату верхней границы атмосферы ( $z_{max}$ ) берется некоторая высота, выше которой можно пренебрегать взаимодействием фотонов с молекулами атмосферных газов.

В большинстве практических задач в виде конечного ответа должны быть величины, осредненные по спектру энергий.

$$U(z) = \int_0^{\infty} U(E, z) dE = \frac{1}{c} \int_{-1}^1 \int_0^{\infty} I(E, \mu, z) dE d\mu;$$

$$W(z) = \int_0^{\infty} W(E, z) dE = \int_{-1}^1 \int_0^{\infty} \mu I(E, \mu, z) dE d\mu.$$

В данных выражениях для уравнения переноса величины интегрирования – внешние переменные, дифференцирование по которым не проводится. Поэтому нужно оптимально провести вычисление данных квадратур. Предполагается, что зависимость функции распределения от угловой переменной в каждом полупространстве достаточно гладкая, в связи с чем в каждом полупространстве используются гауссовские квадратуры. Но в случае с зависимостью от энергии простые квадратуры применить невозможно, так как коэффициент поглощения имеет сложную многорезонансную зависимость от энергии [3].

При процессах численного моделирования климата Земли большое значение имеет задача переноса излучения в атмосфере, которая является квазистационарной по времени и квазиодномерной по пространственным переменным. База спектроскопических параметров линий молекулярного поглощения HITRAN, которая свыше двадцати лет пополняется достоверными исходными данными о микросечениях взаимодействия излучения с веществом, помогает в решении задачи переноса излучения в атмосфере. Для модели атмосферы с заданными высотным распределением концентрации газов и термодинамическими параметрами, решается кинетическое уравнение переноса излучения. По сравнению с задачей нестационарной радиационной газодинамики в задаче переноса излучения легко реализуем расчет спектра излучения на сетке по точкам, если содержится не более 107 точек по энергии фотонов [4].

### Библиографический список

1. Сушкевич Т. А. Математические модели. Лаборатория знаний, 2006. 661 с.
2. Перенос радиации в рассеивающих и поглощающих атмосферах. URL: [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-090550.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-090550.pdf) (дата обращения: 02.10.2019).
3. Научно-технический форум SciTecLibrary.ru. URL: <http://www.sciteclibrary.ru/cgi-bin/yab2.pl?num=1540191205/8672> (дата обращения: 02.10.2019).
4. Радиация в атмосфере. URL: [https://studbooks.net/14495/geografiya/radiatsiya\\_atmosfera](https://studbooks.net/14495/geografiya/radiatsiya_atmosfera) (дата обращения: 02.10.2019).

УДК 550.388.2

**А. Е. Карпов**

студент кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов

**Д. В. Благовещенский** – доктор физико-математических наук, профессор – научный руководитель**ВАРИАЦИИ В ИОНОСФЕРЕ ПЕРЕД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ**

Рассмотрены различные вариации в ионосфере перед готовящейся сейсмической активностью для использования в системах раннего оповещения о готовящихся землетрясениях. Тема имеет комплексный характер, поскольку единой модели, объясняющей физическую сущность реакции ионосферы на процесс подготовки землетрясения пока не найдено.

Ионосферные возмущения над сейсмически активными регионами проявляются как специфические неоднородности за несколько дней перед сильными землетрясениями. Эти неоднородности, по видимому, вызваны прохождением атмосферных гравитационных волн через ионосферу. Сами волны, вероятнее всего, генерируются в сейсмически активных регионах посредством нестационарного притока литосферных газов в приземную атмосферу.

Ионосферный отклик на подготовку землетрясения, в основном, изучают в ионосферных  $E$  слое (100–130 км над поверхностью Земли) и  $F$  слое (200–350 км) над сейсмически активным регионом. Чтобы выделить изменения, обусловленные сейсмической активностью, необходимо предположить, что ионосферные вариации, связанные с подготовкой сильного землетрясения, отличаются от других ионосферных возмущений (фоновых), которые имеют место в сейсмически спокойное время [1].

Исследования  $E$ -области в период процесса подготовки сильных землетрясений позволили выявить формирование аномальных спорадических  $E_s$ -слоев. За несколько суток до землетрясений отмечается значительное увеличение предельной частоты спорадического слоя, а за сутки до землетрясения происходит уменьшение коэффициента полупрозрачности слоя.

В качестве возможных путей передачи сейсмогенных возмущений через нижележащую атмосферу в ионосферу исследователями обычно рассматриваются 1) электромагнитный и 2) атмосферно-волновой каналы, включая АГВ (акустико-гравитационные волны) и ВГВ (внутренние гравитационные волны) [2].

На сегодняшний день существует несколько теоретических моделей, объясняющих физическую сущность реакции ионосферы на процесс подготовки землетрясения.

Одну из моделей предложили Ю. К. Калинин и Н. П. Сергеенко, утверждающие, что за 10–15 часов до катастрофы над эпицентром землетрясения возникает крупномасштабная ионосферная неоднородность, перемещающаяся от эпицентра будущего землетрясения по дуге большого круга.

Другая модель показывает, что в качестве главного физического механизма формирования ионосферных областей аномально повышенных (пониженных) значений ПЭС рассматривается вертикальный  $[E \times V]$  – дрейф ионосферной плазмы  $F_2$ -области в скрещенных магнитном  $V$  и электрическом  $E$  полях (под действием зональной компоненты электрического поля  $E$  сейсмического происхождения). Для низких широт имеет место модификация аномалии Эпплтона (двух «горбов» относительно геомагнитного экватора и «провала» над ним в широтной вариации электронной концентрации) как единой системы.

Еще в одной модели показывается, что в периоды подготовки сильных землетрясений наблюдается ряд явлений, таких как увеличение уровня радиоактивности в приземном слое нейтральной атмосферы вследствие выброса в него радона, появление приземных сейсмогенных электрических полей, что представляет собой источник дополнительной ионизации нейтральной атмосферы. В результате появления этого источника у поверхности Земли в приземном слое увеличивается количество заряженных частиц [3].

Разработка методов автоматической идентификации сейсмо-ионосферных аномалий за несколько суток до сейсмического толчка, позволит в будущем использовать эту информацию совместно с другими данными сейсмического мониторинга в системах раннего оповещения о готовящихся землетрясениях.

**Библиографический список**

1. Гохберг М. Б., Моргунов В. А., Похотелов О. А. Сейсмоэлектромагнитные явления. М.: Наука, 1988. 174 с.
2. Липеровский В. А., Похотелов О. А., Шалимов С. Л. Ионосферные предвестники землетрясений. М.: Наука, 1992. 304 с.
3. Шалимов С. Л., Гохберг М. Б. Неоднородности ионосферы сейсмически активных регионов, обусловленные прохождением атмосферных гравитационных волн, генерируемых в эпицентральной зоне // Краткосрочный прогноз катастрофических землетрясений с помощью радиофизических наземно-космических методов. М.: ОИФЗ, 1999. С. 99–109.

УДК 378.147

**Н. В. Панов**

магистрант кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов

**А. Ф. Крячко** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

### ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ СВОЙСТВА

В данной статье рассмотрены методы создания функциональных микро- и наноматериалов.

Функциональные материалы – широкий класс веществ, которые могут быть использованы в самых разных областях жизни, они используются в медицине, электронике, космических аппаратах и т. д. Эти материалы имеют определенные физические и химические свойства, чаще всего это композиты, сплавы, полимерные соединения и т. д. Создание функционального материала требует усиления или подавления свойств материалов, которые входят в его состав. Чтобы понять, чем вызвано конкретное свойство материала, необходимо изучить его атомную структуру и отслеживать свойства материалов при ее изменении.

Для исследования атомной структуры вещества обычно используют различные дифракционные методы, оптическую и электронную спектроскопию и другие методы. Однако экспериментальными методами не обойтись без теоретической модели. Теоретические модели дают возможность предугадать, как поведет себя вещество и какие свойства обретет материал при изменении его структуры.

В современных условиях интерес представляют микро- и наноматериалы. Конструкционные и функциональные свойства таких материалов сильно отличаются от крупнозернистых аналогов, что позволяет создавать принципиально новые устройства, конструкции и приборы с такими свойствами, которые не могут быть достигнуты при использовании традиционных материалов. Использование наноматериалов с повышенными физико-механическими свойствами имеет существенное значение при создании новых изделий для космической техники и медицинского оборудования.

Для получения объемных нанокристаллических материалов используют ряд методов, которые можно разделить на группы по из физических процессов:

- компактирование нанопорошков;
- кристаллизация из аморфного состояния;
- интенсивная пластическая деформация;
- формирование высокопористых структур.

Слоистые наноматериалы получают методами физического и химического осаждения из газовой фазы, электроосаждением, многократной прокатки и другими методами. В пример слоистого наноматериала можно привести полученный методом физического осаждения наноламинат *Mo-W*, состоящего из слоев молибдена и вольфрама. Твердость и предел прочности этого материала в 15 раз превышает характеристики обычного сплава из этих же материалов. Также можно создавать наноструктурные покрытия, которые наносятся физическим или химическим осаждением из газовой фазы, магнетронным напылением, плазменным нанесением, электролитическим осаждением и другими методами.

Порошковая металлургия решает современные проблемы создания функциональных материалов в больших объемах. Преимуществом такого метода является безотходность производства. Метод порошковой металлургии основан на различных видах прессования и спекания нанопорошков. Недостатком такого метода является остаточная пористость и рекристаллизация материала. Рекристаллизацию можно уменьшить, если сократить продолжительность воздействия высоких температур на материал. При использовании высокого давления для прессования нанопорошка можно уменьшить остаточную пористость и увеличить плотность получаемого материала.

Пористость наноматериала связана с наличием нанопор в тройных стыках кристаллитов. При уменьшении дисперсности порошков заметно снижается их уплотняемость при прессовании. Понижение пористости достигается прессованием при повышенной температуре, которая не приводит к интенсивной рекристаллизации. Самые плотные образцы получают спеканием образцов, спрессованных из мелких нанопорошков, диаметром 8–10 нм, с минимальной дисперсией размеров зерен. В основном для получения компактных нанокристаллических материалов прессование с последующим спеканием достаточно перспективно.

Беспористые материалы толщиной в несколько микрон можно с помощью нанесения покрытий. Такое покрытие, как наноматериал, универсально по своему составу: размеры кристаллитов



могут изменяться в широком интервале, включая аморфные и многослойные структуры, что дает возможность применять данные покрытия в электронной технике. Беспористые наноматериалы можно также получить кристаллизацией из аморфного состояния, однако этот метод может быть использован только для сплавов, которые можно закалить из расплава в аморфное состояние.

Способов получения нанопорошков в современных условиях достаточно много, это широкая область, применяемая в разных отраслях производства. Широкую известность получил конденсационный метод получения объемных наноструктурных материалов. Это метод испарения и конденсации атомов для образования нанокристаллических частиц, осаждаемых на холодную поверхность вращающегося цилиндра. Испарение и конденсацию проводят в атмосфере разреженного инертного газа. При одинаковых условиях испарения и конденсации металлы с более высокой температурой плавления образуют частицы меньшего размера. Осажденный конденсат снимается с поверхности цилиндра и собирается. После откачки инертного газа в вакууме проводятся предварительное и окончательное прессование. Полученные этим способом компактные наноматериалы состоят из частиц со средним размером в несколько десятков нанометров. Исключение контакта с внешней средой позволяет избежать загрязнения нанокристаллических образцов, что весьма важно при получении наноструктуры металлов и сплавов.

Второй часто используемый метод – это механическое измельчение порошков. В его основе лежит механическая обработка порошков или их смесей в мельницах, при измельчении также происходит пластическая деформация вещества и перемешивание компонентов смеси на атомарном уровне. Релаксация напряжений может происходить путем выделения тепла, образованием новых поверхностей, возникновением различных дефектов в кристаллах и возбуждения химической реакции в твердой фазе. По мере увеличения мощности механических импульсов происходит переход релаксации от выделения тепла к релаксации, связанной с разрушением, пластической деформации и появлением аморфных структур различной природы. Механический размол является наиболее производительным способом получения большого количества нанопорошка различных материалов. В результате механического истирания и механического сплавления может быть достигнута полная растворимость в твердом состоянии таких элементов, взаимная растворимость которых в равновесных условиях пренебрежимо мала.

С уменьшением размера зерен нанопорошка увеличивается как его объемная доля границ раздела, так и влияние на свойства наноматериалов. Объемная доля границ раздела оценивается по формуле:

$$\Delta_{gp} = 1 - \left[ \frac{D-t}{D} \right]^3,$$

где  $t$  – толщина границ раздела;  $D$  – характерный размер зерна.

Объемную долю границ зерна можно оценить по формуле:

$$\Delta V_{mc} = [3t(D-t)^2] / D^3.$$

Объемная доля тройных стыков определяется как:

$$\Delta V_{mc} = \Delta V_{gp} - \Delta V_{g3}.$$

С уменьшением размеров зерна от 1 мкм до 2 нм объемная доля компонента увеличивается до 87,5 %.

Суть создания наноматериалов состоит в способности создавать новые устройства и системы, обладающие новыми функциональными возможностями. Управление веществом в нанометровом масштабе означает управление фундаментальной структурой и функциями на том уровне, который определяет основополагающие свойства твердого тела. Изготовление наноустройств и наноматериалов методом сборки потребовало создания совершенно новой аппаратуры. В настоящее время развитие нанотехнологий, производство и применение наноматериалов еще не достигло максимума.

### Библиографический список

1. Матренин С. В., Овечкин Б. Б. Наноструктурные материалы в машиностроении. Томск, 2009. 185 с.
2. Флек В., Лоренс Х. Теоретическое и прикладное материаловедение, 1975. 472 с.
3. Фистуль В. И. Физика и химия твердого тела. М.: Металлургия, 1995.
4. Вест А., Чернов А. Химия твердого тела. М.: Мир, 1988.

УДК 681.883.45

**М. А. Сиверс**

доктор технических наук, профессор

**В. В. Басов**

инженер

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ MIMO-OFDM В СИСТЕМАХ ГИДРОЛОКАЦИИ, ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ, НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

Рассмотрены особенности использования современных стандартов беспроводной связи для передачи информации в гидроакустическом канале. Показана эффективность применения технологий ортогонального частотного (OFDM) и пространственного (MIMO) разнесения как способа повышения скорости и достоверности передачи информации в канале с многолучевым распространением звуковых волн в водной среде.

В настоящее время в различных областях человеческой деятельности получают все более широкое распространение автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА), которые могут быть использованы в военных, научных, исследовательских, геологоразведочных, навигационных и других целях. Перспективы развития АНПА предполагают их совершенствование, и в первую очередь расширение их интеллектуальных возможностей, умение работать в «стае», то есть не одиночными АНПА, а группами однотипных АНПА. Совершенствование АНПА неразрывно связано с постоянным расширением областей применения различных гидроакустических систем.

К основным задачам гидроакустических систем можно отнести гидролокацию, обеспечение связи, определение местоположения (навигацию) и управление подводными и надводными аппаратами.

Передача информации в гидроакустических системах различного назначения может происходить посредством преобразования радиосигналов в акустические, распространяющиеся в водной среде на достаточно большие расстояния. При этом гидроакустические каналы являются одними из самых сложных сред передачи данных вследствие низкой скорости распространения звука в воде, которая составляет 1500 м/с. Время прохождения сообщений от источника до получателя по гидроакустическому каналу может быть, в отличие от радиоканала, сравнимо и даже превышать длительность самого сообщения [1].

В реальных условиях при передаче сообщений по гидроакустическому каналу, кроме суммарной шумовой помехи, существуют и другие факторы, искажающие сигнал:

- ограниченная пропускная способность в связи с затуханием сигнала, которое значительно увеличивается с увеличением частоты несущей и ширины спектра полезного сигнала;
- медленная скорость распространения звуковых волн под водой;
- явление многолучевого распространения;
- флуктуации фазы и амплитуды сигнала;
- наличие эффекта Доплера;
- взаимные помехи.

Однако решение гидроакустических задач требует создания аппаратуры, работающей в условиях гидроакустических каналов с высоким уровнем помех. Еще одним требованием к аппаратуре гидроакустических систем является широкополосность сигналов и повышение скорости передачи [2]. Например, процесс в гидролокации связанный как с увеличением дальности действия, повышением разрешающей способности по дальности и угловым координатам, так и возможностью одновременного определения дальности и радиальной скорости целей, требует использования в гидролокаторах широкополосных зондирующих сигналов большой длительности.

Указанные выше факторы приводят к тому, что для передачи информации используется канал с большой задержкой и невысоким качеством, т.е. значительным числом ошибок. Поиск эффективных методов передачи данных в таком канале был областью активных исследований в течение нескольких последних десятилетий [3].

Задержки свыше десятков и до сотен миллисекунд, которые имеют место в гидроакустических каналах, могут привести к значительным частотно-селективным искажениям. Временная задержка в

приходе волны по различным лучам изменяется довольно медленно и может достигать сотен миллисекунд. Кроме того, присутствуют поверхностные волны, внутренняя турбулентность, изменение скорости звука из-за изменения плотности среды передачи. Эти обстоятельства затрудняют создание соответствующей электрической модели гидроакустического канала и зачастую делает невозможным создание такой модели. Поэтому представляется целесообразным рассмотреть отдельные факторы, оказывающих существенное влияние на прохождение сигнала в гидроакустическом канале.

### **Задержка распространения гидроакустических сигналов**

Изменения температуры, солёности и давления морской воды зависят от региона времени суток, поры года, глубины, что приводит к изменению скорости звука в зоне действия гидроакустических сигналов. Изменения скорости звука и, соответственно, траектории лучей носят регулярный характер и поддаются более или менее точному прогнозированию. Наличие в морской среде газовых пузырьков, планктона, спонтанных подводных течений также приводит к изменению скорости звука в ней и к дополнительным потерям энергии акустической волны. Эти факторы практически не прогнозируются и носят нерегулярный характер. В целом, скорость звука в морской воде изменяется от 1440 м/с до 1520 м/с. Максимальный перепад скорости составляет примерно 5 %.

### **Потери при передаче данных**

Потери в гидроакустическом канале зависят от частоты сигнала, их можно разделить на два вида:

- потери при расширении фронта волны характеризуют эффект ослабления звукового сигнала по мере удаления фронта волны от источника;
- потери на затухание определяются поглощением звуковых волн, рефракцией, отражением от границ сред (например, воздух-вода), наличием различных звуковых каналов, многолучевым распространением.

### **Шум**

Шум в гидроакустическом канале состоит из фонового шума и шума на конкретных участках.

Фоновый шум присутствует постоянно, в то время как шум на конкретных участках зависит от расположения аппаратуры. Шум на конкретных участках не является Гауссовским и обычно моделируется с помощью смеси нормальных распределений.

Шум окружающей среды – один из примеров фоновых шумов, возникающий от волнения воды, сейсмической активности, ветровых волн, различных судов на поверхности воды, дождей и т. п.

### **Многолучевое распространение сигналов**

Многолучевое распространение появляется из-за наличия множественных путей, по которым звуковые волны могут пройти от передатчика к приемнику. Многолучевое распространение под водой вызвано отражением акустических волн от поверхности воды, дна и других объектов, а также рефракцией (искривлением траектории распространения) звуковых волн. Рефракция вызвана пространственным изменением скорости звука.

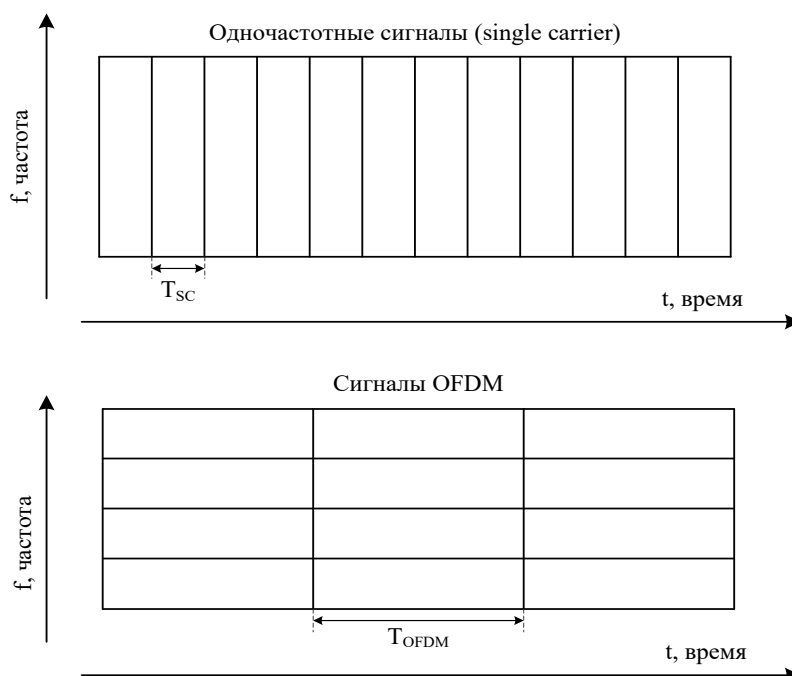
### **Эффект Доплера**

Скорость звука в гидроакустическом канале очень мала по сравнению с скоростью электромагнитных волн, поэтому искажения акустических сигналов из-за Доплеровского эффекта могут быть весьма значительными. Даже когда намеренные движения отсутствуют, датчики имеют тенденцию к дрейфу с волнами и приливами с пренебрежимой скоростью.

Распространение гидроакустических сигналов в водной среде похоже на распространение электромагнитных колебаний в городских условиях, например, сигналов сотовой связи. Поэтому целесообразно использовать достижения современных технологий беспроводных телекоммуникационных систем с учетом особенностей гидроакустических каналов.

Доминирующими технологиями физического уровня, позволяющими передавать информацию в условиях многолучевого распространения сигналов, являются OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – ортогональное частотное мультиплексирование) и MIMO (Multiple Input Multiple Output – системы с несколькими передающими и несколькими приемными антеннами) [4]. Применение OFDM обеспечивает построение простых алгоритмов обработки сигналов, а MIMO обеспечивает возможность либо заметного повышения скорости передачи данных, либо заметного увеличения расстояния, на которое передаются сообщения. Важно, что обе технологии эффективны для многолучевых каналов.

Идея формирования сигналов OFDM заключается в том, что вместо передачи одночастотных сигналов, у которых для увеличения скорости передачи информации требуется уменьшить длительность тактового интервала, увеличивается длительность тактового интервала таким образом, чтобы длительность импульсной характеристики канала (т. е. возможная глубина межсимвольной интерференции) составляла не более чем некоторую малую долю длительности тактового интервала. При этом синхронно передается очень много параллельных низкоскоростных сигналов так, чтобы получить необходимую суммарную скорость передачи информации. Для того чтобы параллельные во времени низкоскоростные сигналы не интерферировали друг с другом, их располагают на разных несущих частотах так, чтобы они были ортогональны друг другу. На рис. 1 представлен вариант увеличения длительности тактового интервала в 4 раза, при этом для сохранения фиксированной скорости передачи информации в OFDM используется 4 низкоскоростных сигнала.



$T_{OFDM}$  – длительность тактового интервала сигнала OFDM, то есть длительность OFDM-символа,  
 $T_{SC}$  – длительность тактового интервала одночастотного сигнала.

Рис. 1. Идея построения сигналов OFDM

Разделение сигналов разных частот производится дискретным преобразованием Фурье (ДПФ), которое эффективно реализуется с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ). Центральные частоты параллельно передаваемых сигналов называют поднесущими, а сумму всех передаваемых сигналов на длительности одного тактового интервала – OFDM-символом.

Вследствие неравномерности отношения сигнал-шум на разных поднесущих использование сигналов OFDM должно сопровождаться применением помехоустойчивого кодирования с перемежением.

Применение технологии OFDM имеет преимущество за счет преобразования широкополосного частотно-селективного канала с замираниями во множество узкополосных подканалов с плоскими замираниями, влияние которых может быть уменьшено простым эквалайзером.

Современным направлением развития систем передачи информации является использование в многолучевых каналах технологии MIMO. Идея этой технологии состоит в том, что в многолучевых каналах при разнесении приемных и передающих антенн на некоторое расстояние друг относительно друга с высокой вероятностью удается получить некоррелированные пространственные каналы связи, что позволяет значительно улучшить пропускную способность и показатели качества беспроводных систем связи.

В зависимости от числа передающих и числа приемных антенн системы, использующие технологию MIMO, могут быть классифицированы следующим образом (9 Федосов):

- с одним входом и одним выходом (SISO – Single-Input-Single-Output);
- с одним входом и многими выходами (SIMO – Single-Input-Multiple-Output);
- с многими входами и одним выходом (MISO – Multiple-Input-Single-Output);
- с многими входами и многими выходами (MIMO – Multiple-Input-Multiple-Output).

Под терминами «вход» и «выход» понимаются каналы между передатчиком и приемником, как показано на рис. 2

Использование технологии MIMO позволяет получить выигрыш:

- от антенной решетки – энергетический выигрыш в отношении сигнал-шум при когерентном сложении копий сигналов от разных антенн;
- разнесения на приеме, который обеспечивается за счет комбинирования независимо замирающих сигналов с различных приемных антенн, так что обработанный сигнал менее подвержен замираниям, чем сигнал приемника с одной антенной;
- в пропускной способности за счет мультиплексирования передаваемых потоков данных между разными антеннами.

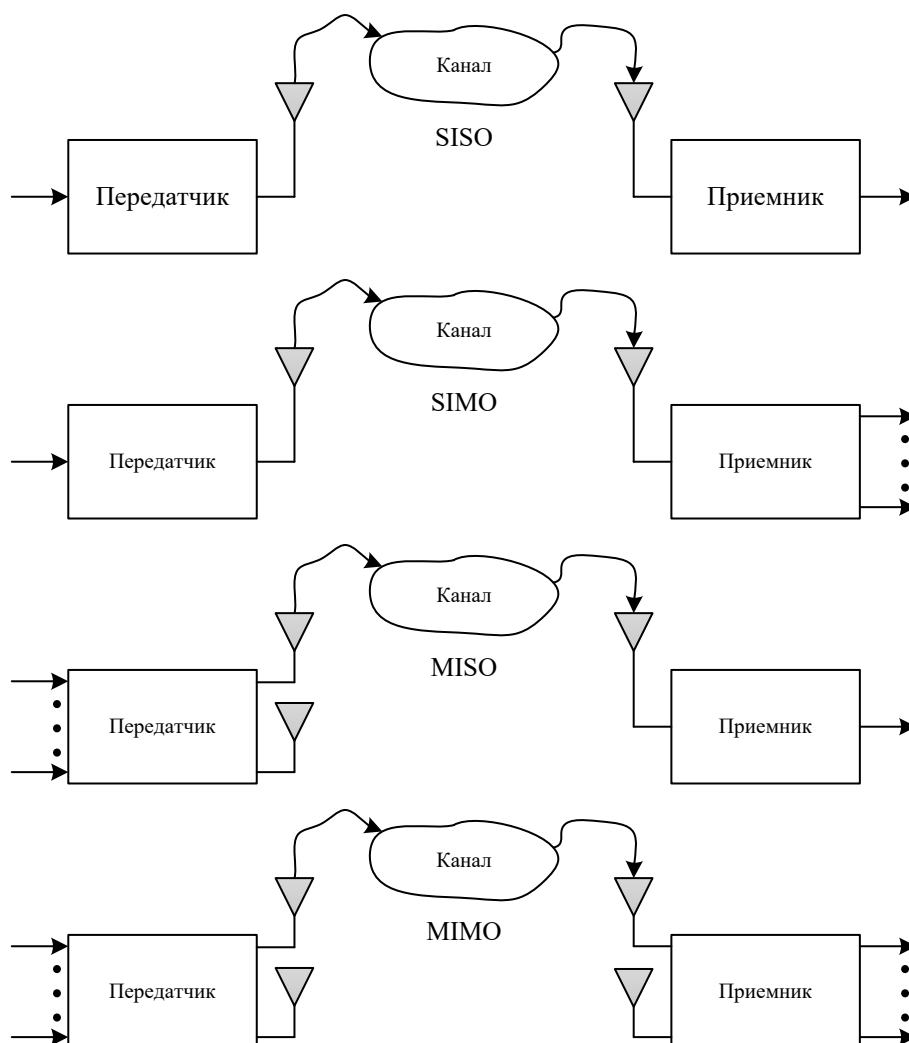


Рис. 2. Варианты организации каналов между передатчиком и приемником

Дальнейшим развитием MIMO является технология построения диаграммы направленности BF (Beam Forming). Она позволяет еще больше повысить скорость передачи информации либо увеличить дальность передачи за счет того, что передающие антенны используются как фазированная решетка, пик диаграммы направленности которой постоянно отслеживает положение приемника. Однако применение технологии BF MIMO вряд ли возможно в гидроакустическом канале из-за низкой скорости распространения сигнала.

Объединение технологий MIMO и OFDM совместно с использованием эффективных методов кодирования могут в значительной степени уменьшить влияние факторов, искажающих сигнал в гидроакустических каналах, а также повысить пропускную способность и уменьшить отношение сигнал-шум.

#### Библиографический список

1. *Каменев Г. А.* Распространение акустических импульсов. Н. Новгород, 2014.
2. *Мальшкин Г. С., Сидельников Г. Б.* Оптимальные и адаптивные методы обработки гидроакустических сигналов (обзор) // *Акустический журнал*. 2014. Т. 60. № 5. С. 526–545.
3. *Макаров А. И., Дворников В. Д., Конопелько В. К.* Передача информации в гидроакустическом канале // *Доклады БГУИР*. 2004. № 2 (6). С. 103–118.
4. *Захаров И. С.* Развитие отечественных гидроакустических средств: Начало 20-х годов – конец 50-х годов XX века: дисс. д-ра техн. наук. СПб., 2004. 390 с.
5. *Федосов В. П., Легин А. А., Ломакина А. В.* Алгоритмы, основанные на MIMO-OFDM, для реализации цифрового гидроакустического канала связи // *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2015. № 7 (168). С.148–158.

УДК 378.147

**И. Ю. Смирнов**

магистрант кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов

**А. Ф. Крячко** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

### ОЦЕНКА МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ КОНТУРОВ НА ТЕЛЕВИЗИОННОМ ИЗОБРАЖЕНИИ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В данной статье рассмотрен помехоустойчивый метод градиентной селекции контуров объектов на цифровых полутоновых телевизионных изображениях.

На сегодняшний день телевидение высокой четкости активно развивается во всем мире.

Современное ТВЧ включает в себя систему идентификацию телевизионного изображения. Также возрастает объем хранимой информации и ее достоверность. Именно поэтому появляется необходимость в разработке высокоэффективных алгоритмов обработки изображения и извлечения полезных данных из больших массивов изображений, полученных на фоне шумов различной интенсивности.

В настоящее время обработка ТВ изображений разделена на несколько этапов:

- 1) формирование цифрового представления изображения (дискретизация, квантование и ввод изображения в память компьютера);
- 2) предварительная обработка изображений (восстановление и фильтрация);
- 3) формирование изображения (сегментация и выделение контуров).

Идентификации телевизионных изображений может мешать отсутствие необходимых сведений о видах фоновых шумов, воздействующих на сигнал, и на практике в большинстве случаев такая информация отсутствует или является приближенной.

Существующие методы и алгоритмы обработки двумерных сигналов и телевизионных изображений позволяют решать задачи достоверной обработки, при условии известной информации о процессе, что не всегда возможно.

Решением данной проблемы может послужить решение задачи выделения контуров.

Обычно сплайн-аппроксимация дискретных значений изображений и сигналов при наличии интенсивных фоновых шумов непродуктивна и приводит к погрешностям. Рассмотрим на примере:

В ряде задач обработки сигналов доступен процесс  $S(t)$ , а информативным параметром является его производная  $\frac{\partial S(t)}{\partial t}$ .

Рассмотрим одно из широко используемых в практике разностных отношений для приближенного вычисления функции:

$$\frac{\partial S(t_k)}{\partial t} \approx S_{t,k} = \frac{S(t_k) - S(t_{k-1})}{h},$$

где  $h$  – шаг,  $S(t_k)$  – выборочные значения сигнала.

Возникающая в результате такой замены методическая погрешность аппроксимации характеризуется разложением:

$$S_{t,k} = \frac{\partial S(t_k)}{\partial t} - \frac{h}{2} \frac{\partial^2 S(\xi_k^{(j)})}{\partial t^2},$$

где  $\xi_k^{(j)}$ ,  $j = 1, 2, 3$  – точки интервала  $(t_{k-1}, t_{k+1})$ .

Погрешность, которая возникает при вычислении разностных отношений, превосходит погрешность в задании значений функции  $S(t_k)$  и может возрасти при стремлении шага сетки  $h$  к нулю.

Операция численного дифференцирования в данном случае является некорректной. Это связано с тем, что для нахождения приближения  $S_{t,k}$  к  $\frac{\partial S(t_k)}{\partial t}$  необходимо, чтобы шаг  $h$  был малым.

Задача выделения контуров телевизионных изображений решена новым методом сплайн-дифференцирования. Этот метод заключается в том, что матрица изображения разбивается на строки и столбцы, затем выполняется дифференцирование, и после вычисляются операторы выделения контуров.

Контуров изображения определяются с использованием градиента интенсивности.

Рассмотрим подробнее решение задачи выделения контуров телевизионных изображений с использованием метода сплайн-дифференцирования.

Разобьем матрицу изображения  $S(i,j)$  на строки и столбцы, проведем дифференцирование и затем вычислим операторы выделения контуров. В отличие от других подходов, при дифференцировании будет учитываться информация об интенсивности во всей строке изображения, что позволит минимизировать влияние шума.

Выражение для параболического  $B$ -сплайна записывается следующим образом:

$$F_c(x) = \sum_{i=0}^{N+1} b_i B_3^i(\chi_{i3}), \quad \chi_{i3} = \frac{1}{h} \left( x - x_{i+\frac{n+1}{2}} \right),$$

где  $b_i$  – коэффициенты сплайна;  $x_{i+\frac{n+1}{2}}$  – координаты середины носителя  $B$ -сплайна;  $n$  – степень сплайна;  $h$  – шаг сетки.

Пусть задана матрица  $S(i,j)$  черно-белого изображения размером  $N \times N$ . Для решения задачи выделения контуров мы разделяем матрицу изображения на строки и столбцы.

$S_i = [S_{i1}, \dots, S_{ij}, \dots, S_{iN}]$  –  $i$ -я строка матрицы;

$$S_j = \begin{pmatrix} S_{1j} \\ \vdots \\ S_{ij} \\ \vdots \\ S_{Nj} \end{pmatrix} \text{ – } j\text{-й столбец матрицы;}$$

$S_{1i} = \frac{\partial S_i}{\partial x}$  – вектор-строка, полученная дифференцированием  $i$ -й строки матрицы  $S(i,j)$ ;

$S_{1j} = \frac{\partial S_j}{\partial y}$  – вектор-столбец, полученный дифференцированием  $j$ -й столбца матрицы  $S(i,j)$ ;

Далее составляем выражения для производных по строкам и столбцам и записываем в следующем виде:

$$\frac{\partial S_i}{\partial x} = \sum_{i=1}^{N-1} \left( \frac{\chi^2}{2h} (b_{i+2} - 3b_{i+1} + 3b_i - b_{i-1}) + \frac{\chi}{h} (b_{i+1} - 2b_i + b_{i-1}) + \frac{1}{2h} (b_{i+1} - b_{i-1}) \right),$$

$$\frac{\partial S_j}{\partial y} = \sum_{j=1}^{N-1} \left( \frac{\gamma^2}{2h} (b_{j+2} - 3b_{j+1} + 3b_j - b_{j-1}) + \frac{\gamma}{h} (b_{j+1} - 2b_j + b_{j-1}) + \frac{1}{2h} (b_{j+1} - b_{j-1}) \right).$$

Далее контуры изображения могут быть определены с использованием градиента.

Градиент интенсивности представляет собой вектор, не зависящий от выбора системы координат, то есть он сохраняет свою величину и ориентацию по отношению к лежащему в основе образу, когда этот образ поворачивается или сдвигается.

Выражение для градиента интенсивности  $G(S(i,j))$  можно записать следующим образом:



$$G(S(i, j)) = \left[ \sum_{i=1}^{N-1} \left( \frac{\chi^2}{2h} (b_{i+2} - 3b_{i+1} + 3b_i - b_{i-1}) + \frac{\chi}{h} (b_{i+1} - 2b_i + b_{i-1}) + \frac{1}{2h} (b_{i+1} - b_{i-1}) \right)^2 + \sum_{j=1}^{N-1} \left( \frac{\gamma^2}{2h} (b_{j+2} - 3b_{j+1} + 3b_j - b_{j-1}) + \frac{\gamma}{h} (b_{j+1} - 2b_j + b_{j-1}) + \frac{1}{2h} (b_{j+1} - b_{j-1}) \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Таким образом, в рассмотренной методике градиентной селекции контуров объектов на цифровых полутонных телевизионных изображениях, предполагает вычисление градиента яркости в каждой точке изображения путем вычисления квадратного корня из суммы квадратов и составляющих градиента яркости изображения.

Данный метод обнаружения контуров имеет более высокую помехоустойчивость, чем алгоритмы, основанные на стандартных процедурах дифференцирования из-за того. Метод позволяет уйти от использования различных масок при выделении контуров изображений и избежать большой погрешности при дифференцировании.

### Библиографический список

1. Безуглов Д. А., Воронин В. В. Математическое моделирование процессов обработки изображений в телевизионных системах // Материаловедение и техника. 2019. № 680. С. 236–242.
2. Методы компьютерной обработки изображений / М. В. Гашников, Н. И. Глумов, Н. Ю. Ильясова, В. В. Мясников. М.: Физмалит, 2003. 794 с.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М: Техносфера, 2005. 1072 с.
4. Безуглов Д. А. Обнаружение контуров изображений на основе дискретного вейвлет-преобразования / Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Московский технический университет связи и информатики. 2017. № 2. С. 200–208.
5. Крутов В. А., Безуглов Д. А., Швачко О. В. Идентификация телевизионных изображений системы технического зрения на основе математического аппарата кубических нормализованных В-сплайнов // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. 2017. № 4. С. 97–106.

УДК 378.147

**А. Э. Сыненко**

магистрант кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов

**А. Ф. Крячко** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

### АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ НАГРЕВ И ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА КОНСТРУКЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ПОМОЩЬЮ ЭВТИ

Целью данной статьи является описание принципов тепловой защиты элементов конструкции летательного аппарата при аэродинамическом нагреве.

Повседневное присутствие человека за пределами земной атмосферы, а также освоение других планет нашей солнечной системы крайне сложно, если не существует надежного способа перемещения необходимых грузов на орбиту, сравнимого с перемещением грузов пассажирскими авиалайнерами. Решение данной проблемы создало бы бесперебойное перемещение оборудования и персонала на орбиту планеты Земля, а также доставку необходимых строительных материалов для орбитальных предприятий.

Для решения данной проблемы главным претендентом является воздушно-космический самолет (ВКС). Такой самолет мог бы совершать многократные гиперзвуковые перемещения в атмосфере без технических потерь.

Одной из главных проблем создания ГЛА (рис. 1), совершающих длительное движение в атмосфере Земли и других планет, является длительное воздействие аэродинамического нагрева на корпус ГЛА, а, следовательно, проблема обеспечения тепловой защиты [1, 2].

Аэродинамический нагрев – это процесс нагрева конструкции летательных аппаратов при полете в атмосфере с большей скоростью. Физическая природа аэродинамического нагрева обусловлена тем, что в связи с громадной скоростью полета аппарата, молекулы атмосферы обладают относительно аппарата большой кинетической энергией. Достигнув у поверхности аппарата ударной волны, а затем сжатого и вязкого пограничного слоя, молекулы начинают тормозиться. При торможении высокоскоростных частиц их кинетическая энергия переходит в тепловую. Этот процесс способствует значительному возрастанию температуры газа у поверхности, что порождает мощный конвективный тепловой поток в конструкцию аппарата и, как следствие этого, вызывает интенсивный нагрев его элементов конструкции.

Например, при скорости полета  $V_\infty \approx 1000$  м/с, в три раза превышающей скорость звука, температура торможения набегающего потока достигает значения  $T_0 \approx 1000$  К, а при скорости  $V_\infty \approx 2000$  м/с (число Маха  $M \approx 6$ ), эта температура возрастает уже до уровня  $T_0 \approx 2250$  К.

Практически все летательные аппараты (ЛА) ракетно-космической техники, скорость полета которых в атмосфере превышает  $M > 3$ , требуют создания на их борту специальной системы тепловой защиты (ТЗ), которая предназначена защитить конструкцию аппарата и бортовые системы от теплового и газодинамического воздействия. Необходимость этого обусловлена тем, что механические характеристики конструкционных материалов сильно падают с увеличением температуры.

Космический корабль типа «Союз», находящийся в полете на околоземной орбите. Его масса  $m = \sim 5000$  кг. Скорость полета  $V_\infty = \sim 8000$  м/с. Тогда кинетическая энергия аппарата равна:

$$E_{АП.} = \frac{m \cdot V_\infty^2}{2}$$

Таким образом, на орбите космический аппарат «Союз» имеет кинетическую энергию  $\sim 10^{11}$  Дж. При посадке корабля на Землю, кинетическая энергия аппарата равна нулю, то есть вся кинетическая энергия, которой обладал аппарат на орбите, перешла в энергию аэродинамического нагрева как самого аппарата, так и обтекающего его газа.

Чтобы ощутить потенциальные возможности использования энергии такого уровня, вспомним, что для плавления и испарения 1-го килограмма льда необходимо затратить  $r_{исп} = 2,26 \times 10^6$  Дж/кг.

Тогда кинетической энергии, которой обладает аппарат на орбите, достаточно для испарения ~45 тонн льда или, например, ~ 13,5 тонн меди.

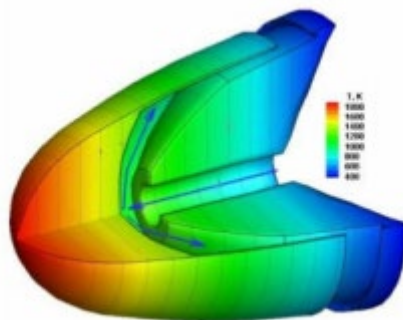


Рис. 1. Тепловая нагрузка на корпус ГЛА

В настоящее время существует огромное количество способов активной и пассивной тепловой защиты.

Из этого следует, что гиперзвуковой летательный аппарат по способу взаимодействия с набегающим потоком можно разделить на условные две группы: открытые и закрытые. К закрытым системам относятся современные ГЛА, которые игнорируют потраченную энергию на преодоление силы сопротивления атмосферы. Эта энергия лишь воздействует на обшивку аппарата и нагревает ее. К таким ЛА можно отнести «*Space Shuttle*», выпущенный в 1981 в США, индийский «*Avatar*» 1998 года выпуска, российский «*Буран*» (рис. 2) 1988 года выпуска, китайский «*Шеньлунь*», совершивший первый суборбитальный полет в 2011 году и множество других. Например, в системах «*Спираль*» советского производства теплозащита была выполнена с применением плакированных пластин, то есть покрытой методом горячей прокатки поверхности материала слоем металла. В данном случае был ниобиевый сплав с покрытием на основе дисилицида молибдена. Температура поверхности носовой части фюзеляжа на разных стадиях спуска с орбиты могла достигать 1600 °C [3]. У «*Спирали*» снизу предполагалось установить экран тепловой защиты, имеющий сходство с рыбьей чешуей. Вследствие чего можно сделать вывод, что на начальных этапах создания гиперзвуковых летательных аппаратов для борьбы с высокими температурами предлагалось использовать теплостойкие сплавы с покрытием, защищающим от окисления. Важно заметить, что во время ведения разработок этого проекта была актуальна идея теплозащиты летательного аппарата сверхлегкими керамическими плитками, покрывающими весь корпус аппарата. Именно эта система использовалась в проекте США «*Space Shuttle*» и советском «*Энергия-Буран*».



Рис.2. Космический корабль Буран

В то время опыт производства тепловой защиты из тугоплавких металлов уже имелся. Но, ввиду слишком большого веса, сложности расширений и сжатий при резком перепаде температур более 1000 °C, возможности разрушения антикоррозийного покрытия заставили использовать при создании системы «*Space Shuttle*» пассивную тепловую защиту в виде керамических плиток (рис. 3). Из-за схожести принципов создания «*Space Shuttle*» и «*Энергия-Буран*», многоразовая тепловая защита «*Бурана*» идентична тепловой защите «*Челнока*» [3].



Рис. 3. Плиточная тепловая защита шаттла Индевор

Самая высокая температура орбитальной ступени приходится на носовую часть (до 1600 °С), на переднюю кромку крыла (1340 °С), на заднюю кромку крыла (1090–1260 °С) и на киль (1175 °С) [3, 4]. Для создания тепловой защиты американского ВКС «Колумбия» было затрачено около 31 000 единиц керамической плитки. Масса готового изделия составляла более 7 тонн при наружной площади 1100 м<sup>2</sup> [5]. Несомненно, такая теплозащита крайне нецелесообразна, подтверждением этому явились аварии двух американских шаттлов программы «Space Shuttle» (1986 г.), «Челленджер» и «Колумбия» (2003 г.) [6]. Также недостатком являются низкие допустимые тепловые нагрузки материалов данной теплозащиты, что влечет собой увеличение габаритных размеров и массы корпуса ЛА. Ввиду увеличения аэродинамического сопротивления, сильно возрастает стоимость.

Стремление к созданию конструкции с максимальным числом экранов при их минимальной массе привело к появлению экранно-вакуумной теплоизоляции (ЭВТИ) – пакета экранов, выполненных из фольги или металлизированной пленки толщиной 5÷10 мкм, переложенных для уменьшения контактов между ними стекловалью или стеклосеткой. Возможно применение пакетов экранов и без прокладок между ними, но в этом случае экраны имеют рифление, обеспечивающее точечные контакты между ними. Свойства ЭВТИ существенно зависят от температуры, так как основной теплообмен в ней осуществляется излучением; ее достоинством по сравнению с другими видами изоляции являются малые массовые затраты в вакууме на единицу термического сопротивления (в 5÷10 раз меньше, чем у пористых изоляционных материалов).

В инженерной практике теплоизоляционные свойства ЭВТИ оцениваются величиной удельного термического сопротивления  $R$ . Именно величину  $R$  используют при исследовании теплового режима КА, в состав средств обеспечения теплового режима которого входит ЭВТИ. При этом величину  $q_0$  определяют следующим выражением:

$$q_0 = \frac{T_W - T_0}{R}.$$

Поскольку  $T_W^4 = \frac{q_W - q_0}{\varepsilon_W \sigma}$ , используя первое вышеприведенное выражение для  $q_0$ , получим сле-

дующее выражение для оценки величины  $R$ :

$$R = \frac{n - 1}{\varepsilon_{ПРИВ} \sigma (T_W^2 + T_0^2) \cdot (T_W + T_0)}.$$

Значительный интерес представляют результаты сопоставления теплоизоляционных свойств ЭВТИ со свойствами обычных теплоизоляционных материалов, тепловая проводимость которых характеризуется, как правило, коэффициентом теплопроводности  $\lambda$ . Связь между  $\lambda$  и  $R$  можно легко установить, если известна толщина  $\delta$  теплоизоляции. Действительно, с одной стороны,

$$q_0 = \frac{\lambda}{\delta} (T_W - T_0),$$

с другой –  $q_0 = \frac{T_W - T_0}{R}$ , следовательно  $\lambda = \frac{\delta}{R}$ .

При  $\varepsilon = 0.1, n = 20, T_W = T_0 = 300\text{K}, R \approx 60 \frac{\text{КМ}^2}{\text{вт}}$ . Если предположить при этом, что плотность укладки экранов составляет 10 экранов на 1 см (не обжатое состояние), то при  $\delta = 2\text{см} \lambda = 0.33 \cdot 10^{-3} \frac{\text{вт}}{\text{МК}}$ . Заметим, что самые лучшие в отношении теплоизоляционных свойств пористые материалы (пенопласты, паралоны и т. д.) по крайней мере в десятки раз уступают ЭВТИ, проигрывая в то же время ЭВТИ многократно и по массовым характеристикам.

Изолируя отсеки и элементы КА экранно-вакуумной теплоизоляцией, можно свести влияние внешнего теплообмена на внутреннее тепловое состояние этих отсеков и элементов к малой, а во многих случаях и к пренебрежимо малой величине.

### Библиографический список

1. Цандер Ф. А. Проблема полета при помощи ракетных аппаратов / Под ред. М. К. Тихонравова. М.: Оборонгиз, 1947. 237 с.
2. Вопросы теплотехнического проектирования перспективных гиперзвуковых летательных аппаратов аэробаллистического типа / А. А. Коробков, Е. Г. Ватолина, А. В. Братчев и др. // Серпухов: Известия ИИФ. 2009. № 2 (12). С. 42–49.
3. Лукашевич В. П., Афанасьев И. Б. Космические крылья. М.: Лента странствий, 2009. 496 с.
4. Нейланд В. Я., Тумин А. М. Аэротермодинамика воздушно-космических самолетов. Конспект лекций. Жуковский: ФАЛТ МФТИ, 1991. 201 с.
5. Новости Космонавтики. 2003. № 9. С. 10–13.
6. Спейс шаттл: URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/спейс\\_шаттл](https://ru.wikipedia.org/wiki/спейс_шаттл) (дата обращения: 02.06.2019).

УДК 378.147

**И. О. Шаглин**

магистрант кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов

**А. Ф. Крячко** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

### ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОСЛАБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА В ПЫЛИ

В данной статье рассматривается один из способов оценки влияния ослабления электромагнитных волн миллиметрового диапазона в пыли с учетом диэлектрической проницаемости твердых частиц.

Радиолокационная станция (РЛС) по целому ряду причин работают в миллиметровом диапазоне радиоволн [1]. При этом международные стандарты, например, для автомобильных радиолокаторов определяют два основных частотных диапазона: 24 ГГц и 77–79 ГГц [2].

Известно, что в миллиметровом диапазоне ослабление электромагнитной энергии в атмосфере начинает увеличиваться с ростом частоты зондирующего сигнала [3]. Это объясняется двумя явлениями: поглощением и рассеянием электромагнитной волны на капельных образованиях, а также на твердых частицах. Поглощение вызывается тепловыми потерями в частицах воды или пыли, а потери от рассеяния объясняются перераспределением энергии в пространстве. С увеличением частоты рассеивающий эффект увеличивается.

В случае миллиметрового диапазона коэффициент ослабления представляется в виде следующего выражения [4]:

$$k = \frac{2.317 \cdot 10^{-3} \cdot \epsilon'' \cdot M}{\left[ (\epsilon' + 2)^2 + \epsilon''^2 \right] \cdot \lambda \cdot C} \left[ \frac{\text{дБ}}{\text{км}} \right], \quad (1)$$

где  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  – действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости частиц пыли,

$\lambda$  – длина волны в метрах;  $M$  – концентрация пыли в воздухе;  $C = 2.3 \cdot 10^{-3} \text{ г} \cdot \text{н}^{-3} \cdot \text{км}$  [5].

Значения диэлектрической проницаемости (действительной и мнимой частей)  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  согласно [3] и [5] приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости

Частота	$\epsilon'$	$\epsilon''$
24 ГГц	5.1	1.4
39 ГГц	4	1.33
77 ГГц	3.5	1.64
79 ГГц	3.5	1.64

Зависимость ослабления электромагнитной волны  $A_d$  (дБ) в пыли от дальности  $S$  (м) описывается следующим выражением:

$$A_d = k \cdot S, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент ослабления из выражения 1.

Графики зависимости  $A_d$  (дБ) от  $S$  (м) для указанных в табл. 1 частот будут представлены на рисунках 1 и 2, при различных значениях концентрации пыли, которые соответствуют разным значениям оптической видимости.

Концентрация пыли  $M = 3.5 \cdot 10^{-1} \text{ г/м}^{-3}$  соответствует оптической видимости около 10 м [5], то есть оптические сенсоры в таких условиях не работают. При этом анализ графиков (рис. 1 и 2) показывает, что в случае высокой концентрации пыли затухание электромагнитных волн в миллиметровом диапазоне длин составляет не более 1 дБ.

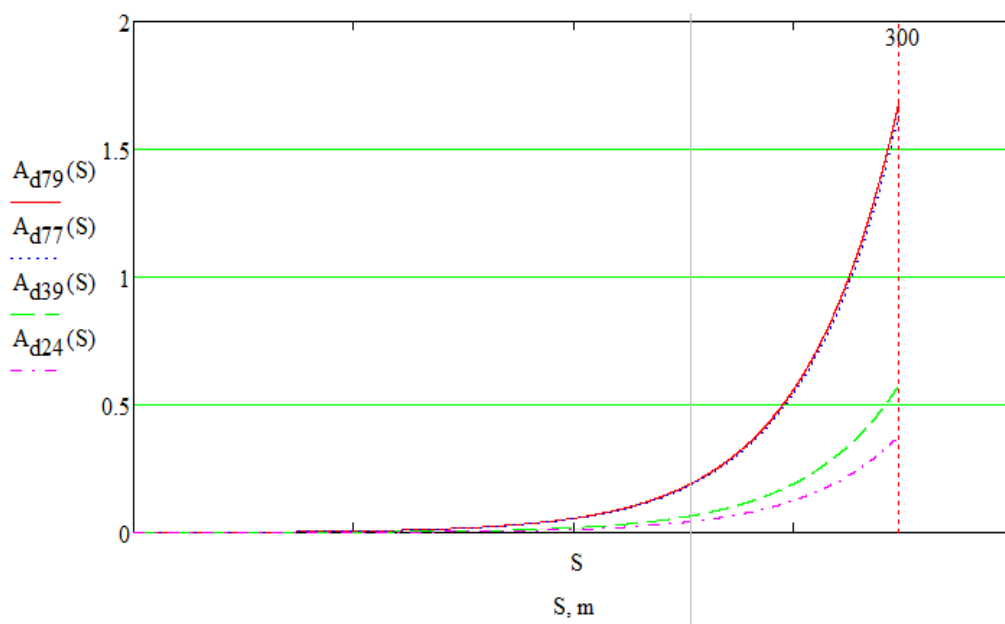


Рис. 1. Зависимость величины ослабления электромагнитной волны в пыли от дальности при концентрации пыли  $M = 3.5 \cdot 10^{-1} \text{ г/м}^3$

Построим график для значения концентрации пыли  $M = 2.7 \cdot 10^{-2} \text{ г/м}^3$  и результат покажем на рис.

2.

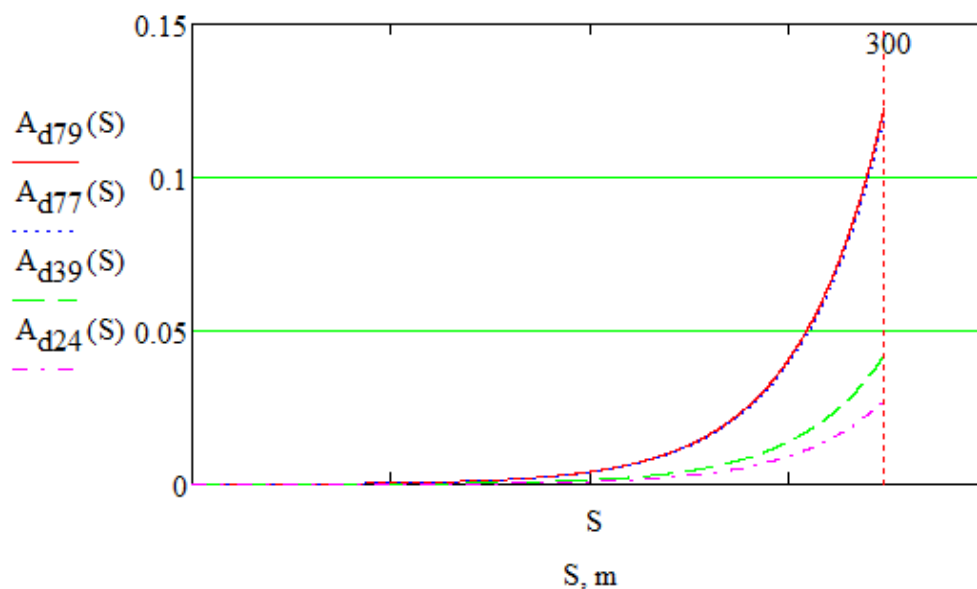


Рис. 2. Зависимость величины ослабления электромагнитной волны в пыли от дальности при концентрации пыли  $M = 2.7 \cdot 10^{-2} \text{ г/м}^3$

На основе проведенного анализа можно утверждать, что радиолокационные системы, использующие для работы миллиметровый диапазон волн (24, 39, 77 и 79 ГГц), испытывают проблемы с передачей и приемом сигнала только в сильно запыленных средах и на большой дистанции. Также ослабление волн стоит учитывать при передаче слабых сигналов. При этом ослабление электромагнитных волн миллиметрового диапазона в пыли даже при ее высокой концентрации (при малой оптической

видимости – 10 м) на дальности 200 м составит всего 0.85 dB в диапазоне 76–79 Гц, что действительно мало.

### Библиографический список

1. Особенности радиолокационных образов в системах радиовидения ММ-диапазона / А. Е. Ананенков, А. В. Коновальцев, В. М. Нуждин и др. // *Инновации*. 2005. № 6. С. 98–104.
2. Микроволновый датчик определения дистанции вертолетной системы пожаротушения / А. Е. Ананенков А. В. Карпышев, Г. А. Морозов и др. // *Известия вузов. Авиационная техника*. 2014. № 4. С. 57–60.
3. *Elabdin Z., Islam M., Khalifa O.* Mathematical model for the prediction of microwave signal attenuation due to duststorm, *Progress in Electromagnetics Research M*. 2009. Vol. 6. P. 139–153.
4. *Goldhirsh J.* A parameter review and assessment of attenuation and backscatter properties associated with dust storms over desert regions in the frequency range of 1 to 10 GHz, *IEEE Trans. Antennas Propagation*. 1982. Vol. AP-30. P. 1121–1127.
5. *Patterson E., Gillette D.* Measurements of visibility vs. mass-concentration for air-borne soil particles, *Atmospheric Environment*. 1977. Vol. 11. N 2. P. 193–196.



УДК 534(204.1)

**А. А. Ашмарин**

магистрант кафедры радиотехнических систем

**В. В. Тарасов**

бакалавр кафедры медицинской радиоэлектроники

**Ю. А. Корнеев** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ МНОГОЛУЧЕВОГО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ОБЗОРА**

Повышение интенсивности разработок полезных ископаемых на шельфе мирового океана и создание для их освоения специальных морских платформ требует создание систем освещения подводной обстановки в местах размещения этих платформ. Основным назначением систем такого рода является недопущение проникновения нарушителей в зону работы платформы, контроль судоходства в районе размещения платформы.

Важнейшей остается задача охраны районов интенсивного рыболовства и осуществление безопасности судоходства. Для ее решения предпочтителен выбор гидроакустической системы, работающей в режиме шумопеленгования (ШП), обобщенная блок-схема которой изображена на рис. 1.

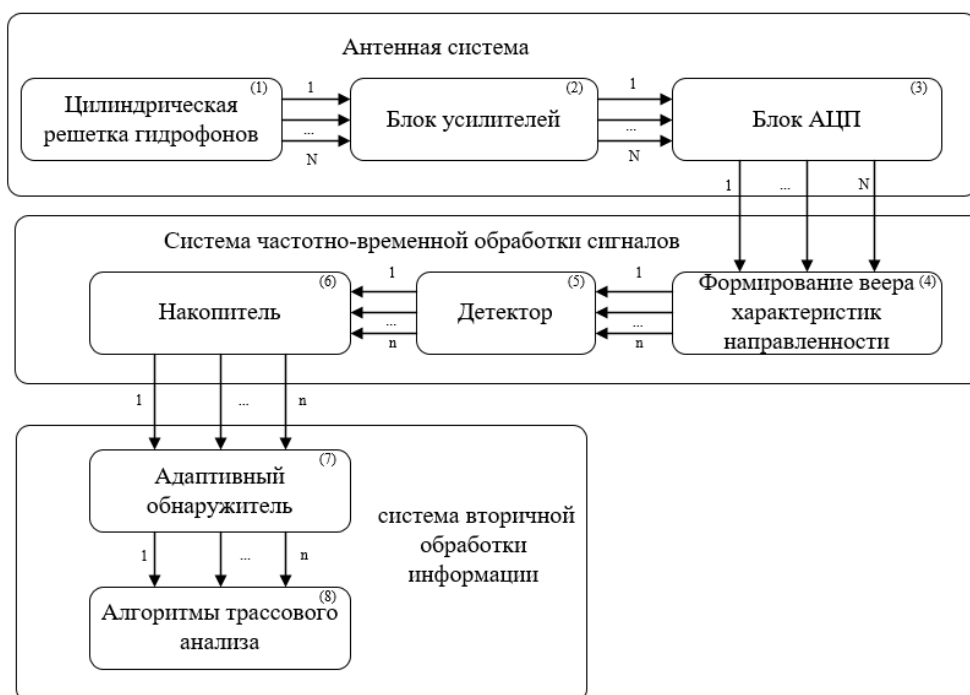


Рис. 1. Обобщенная блок-схема работы системы гидроакустического мониторинга

Схема включает в себя блоки, реализующие алгоритмы первичной и вторичной обработки сигналов.

Антенная система состоит из нескольких блоков, первым из которых является гидроакустическая антенна, состоящая из гидрофонов, преобразующих акустическую энергию в электрическую (блок 1 на рис. 1).

Следующими элементами антенной системы в каждом канале являются усилитель и аналого-цифровой преобразователь (АЦП) (блоки 2 и 3 на рис. 1). Число усилителей и АЦП равняется числу

гидрофонов в антенне. В дальнейшем оно будет определять диаграмму направленности в угломестной плоскости.

В состав первичной обработки входят алгоритмы формирования характеристик направленности (блок 4 на рис. 1), детектирования сигналов (блок 5 на рис. 1) и их накопление (блок 6 на рис. 1).

Все методы формирования характеристик направленности (ХН) можно разделить на два основных типа: формирование ХН во временной и частотной областях [1, 2].

В рассматриваемой системе на цилиндрической антенной решетке формируется множество ХН. При пространственной обработке принятых антенной решеткой сигналов применяется метод формирования ХН в частотной области, базирующийся на использовании быстрого преобразования Фурье (БПФ) [3].

После формирования кругового веера ХН необходимо произвести оценку мощности суммарного сигнала в ХН. Этот шаг обработки реализуется квадратичным детектированием сигналов с последующим временным интегрированием отсчетов по всей полосе обрабатываемых частот.

Завершающим этапом работы системы гидроакустического мониторинга является вторичная обработка сигналов. Система вторичной обработки реализует процедуру адаптивного обнаружения сигналов шумящих объектов (блок 7 на рис. 1.), измерения азимута и оценку трассы шумящего объекта (блок 8 на рис. 1). Используя результаты обработки данных, строится полная картина движения объекта.

Непосредственно перед вторичной обработкой необходимо сформировать гидролокационное (ГЛ) изображение, соответствующее текущей сигнально-помеховой обстановке.

Реализованный алгоритм расчета и моделирования состоит из следующих этапов:

задание исходных данных;

формирование сигналов и шумов: сигнал – гаусовский шумовой с заданной спектральной плотностью давления или тональный, составляющие шумов (шум моря, шум судоходства, динамический шум);

первичная обработка (формирование характеристик направленности с учетом скорости звука и без учета параметров среды распространения, накопитель).

Для формирования ГЛ изображения будет использована рассчитанная и смоделированная в пакете *Matlab* цилиндрическая антенная решетка (рис. 2а). На данном рисунке изображен веер характеристик направленности (ХН) антенны, а также произвольно взятая линейная трасса движения объекта. На второй части рисунка представлено смоделированное, на основе взятой линейной трассы ГЛ изображение (рис. 2б).

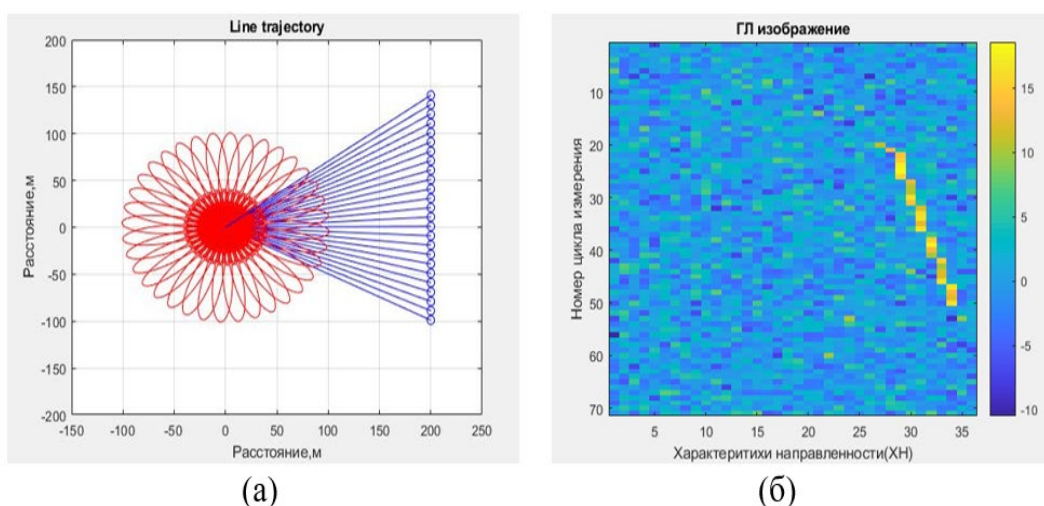


Рис. 2. Реализация алгоритма многолучевого параллельного обзора:  
а – веер ХН антенны и линейная трасса движения; б – модель ГЛ изображения

Как видно из результата работы алгоритма (рис. 2б) мы просуммировали все шумовые сигналы, которые приходят в каналы системы. И тем самым образом увеличили отношение сигнал-шум в каждом канале.

К характерным проблемам, возникающим на этапе обнаружения объектов, нужно отнести:

- неоднородность фоновых шумов по курсовому углу. Последнее накладывает специальные требования на алгоритмы формирования порогового уровня при адаптивном обнаружении;
- необходимость согласования времени некогерентного накопления с угловой скоростью перемещения объекта.

#### **Библиографический список**

1. Урик Р. Основы гидроакустики; пер. с англ. Н. М. Гусева. Л.: Судостроение, 1978. 448 с.
2. Болгов В. М., Плахов В. Е., Яковлев Д. Д. Акустические шумы и помехи на судах. Л.: Судостроение, 1984. 192 с.
3. Карabanов И. В., Миронов А. С. Алгоритмы обработки гидроакустических сигналов. Хабаровск, 2018. 140 с.
4. Белецкий Ю. С. Методы и алгоритмы контрастного обнаружения сигналов на фоне помех с априори неизвестными характеристиками. М.: Радиотехника, 2011. 438 с.

УДК 621.391

**К. Д. Бессонов**

магистрант кафедры радиотехнических систем

## АНАЛИЗ СФЕР ПРИМЕНЕНИЯ И АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЗВУКОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

В работе рассматриваются преимущества использования в качестве носителя информации акустические волны слышимого диапазона частот. Такие системы образуют альтернативы системам, использующим электромагнитные (ЭМ) волны, так как на практике возникают ситуации, когда применение ЭМ волн невозможно или нежелательно. Показаны примеры условий обоснованного применения акустических систем передачи информации по воздушному каналу и возможный подход к выбору аппаратного обеспечения.

Для решения задач ближней передачи данных (от нескольких миллиметров, до 20 м) в качестве носителя обычно выбираются ЭМ волны, например, системы ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi. Распространенной альтернативой являются оптические системы передачи информации, однако они подвержены помехам от солнечного и искусственного света [1]. Второй альтернативой, обладающей рядом преимуществ перед указанными выше решениями, является использование акустического канала и, в частности, использование воздушного акустического канала в слышимом диапазоне волн. Одним из главных преимуществ такого канала является его естественная с точки зрения организма человека природа, в то время как вопросы влияния на здоровье человека большого количества окружающих его радиоустройств являются предметом дискуссий. К примеру, с 2015 года во Франции при работе с детьми младше трех лет запрещено использование радиоустройств Wi-Fi [2].

В ситуациях, когда отсутствует необходимость высокой скорости передачи и связь осуществляется на малых дистанциях, возможностей акустического канала может быть достаточно. Например, существует разработка по внедрению дополнительного информационного сигнала в звуковые дорожки кинофильмов или других передач в кино и телевидении, называемая «вторым экраном» [3].

### Передача информации с использованием мобильных устройств

В настоящее время для передачи информации между смартфонами используются технологии Wi-Fi, Bluetooth и NFC (для близкой защищенной передачи данных). Эти системы используют ЭМ волны и, как правило, отключаются после каждой сессии с целью энергосбережения. В смартфонах, как и во многих других мобильных средствах, есть встроенные динамическая головка и микрофон, которые можно использовать для акустической передачи данных как альтернативу ЭМ-системам. Но необходимо отметить, что через акустический канал возможна только низкоскоростная передача в связи с тем, что несущая частота звукового сигнала меньше в тысячи раз по сравнению с ЭМ.

Радиосвязь малого радиуса действия сейчас используется повсеместно. Один из самых частых примеров – бесконтактная оплата банковской картой. Данная процедура использует технологию NFC и может быть «подслушана» с расстояния до 15 м [4]. Данная проблема решается путем использования алгоритма Диффи-Хеллмана для установки общего секретного ключа в начале каждой сессии.

Так как приложения, чувствительные к вопросам безопасности, как правило, обмениваются всего несколькими сообщениями, то процесс обмена ключами по объему может быть сравним со всей сессией в целом [5].

Тот факт, что акустические волны быстро угасают с увеличением расстояния, обращается в преимущество, когда речь идет о передаче конфиденциальной информации на малые расстояния. Данную особенность использует система «PriWhisper», не требующая обмена ключами для передачи данных [6]. Также в этой системе исключен обмен ключами за счет постановки «дружественных» помех. Третья сторона не способна правильно декодировать сообщение, поскольку только приемная сторона знает, какие именно искажения были внесены во время передачи информации, ведь именно она воспроизводит искусственный шум во время передачи.

## Использование акустической передачи данных для работы с широкой публикой

Звуковые маяки, использующие верхнюю часть слышимого диапазона (18,5–20 кГц), применяются для различных целей, например: реклама, определение местоположения и т. п. [7]. Существуют такие приложения, как Google's Nearby Messages или Starbucks location beacon, которые очень популярны среди разработчиков и пользователей. Однако используемые ими высокочастотные маяки не подходят для передачи текстовых данных, потому что они подвержены влиянию фонового звука, а также сильно зависят от производительности цифро-аналогового преобразователя и аналого-цифрового преобразователя. Экспериментально показано, что по крайней мере 5 смартфонов могут обслуживаться одновременно на расстоянии 3 м от динамика сервера.

Так называемый второй экран – привлекательная опция для производителей кино, так как она позволяет передавать информацию синхронно с показом при помощи звука, не прибегая к помощи каких-либо сетей. Передавая данные таким способом, поставщик может быть уверен, что передача ведется только во время телевизионной трансляции или просмотра контента на DVD-проигрывателе. При этом не требуется помощь посторонних организаций, которые потребуют плату за свои труды. Также преимуществом «второго экрана» является его простота синхронизации (ТВ-трансляция приходит с задержкой во все уголки мира с задержкой менее 20 сек.). Таким образом, передача синхронизованного контента «второго экрана» не возможна с одного центрального сервера, в тоже время осуществить синхронизованную аудио передачу информации довольно просто, так как она поступает через тот же канал, что и основной контент.

### Выбор подходящих аппаратных средств

Диапазон в 21 кГц применим для всех вышеупомянутых методов аудио передачи. Есть стандартные частоты оцифровки ( $F_s$ ) для АЦП/ЦАП: 32, 44,1, 48, 96 и 192 кГц. Выбор какой-либо из частот  $F_s$  обычно диктуется наивысшей частотой спектра сигнала, проблемами фильтрации и наложения спектров [8]. Следующий основной параметр – это разрядность (BD). Обычно этот параметр варьируется от 10 до 24 бит. На рынке есть возможность приобрести готовый модуль АЦП/ЦАП, при этом модуль с низкими характеристиками уже будет стоить порядка 30 \$, а стоимость модуля с высокими  $F_s$  и BD будет более 500 \$.

Менее затратным вариантом является покупка отдельного чипа АЦП/ЦАП или микроконтроллера (MCU) со встроенными АЦП/ЦАП и расчет нескольких RC-фильтров. Такой вариант так же позволит создать устройство с конкретными необходимыми характеристиками. Например, STM32F103xxxx MCU содержит 12-битные АЦП/ЦАП, которые могут работать на частоте 36 МГц и тактовую частоту 72 МГц. Если нет необходимости в сложной цифровой обработке (ЦОС), то такой контроллер вполне подходит, его цена ниже 5 \$. Для проектов, требующих сложную ЦОС и точные АЦП/ЦАП, могут быть приобретены отдельные соответствующие чипы. Например, чип PCM3010DB от Texas Instruments содержит в себе 48 кГц АЦП и 192 кГц 24-битный ЦАП и стоит менее 7 \$ за штуку. Для сложной ЦОС можно использовать ПЛИС MAX10 от Intel или «быстрый» MCU STM32F407IGxx от STMicroelectronics. MAX10 стоит от 12 до 16 \$, MCU от 8 до 12 \$ согласно веб-сайту [www.digikey.com](http://www.digikey.com).

Когда доходит до выбора динамика и микрофона, разработчик должен выбрать между слышимой и неслышимой передачей данных. Для слышимой передачи необходимо лишь выбрать микрофон и динамик с равномерной АЧХ в диапазоне 18 кГц. Для неслышимой передачи АЧХ должна быть равномерной даже на 20 кГц или должна компенсироваться аппаратно/программно.

Сейчас на рынке существует большой выбор динамиков и микрофонов с различной АЧХ и ценой ниже 10 \$. Но для неслышной передачи АЧХ и ФЧХ (если используется фазовая модуляция) необходимо уделить особое внимание.

Разработчик может сделать это в цифровом или аналоговом виде, другими словами, он может менять спектр сигнала аналоговыми фильтрами и усилителями или же использовать преобразование Фурье (или любое другое) в выбранном процессоре.

С другой стороны, ЦОС более практична, поскольку в Интернете можно найти огромное количество уже готовых программных решений.

Тем не менее аналоговая обработка не может быть исключена полностью, так как сигнал требует усиления перед передачей и после приема, поэтому разработчик должен быть знаком с усилительными элементами.

Рекомендуется использовать усилители в виде чипов вместо того, чтобы рассчитывать резисторы и конденсаторы для отдельных транзисторов, так как надежность устройства уменьшается с увеличением количества элементов. Также при ремонте проще найти неработающую микросхему чем проверять каждый транзистор в схеме. Каждая документация на современный чип-усилитель содержит типовую схему подключения, что позволяет разработчику забыть об «аналоговых» нюансах и сосредоточиться на работе схемы целиком.

### Заключение

Использование слышимого диапазона для передачи данных ведет к существенному ограничению максимальной скорости передачи в сравнении с передачей через радиоканал. По этой причине применение подобных систем оправдано лишь в тех случаях, когда не стоит задача обеспечить высокую пропускную способность системы. При этом существующие системы позволяют организовать передачу информации со скоростью до нескольких десятков бит в секунду на расстояния порядка 20 м.

Практически все рассмотренные методы используют самые верхние частоты слышимого диапазона, так как это позволяет получить максимальные скорости передачи данных и сделать работу не слышимой или практически не слышимой человеческому слуху. Дальнейшее усовершенствование систем воздушной приемо-передачи данных (в частности, увеличение пропускной способности) ведет к неизбежному использованию ультразвукового диапазона и требует установки дополнительного оборудования.

Важным преимуществом использования акустического канала в слышимом диапазоне является отсутствие необходимости установки специального радиооборудования для передачи информации. Более того, в настоящее время смартфоны и подобные им устройства изначально оснащаются микрофоном и динамической головкой.

Обсуждаемые акустические системы выгоднее с финансовой точки зрения по сравнению с радио системами, так как при снижении рабочей частоты снижается технологическая сложность компонентов и, как следствие, цена.

### Библиографический список

1. *Li C., Hutchins D., Green R.* Short Range Ultrasonic Communications in Air Using Quadrature Modulation // IEEE: Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics and Frequency Control Journal. 2009. N 10. P. 2060–2072.
2. Sobriété de l'exposition aux champs électromagnétiques, information et concertation lors de l'implantation d'installations radioélectriques. URL: <http://www.assemblee-nationale.fr/14/ta/ta0468.asp> (дата обращения: 08.01.2020).
3. *Frigg R., Corbellini G., Mangold S.* Acoustic Data Transmission to Collaborating Smartphones – An Experimental Study // Proceedings of 11th Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services, Obergurgl, Austria. 2014. P. 17–24.
4. *Guerrieri J., Novotny D.* HF RFID Eavesdropping and Jamming Tests // Journal of Computer Security. 2012. N 2. P. 259–288.
5. *Zegeye W., Dean A., Moazzami F.* Exploiting Bluetooth Low Energy Pairing Vulnerability in Telemedicine // Proceedings of the 2015 International Telemetering Conference, Las Vegas, USA. 2015.
6. *Zhang B., Zhan Q., Wang J.* PriWhisper: Enabling Keyless Secure Acoustic Communication for Smartphone // IEEE: Internet of Things Journal. 2014. N 1. P. 33–45.
7. *Kim S., Mun H., Huang X.* A Data-Over-Sound Application: Attendance Book // 20th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium. 2019.
8. *Smith S.* Digital Signal Processing: A Practical Guide for Engineers and Scientists. Newnes, USA, 2003.

УДК 621.37

**С. А. Безытный**

студент кафедры радиотехнических систем

## О НЕОБХОДИМОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ

В статье рассмотрены основные этапы обнаружения наземных движущихся целей (НДЦ), предложен подход, позволяющий смоделировать процесс обнаружения НДЦ.

Режим селекции НДЦ подразумевает обнаружение и оценку параметров сигнала, отраженного от движущихся целей путем компенсации сигналов от подстилающей поверхности и различных элементов фона местности.

В режиме селекции НДЦ обеспечивается решение следующих задач [1]:

1. обнаружение движущихся объектов при подавлении сигналов от подстилающей поверхности и других объектов фона местности;
2. измерение координат движущихся объектов, а также их скоростей (радиальной и тангенциальной составляющих).

Решение сформулированных задач требует реализации сложной технической системы, поэтому сам процесс обнаружения НДЦ можно разделить на две самостоятельные задачи, которые можно решить с помощью моделирования, а именно:

- 1) моделирование отраженного от подстилающей поверхности и от НДЦ сигнала с учетом характеристик подстилающей поверхности, которая учитывает физические явления, возникающие при рассеянии электромагнитной волны на шероховатой поверхности;
- 2) пространственно-временная обработка принятого сигнала с целью выделения движущейся цели.

Из теории известно, что естественные земные покровы очень редко представляют собой совершенно ровную плоскость, принимаемые радиолокационной станцией полезные и помеховые составляющие сигналов представляют собой случайные процессы. Моделирование таких процессов ставит вопрос о выборе адекватной вероятностной модели, составе и точности воспроизведения статистических характеристик траекторных сигналов. Выбор вероятностной модели любого реального флуктуационного процесса сводится к получению конечных плотностей вероятности значений случайной функции в произвольные моменты времени на интервале наблюдения процесса [2, 3]. Примером случайных процессов,  $n$ -мерные плотности вероятности которых полностью описываются ограниченным числом характеристик, являются гауссовские и марковские процессы. Данное обстоятельство подтверждается тем фактом, что математическое ожидание и корреляционная функция определяют первые коэффициенты в разложении характеристических функций случайных процессов вне зависимости от вида плотности распределения вероятностей. Задача моделирования сигнала, отраженного от подстилающей поверхности, также описана в работе [4], в которой был применен метод Кирхгофа для расчета зеркальной и диффузной компонент рассеянной радиоволны и проведено сравнение полученных результатов в процессе моделирования с теоретическими. Результаты сравнения подтверждают правильность моделирования.

*STAP* – это адаптивный фильтр, который может фильтровать пространственную и временную область. Основная проблема, которую призвана решить пространственно-временная обработка сигналов (*STAP*) – проблема борьбы с сигналами, отраженными от земной поверхности и поступающими по боковым лепесткам ДНА. Как было замечено в [4], отраженный от земли сигнал является сложной суммой сигналов, поступающих на вход приемника РЛС, он распределен в двумерной области «азимут-доплеровская частота». Функция плотности пассивных помех для участка дальности определяется суммой отражений от участков, разделенных единичным интервалом частот. Поэтому необходимо обработать сигнал в массиве поступающих данных во времени и в пространстве. Это создает очень высокие требования к обработке и пропускной способности процессора *STAP*. Объем данных, поступающий с приемной антенны очень высок, поэтому эти данные должны обрабатываться в реальном времени, а не сохраняться для последующей обработки. Кроме того, так как это система адаптивных

фильтров, данные обрабатываются немедленно как часть цикла обратной связи для генерации оптимальных фильтров, используемых для обнаружения предполагаемых целей. Для каждой предполагаемой цели должен быть рассчитан целевой вектор управления. Этот целевой вектор управления формируется из перекрестного произведения вектора, представляющего доплеровскую частоту, и вектора, представляющего угол наклона антенны и азимут [5].

В отечественной литературе вопрос пространственно-временной обработки сигналов освещен не так детально. В работах [6, 7] приводится сравнительный анализ методов селекции движущихся целей, в работе [8] представлено исследование влияния эквидистантной антенной решетки на сверхширокополосные импульсы, а также на результаты пространственно-временной обработки.

В целом вопрос применения *STAP* в сантиметровом диапазоне является малоизученным, поэтому представляет собой перспективное направление в изучении и развитии пространственно-временной теории обработки, а также ее применимости в реальных бортовых радиолокационных станциях.

### Библиографический список

1. *Кондратенков Г. С., Фролов А. Ю.* Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. М.: Радиотехника, 2005. 368 с.
2. *Васильев К. К., Крашенинников В. Р.* Методы фильтрации многомерных случайных полей. Саратов, 1990.
3. *Зубкович С. Г.* Статистические характеристики радиосигналов, отраженных от земной поверхности. М.: Сов. радио, 1968. 224 с.
4. *Монаков А. А., Поваренкин Н. В.* Оценка угла места низколетящей цели: математическая модель сигнала, рассеянного шероховатой поверхностью при скользящих углах распространения // Успехи современной радиоэлектроники. 2019. Т. 73. № 11. С. 12–19.
5. *Richards M.* Fundamentals of Radar Signal Processing, McGraw-Hill Education Pvt Limited, 2005. 656 p.
6. *Нечаев Е. Е., Вайс С. Н., Трофимов А. А.* Анализ методов пространственно-временной обработки сигналов в самолетных РЛС ДРЛО // Научный вестник МГТУ ГА. 2012. № 180. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-prostranstvenno-vremennoy-obrabotki-signalov-v-samoletnyh-rls-drlo> (дата обращения: 14.04.2020).
7. *Горбунов Ю. Н., Акопян Г. Л.* Пространственно-временная обработка сигналов в радиолокации и радиоэлектронном подавлении: ограничение возможностей. 2019. № 6.
8. *Радченко Ю. С., Сохнышев С. В.* Пространственно-временная обработка сверхширокополосных импульсных последовательностей // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2003. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prostranstvenno-vremennaya-obrabotka-sverhshirokopolosnyh-impulsnyh-posledovatelnostey> (дата обращения: 14.04.2020).



УДК 629.054

**И. Б. Бирюков**

магистр кафедры радиотехнических систем

**И. В. Мищенко**

бакалавр кафедры медицинской радиоэлектроники

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БРЛС БПЛА И ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТОЧНОСТЬ РАЗРЕШЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Работа посвящена определению разрешающей способности бортовой РЛС с РСА на беспилотных летательных аппаратах в различных режимах работы; факторов, влияющих на точность определение объектов; моделированию РЛИ объектов и анализу полученных результатов.

В работе рассмотрены результаты моделирования процесса наблюдения бортовой РЛС с радиолокационным синтезированием антенны переднебокового обзора (РСА ПБО). В связи с тем, что разрешающая способность бортовых РЛС летательных аппаратов (ЛА) зависит от апертуры, в настоящее время широко применяются антенны с РСА бокового обзора.

При переднебоковом обзоре луч ориентирован к вектору путевой скорости под некоторым углом от 0 до 45° и более. В этом случае сужается зона обзора, но цели обнаруживаются с упреждением. Обзор местности ведется в косоугольной системе координат. Нужно отметить важную особенность РЛС БО: при увеличении дальности до цели облучения возрастает и время ее облучения:

$$T_{об} = R_n \theta_0 / v_n \sin \theta_n,$$

где  $R_n$  – дальность до цели;  $\theta_0$  – ДН синтезированной апертуры;  $v_n$  – скорость полета летательного аппарата;  $\theta_n$  – угол между линией пути и направлением обзора антенны.

В случае переднебокового обзора возрастает параметр  $R$ , а также  $\sin \theta_n \neq 1$  (рис. 1).

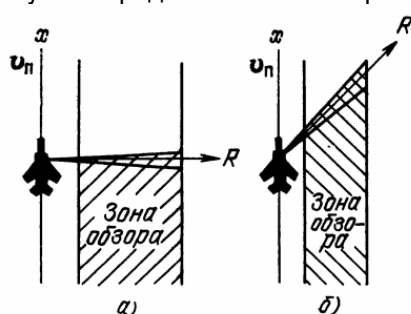


Рис. 1. Зона обзора ЛА при

БО и ПБО

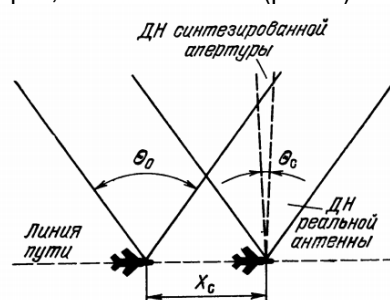


Рис. 2. Формирование синтезированной апертуры (по образцу)

Бортовая антенна РЛС с шириной диаграммы направленности (ДН) по азимуту  $\theta_0$  излучает формируемые передатчиком импульсы. Отраженные сигналы принимаются этой же антенной и поступают на линии задержки. Время задержки равно периоду повторения зондирующих сигналов. В результате за время полета ЛА на некотором участке когерентно суммируются все принятые на этом участке сигналы и формируется выходной сигнал, который соответствует сигналу синтезированной антенны с заданной шириной ДН  $\theta_c$  (рис. 2).

Однако в РСА и режиме переднебокового обзора имеется ряд ограничений. При приближении зоны обзора к линии пути разрешающая способность по азимуту резко ухудшается:

$$\delta \theta_c = \lambda / 2 X_c \sin \theta_n,$$

где  $\lambda$  – длина волны;  $X_c$  – участок траектории полета носителя;  $\theta_n$  – угол между линией пути и обзора.

Так, при угле  $\theta_n = 6^\circ$  разрешение падает в 10 раз по сравнению с боковым обзором. Для этого разработано отдельное направление в РЛС с РСА ПБО.

Данная модель позволяет рассмотреть возможность применения системы РСА бокового и переднебокового обзора в беспилотных летательных аппаратах, которые выполняют поисково-спасательные операции. В данной статье будет рассмотрена модель РСА БО и приведены некоторые расчеты влияния среды на разрешение цели.

Для моделирования были выбраны следующие параметры: максимальное расстояние – 3000 м, несущая частота –  $4 \cdot 10^9$  Гц, длина волны – 7 см, длительность импульса –  $1 \cdot 10^{-9}$  с, эффективная площадь рассеяния (ЭПР) одного элемента –  $1 \text{ м}^2$ .

Предварительно были выбраны 2 объекта: грузовой автомобиль (Газель) и легковой. Для простоты моделирования распределение точек ЭПР равномерное (рис. 3). Моделирование ЭПР цели производилось с использованием элементарных отражателей (сфер, угловых отражателей). Цель, грузовой автомобиль, дальность – 1000 м; цель, легковой автомобиль, дальность – 2700 м.

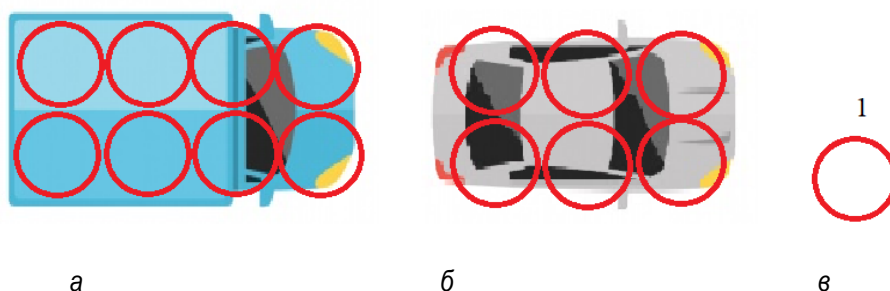


Рис. 3. Центры точек ЭПР: а – грузовой автомобиль; б – легковой автомобиль; в – размеры элемента

В общем виде алгоритм работы программы представлен на рис. 4.

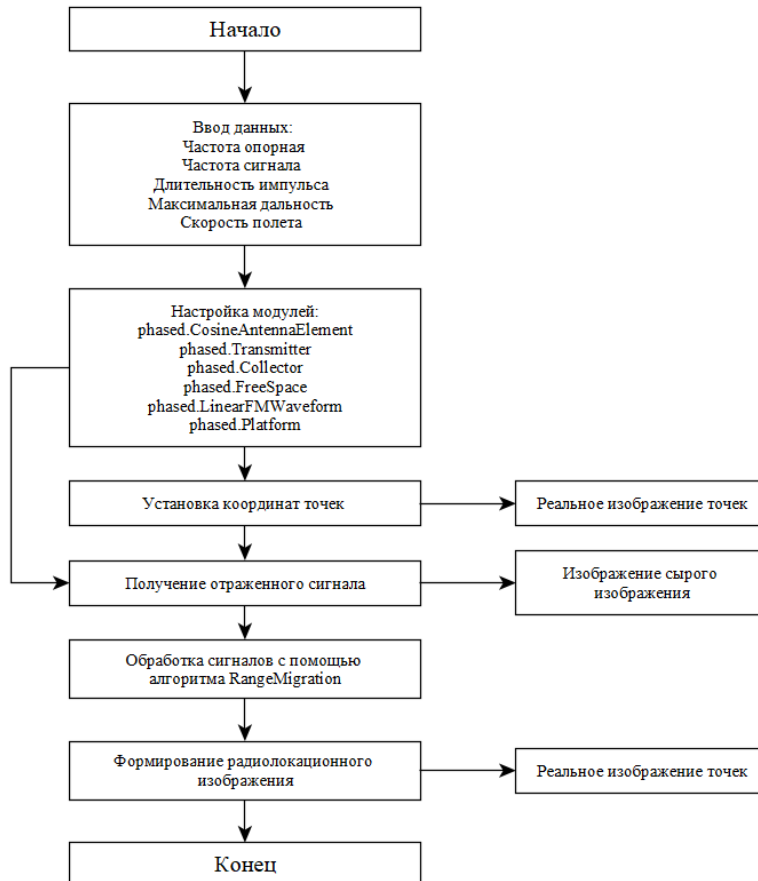


Рис. 4. Алгоритм программы

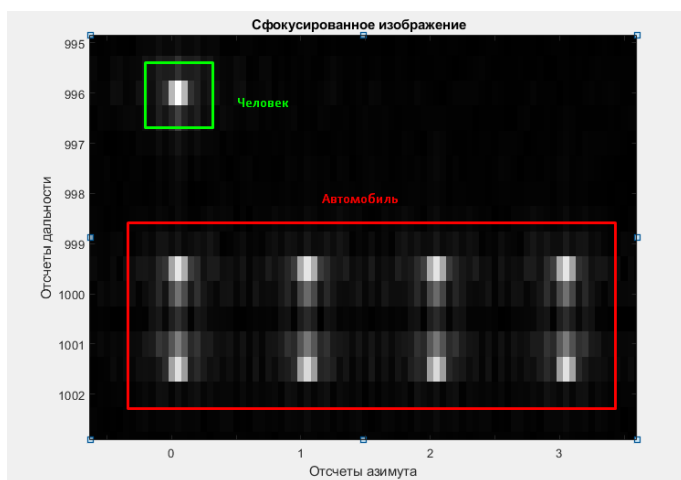


Рис. 5. Синтезированное изображение, первый объект

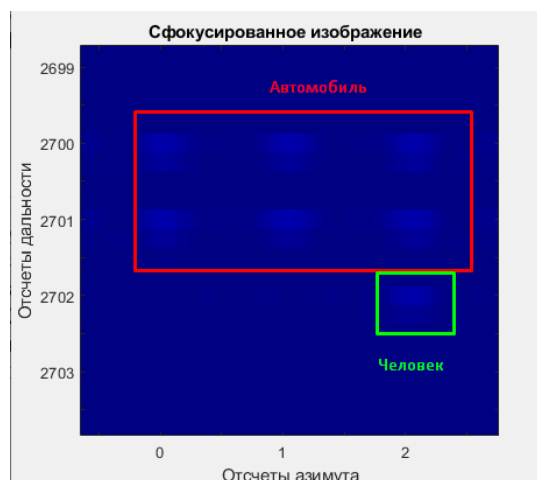


Рис. 6. Синтезированное изображение, второй объект

На рис. 5 и 6 показаны результаты моделирования РЛИ с выбранными параметрами.

Для определения значимости влияния канала распространения, шумов в примно-передающем тракте, эффективной площади рассеяния (ЭПР) распределенных и объемно-распределенных объектов следует определить основные параметры целей. Но ЭПР не может быть аналитически рассчитана, поскольку отраженный сигнал формируется в результате суммирования отражений от множества отдельных участков поверхности цели. Поэтому при оценках параметров используются средние значения ЭПР целей, полученные усреднением. Так как объекты представлены с помощью элементарных отражателей (шар,  $D=1\text{м}$ ), примерное значение их эффективной площади рассеяния составит:

- человек – 0,6–1,6 м<sup>2</sup>,
- легковой автомобиль – 6–8 м<sup>2</sup>,
- грузовой автомобиль (Газель) – 12–13 м<sup>2</sup>.

Для определения ЭПР объемно-распределенных целей (дождь, туман, облака) нужно определить отражающий объем  $\delta(V)$ , который заполнен отражающими частицами, участвующими в формировании результирующего сигнала (рис. 7).

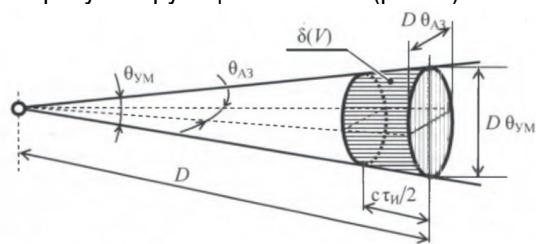


Рис. 7. Разрешаемый объем распределенной цели

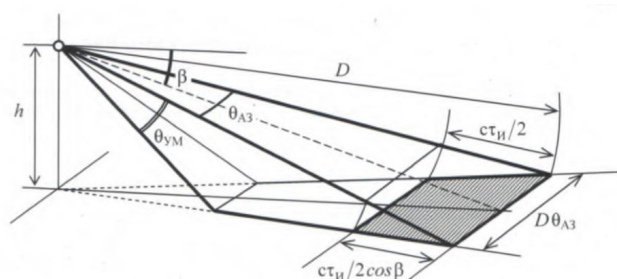


Рис. 8. Разрешаемая площадь поверхностно-распределенных целей

Определив все параметры, можно получить ЭПР объемно-распределенной цели  $\sigma_{эфоб}$ :

$$\sigma_{эфоб} = \sigma_{удоб} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot c \cdot \tau_n \cdot \theta_{аз} \cdot \theta_{ум} \cdot 8^{-1},$$

где  $\sigma_{удоб}$  – средняя удельная ЭПР объемно-распределенной цели;  $\tau_n$  – длительность импульса;  $\theta_{аз}$  и  $\theta_{ум}$  – разрешение по азимуту и углу места в зависимости от дальности;  $D$  – дальность до объекта.

Использував график определения удельного ЭПР дождя в зависимости от длин волн и осадков (рис. 9), получили графики эффективной площади рассеяния объемно-распределенных объектов по дальности (рис. 10).



Рис. 9. Удельная ЭПР дождя

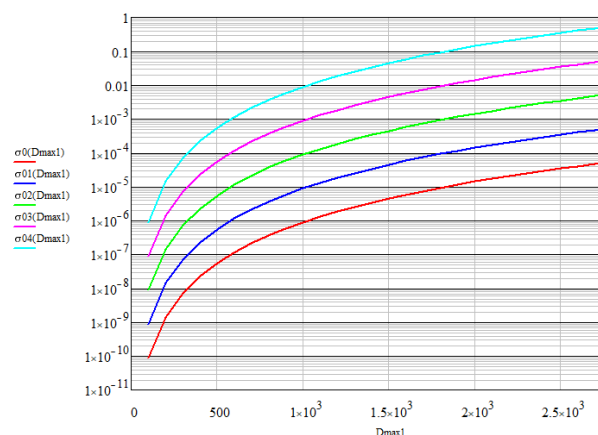


Рис. 10. ЭПР дождя

Важным фактором является поверхность, на которой находятся выбранные объекты. Площадь поверхности зависит так же от выбираемых параметров (рис. 8).

Для определения данных значений воспользуемся формулой:

$$\sigma_{эфпов} = \gamma_{отр} \cdot \sin\beta \cdot D \cdot c \cdot \tau_{и} \cdot \theta_{аз} \cdot (2 \cdot \cos\beta)^{-1},$$

где  $\gamma_{отр}$  – коэффициент обратного отражения;  $\beta$  – угол облучения подстилающей поверхности.

Использував график определения коэффициента обратного отражения и угла облучения (рис. 11), получили графики эффективной площади рассеяния поверхностно-распределенных целей (рис. 12).

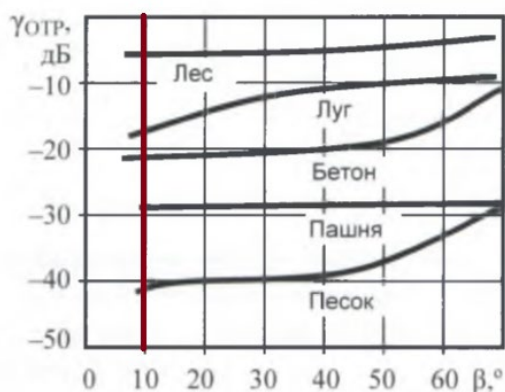


Рис. 11. Коэффициента обратного отражения

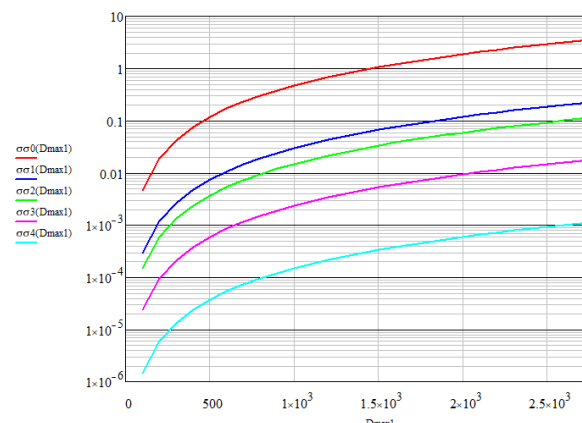


Рис. 12. ЭПР поверхностно-распределенных целей

### Выводы

Моделирование показало, что в режиме бокового обзора достигаются хорошие показатели разрешающей способности:  $\delta l = 0,26$  м. На изображениях удается различить цели и их элементы.

Так как важным критерием является соотношение сигнал-шум или в данном случае ЭПРц/ЭПРш следует сделать вывод, что данная БРЛС способна разрешить цель на расстоянии 3000 м при определенной подстилающей поверхности (луг и прочее).

Расстояние 2700 м, цель человек с  $\sigma_{ц} = 1,2$  м<sup>2</sup>, расположен на лугу, с коэффициентом дождя  $I = 20$  мм/час,  $\sigma_{ш} = \sigma_{эфпов} + \sigma_{эфоб} = 0,2 + 3 \cdot 10^{-4} = 0,203$ .  $\sigma_{ц} / \sigma_{ш} = 5,91$ . Данное соотношение позволяет разрешить цель, а полученные зависимости помогут быстро определить ЭПР объектов ухудшающих разрешение. Данные зависимости актуальны только для заданных параметров сигнала. Также можно сделать несколько выводов о выборе параметров сигнала. От длины волны сильно зависит ЭПР объемно-

распределенных объектов. При определении параметров следует также учитывать физические возможности полета летательного аппарата в различных погодных условиях.

### Библиографический список

1. *Кондратенков Г.С.* Радиолокационные станции обзора Земли. М.: Радио и связь, 1983. 272 с.
2. *Кравченко В. Ф.* Цифровая обработка сигналов в радиофизических приложениях. М.: Физматлит, 2007. 544 с.
3. Stripmap Synthetic Aperture Radar (SAR) Image Formation. URL: <https://www.mathworks.com/help/phased/examples/stripmap-synthetic-aperture-radar-image-formation.html> (дата обращения: 08.04.2020).

УДК 550.388.2

**Н. А. Венедиктов**

студент кафедры радиотехнических систем

**Д. В. Благовещенский** – доктор физико-математических наук, профессор – научный руководитель

### ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ БУРЬ НА ТЕХНОСФЕРНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ

С учетом тенденции движения зоны повышенной геомагнитной активности в сторону густонаселенной средней полосы России рассмотрена необходимость принятия мер по повышению техносферной безопасности. Предложена классификация негативных воздействий на объекты техносферы. Тема рассмотрена на основе анализа информации, полученной в рамках обучения по программе бакалавриата направления 11.03.01 «Радиотехника».

Исследование природы околоземного космического пространства представляет собой фундаментальную проблему, важную как для научных, так и прикладных целей. Гелиогеомагнитная среда оказывает значительное влияние на деятельность человека, в частности, на техносферу. При этом сама техносфера является постоянным источником угроз, которые могут иметь серьезные последствия для человечества. Гелиогеомагнитная активность воздействует практически на все объекты техносферы. Именно поэтому требуется постоянный контроль для поддержания техносферной безопасности.

Основной источник воздействия на геомагнитную среду – это магнитные бури и суббури, которые происходят постоянно, изменяется лишь их периодичность и интенсивность. Во время магнитной бури возможно причинение урона техносфере Земли. Это связано с тем, что сложные токовые системы в ионосфере изменяют свои параметры во время магнитных бурь, наводя геоиндуцированные токи на объекты техносферы.

По скорости наступления последствий магнитное воздействие Солнца можно разделить на две группы:

#### Воздействие с отложенными последствиями

В высоких широтах наблюдается долгосрочное воздействие суббурь на элементы техносферы. Долгосрочные влияния на газо- и нефтепроводы большой протяженности, железные дороги, а также линии электропередач. Геоиндуцированные токи ускоряют коррозионные процессы на трубопроводах и железнодорожных путях. А на линиях электропередач под воздействием наведенных токов оборудование работает не оптимально, что сильно сокращает срок службы. Скорость процессов зависит от протяженности системы и от положения относительно геомагнитных полюсов.

#### Воздействие с мгновенными последствиями

1) геомагнитные бури оказывают воздействие на трансформаторное оборудование, вызывая некорректную работу или даже разрушение. На протяженных линиях электропередач появляются паразитные токи, что приводит к ложной работе или несрабатыванию автоматики и релейной защиты. Все это приводит к нарушению систем электроснабжения (СЭС). Известно множество фактов отключения СЭС именно из-за геомагнитных бурь: в США и Канаде (1958, 1980, 1989, 1991, 1994, 2003 гг.); Швеции (1982, 1986, 1991, 2003 гг.); в Финляндии (1982, 1986 гг.); Англии (1989 г.); Дании (2003 г.), ЮАР (2003 г.). Наиболее крупные и тяжелые аварии в СЭС наблюдались в 22-м (1989 г.) и 23-м (2003 г.) пиках солнечной активности [1];

2) геоиндуцированный ток влияет и на системы автоматики железных дорог, вызывая ложное срабатывание световой сигнализации. Когда участок железнодорожного полотна свободен, между рельсами поддерживается определенная разность потенциалов. При появлении поезда между ними начинает протекать электрический ток. Электрический ток, индуцированный вариациями магнитного поля Земли, может «замкнуть» рельсы, что для системы равносильно появлению поезда. Зеленый сигнал светофора может смениться красным [2]. В итоге – сбои в расписании, экономические потери от простоя подвижного состава, а в худшем случае – аварии;

3) качество функционирования современных спутниковых радионавигационных и радиолокационных систем ограничено влиянием ионосферной среды околоземного космического пространства. В условиях геомагнитных возмущений существенно проявляется нерегулярная составляющая полного электронного содержания. Кроме того, активизируется процесс генерации неоднородностей электронной концентрации разных масштабов, которые могут вызвать флуктуации амплитуды и фазы сигналов навигационных спутников (НС) в точке приема. В результате возможен срыв сопровождения сигнала одного или нескольких НС навигационного созвездия по фазе (коду) на одной из рабочих частот и, как следствие, снижение точности определения координат [2]. В радиолокации неоднородности ионосферы, создавая различные помехи, ухудшают тактико-технические характеристики радиолокационных комплексов. А во время сильных суббурь загоризонтная связь и локация КВ-диапазона прекращает свое функционирование;

4) прохождение заряженных частиц через современную электронику сопровождается рядом негативных эффектов, называемых одиночными сбоями. Например, полупроводниковый элемент может изменить свое логическое состояние, когда возникает большое количество свободных зарядов вдоль трека пролетевшей частицы, в следствие чего возникают ложные срабатывания. Воздействие космической радиации заметно и на аппаратуру космических аппаратов, и на электронику самолетов. Так, во время солнечной бури 2003 года, проработав меньше года, вышел из строя японский спутник ADEOS-2 [3];

5) во время сильных магнитосферных возмущений в авроральной зоне авиакомпании вынуждены корректировать маршруты своих самолетов не только из-за возможных ошибок электроники, но и по причине повышения радиации, действующей на человека.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что первая группа представляется наименее опасной. Так как четкое понимание механизмов воздействия позволяет своевременно и регулярно проводить обследование объектов инфраструктуры, необходимо создавать системы пассивной и активной защиты от коррозии. Например, покрытие трубопровода многослойной полимерной защитой и использование станций катодной защиты. Также уменьшение пространственных масштабов системы, ведет к уменьшению воздействия.

Более серьезную опасность представляет вторая группа. Так как последствия наступают сразу после воздействия, то на первый план выходит не профилактика, а прогнозирование. Центральная часть Северной Америки постоянно подвергается геомагнитным воздействиям, поэтому системы прогнозирования и контроля в США развиты лучше. Хорошая сеть геомагнитных обсерваторий позволила в 2004 году запустить систему WAAS, которая вносит поправки в работу GPS. А в 1989 году был выпущен документ C-15 [5], регламентирующий действия операторов электроэнергетических систем США в условиях геомагнитных возмущений. На территории Российской Федерации мониторинг окружающей среды и соответствующие прогнозы ее состояния осуществляет Гидрометеорологическая служба России. Однако нет пока планов внедрения таких прогнозов в системы поддержки принятия решений в сфере генерации, передачи и сбыта электроэнергии, а также при эксплуатации магистральных трубопроводов. Для поддержания устойчивой связи, навигации, локации созданы глобальные динамические модели ионосферы. Они учитывают влияние геомагнитной активности и постоянно корректируются. Но для повышения качества их работы требуется увеличивать количество геомагнитных обсерваторий.

Вывод: Актуальность прогнозирования магнитных бурь со временем будет только возрастать. Величина геомагнитных возмущений максимальна вблизи магнитных полюсов в зоне овала полярных сияний и на прилегающих территориях. Зоной сильных геомагнитных возмущений традиционно считаются северные регионы России, территории Северной Америки и Скандинавии. Однако с прошлого века наблюдается дрейф северного магнитного полюса в сторону Сибири. Очевидно, что со временем густонаселенная средняя полоса России окажется в зоне повышенной геомагнитной активности. Поэтому уже сейчас нужно уделить внимание техносферной безопасности на объектах, подверженных влиянию гелиогеомагнитной активности.

### Библиографический список

1. Вахина В. В. Разработка основ теории функционирования систем электроснабжения потребителей при воздействии геоиндуцированных токов: Автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра

техн. Наук. СПб., 2013. URL: <https://mpei.ru/Science/Dissertations/dissertations/Synopsis/VahninaVV.pdf> (дата обращения: 15.02.2020).

2. Авакян С. В., Воронин Н. А., Дубаренко К. А. Влияние магнитных бурь на аварийность систем электроэнергетики, автоматики и связи // Научно-технические ведомости СПбГПУ, 2012. № 154-2. С. 253–266.

3. Степанов К. А., Вицентий А. В., Олейник А. Г. Влияние региональных факторов на надежность функционирования информационных систем в условиях арктики и высоких широт // Труды Кольского научного центра РАН, 2012. № 6 (13). С. 59–69.

4. Вахнина В. В., Самолина О. В. Механизм возникновения и протекания геоиндуцированных токов в системах электроснабжения // СГТУ: Вопросы электротехнологии, 2017. № 2 (15). С. 72–79.

5. Document C-15. URL: [https://www.npsc.org/Standards/Procedures/C-15\\_Procedures\\_for\\_Geomagnetic\\_Disturbances\\_Which\\_Affect\\_Electric\\_Power\\_Systems\\_Final\\_TFCO\\_approved\\_03-18-2016.pdf](https://www.npsc.org/Standards/Procedures/C-15_Procedures_for_Geomagnetic_Disturbances_Which_Affect_Electric_Power_Systems_Final_TFCO_approved_03-18-2016.pdf). (дата обращения: 16.02.2020).



УДК 621.396.969.34

**А. К. Ермаков**

студент кафедры радиотехнических систем

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИГНАЛА, ОТРАЖЕННОГО ОТ НИЗКОЛЕТЯЩЕЙ ЦЕЛИ**

В работе рассматривается актуальность исследований проведения полунатурных экспериментов; построение математической модели морской поверхности, основанной на спектре JONSWAP; принципы и методы расчета, отраженного от нее сигнала.

На данный момент высокоразвиты и широко используются летательные аппараты, а также беспилотники, способные совершать полет на малых высотах. В связи с этим существует необходимость измерения угловых координат цели и постоянного ее пеленгования. В классическом случае радиолокации при слежении за объектом мы получаем сигнал, отразившийся от него по прямой траектории, что на данный момент является элементарным случаем с точки зрения обработки такого сигнала и вычисления координат цели. Однако при обнаружении цели, летящей при малых углах азимута, на приемную антенну помимо сигнала, пришедшего по прямой траектории  $r_0$ , приходит суперпозиция отраженного сигнала от цели и сигналов, переотраженных светящимися точками подстилающей поверхности  $r_1 + r_2$  (рис. 1) [1].

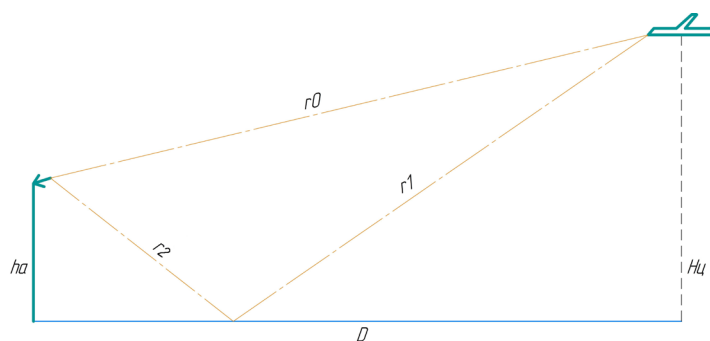


Рис. 1. Переотражения от подстилающей поверхности

Проблема обнаружения низколетящих целей давно известна, но из-за отсутствия технологий с большой вычислительной мощностью до настоящего времени ее пытались решить исключительно математически. Необходимо отметить, что подстилающие поверхности, используемые в таких алгоритмах, в большинстве случаев имели цилиндрическую форму. Но, как известно, математическая модель какого-либо физического процесса зачастую выстраивается, исключая некоторые условия и параметры, вводя исключения. Это обуславливает вероятность того, что решение проблемы, основанное исключительно на математике, в реальных условиях может не работать.

Для решения задачи достоверного обнаружения низколетящей цели было предложено провести полунатурный эксперимент [1], в ходе которого планируется проверить работоспособность одного из предложенных алгоритмов [2], основанного на предположении, что переотраженный сигнал схож с сигналом, отраженным от протяженной цели.

Во время проведения эксперимента для формирования сигналов будет использован генератор стандартных произвольных форм компании Keysight Technologies M8195A, а для приема – моноимпульсный приемник. Подробнее об оборудовании, используемом в эксперименте, изложено в работе [3].

Соответственно, встала задача моделирования подстилающей поверхности и отраженного от нее сигнала. Для начала было решено смоделировать морскую поверхность. В первую очередь она должна быть проста с точки зрения вычислительной мощности. С другой стороны, морские волны геометрически должны быть схожи с реальными и необходимо учесть параметры, оказывающие влияние на направление и высоту морской волны.

Таким образом, в этой работе будет представлен результат моделирования морской поверхности, а также будет рассмотрен и пояснен принцип расчета сигнала, отраженного от низколетящей цели с использованием метода Кирхгофа. Этот метод был выбран, поскольку он является математически

простым по сравнению с другими методами и в тоже время достаточно достоверным и подходящим для наших задач.

### Моделирование морской поверхности

Волнение морской поверхности зависит от большого количества факторов, например, как движение суда вблизи рассматриваемого участка. Наибольшее влияние на морскую поверхность оказывает ветровой поток (его сила и направление), следовательно, в моделируемой морской поверхности мы должны его учитывать.

Зависимость волнения моря от большого количества факторов делает распространение волн нерегулярным и хаотичным, что дает основания рассматривать морское волнение как случайный процесс.

В работе [4], основываясь на предъявленных выше критериях, были рассмотрены несколько методов моделирования морской поверхности и выбран спектральный метод, а именно спектр JONSWAP. В этой статье будет показан лишь результат такого моделирования.

Моделирование было реализовано в среде Matlab. Выбор среды разработки обуславливается программным обеспечением оборудования, с помощью которого будет реализован эксперимент для проверки работоспособности алгоритма, отличающего прямой сигнал, отраженный от цели, от сигнала переотраженного морской поверхностью. В свою очередь Matlab обладает мощными математическими функциями и обеспечивает множеством функций моделирования в трехмерном пространстве, с возможностью регулирования внешнего вида, отображаемой после моделирования модели.

Модель, смоделированная на основе спектра JONSWAP, представлена на рис. 2 и 3. Слева она определена на поле 100 x 100 м, при  $t = 5$  и скорости ветра 2 м/с. А справа на рис. 5 представлена модель морской поверхности, определенная на поле 500 x 500 м, при скорости ветра 20 м/с, что по шкале Бофорта означает шторм.

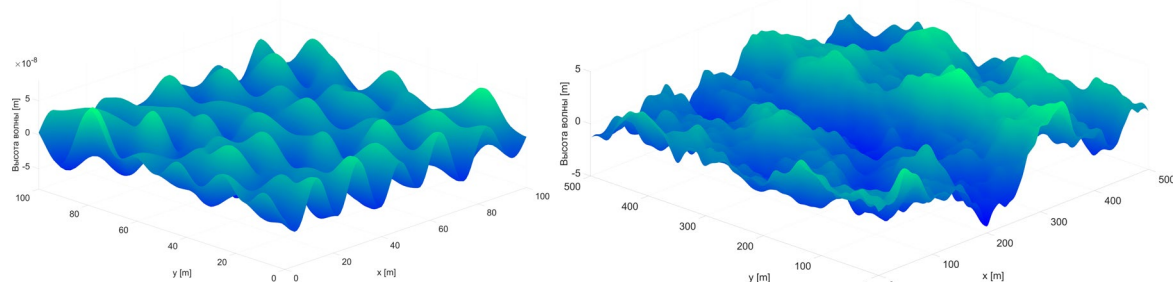


Рис. 2. Морская поверхность при скорости ветра 2 м/с и 20 м/с

### Моделирование сигнала отраженного от подстилающей поверхности

Существует несколько методов математически правильного моделирования сигналов, отраженных от шероховатой подстилающей поверхности. Рассчитать такой сигнал можно путем решения уравнений Максвелла для электромагнитного поля с помощью метода малых возмущений и метода Кирхгофа. Учитывая простоту и в то же время достаточную достоверность метода Кирхгофа, было решено руководствоваться этим методом для решения поставленной задачи. Рассмотрим подробнее принцип расчета сигнала, отраженного от шероховатой поверхности.

Во-первых, для простоты понимания физической и математической составляющей необходимо рассмотреть двумерную, абсолютно проводящую поверхность, то есть случай зеркального отражения. На рис. 3 изображено зеркальное отражение сигнала, излученного целью с высотой  $H_c$  и пришедшего в точку приема с высотой  $H_a$ , находящуюся на расстоянии  $D$  от цели. При зеркальном отражении угол падения равен углу отражения. Учитывая этот факт, для упрощения вычислений вводится понятия антипода цели. Это цель находящаяся на той же высоте что и цель, но под поверхностью. Поскольку цель и ее антипод находятся на одинаковом расстоянии от поверхности и цели, то угол падения в точке зеркального отражения будет одинаков. Принимая во внимание эти факторы, зеркально отраженную составляющую сигнала можно рассчитать, проведя прямую от антипода к точке приема (рис. 3).

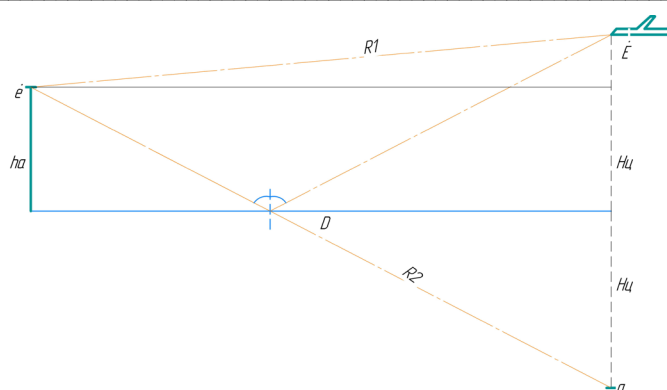


Рис. 3. Зеркальное отражение от абсолютно проводящей поверхности

Как было сказано ранее, сигнал в точке приема складывается из двух составляющих: прямого сигнала, прошедшего по прямой R1 и отраженного сигнала, в данном случае прошедшего по прямой R2. Примем что рассчитываемый сигнал является сферической волной. Тогда, опираясь на рис. 3, не трудно вывести формулу для сигнала в точке приема:

$$e_{zer0} = E \cdot \frac{e^{-i \cdot k \cdot R1}}{\sqrt{4\pi \cdot R1}} - E \cdot \frac{e^{-i \cdot k \cdot R2}}{\sqrt{4\pi \cdot R2}}, \quad (1)$$

где E – комплексная амплитуда сигнала; k – волновое число;  $R1 = \sqrt{D^2 + (Hц - ha)^2}$  – расстояние от цели до приемника;  $e^{-i \cdot k \cdot R1}$  – параметр фазы сигнала прошедшего по пути R1;  $R2 = \sqrt{D^2 + (Hц + ha)^2}$  – расстояние от антипода до приемника;  $e^{-i \cdot k \cdot R2}$  – параметр фазы сигнала прошедшего по пути R2.

Таким образом, разобравшись с тем, как рассчитывается зеркально отраженный сигнал, можно перейти к расчету сигнала, отраженного от всех блестящих точек на поверхности. Это необходимо, поскольку цель может переотражать сигнал во всех направлениях, в связи с чем нужно учитывать отражения от всех блестящих точек на поверхности. Расстояние между такими точками должно быть не больше, чем  $\lambda / 8$ . Это необходимо для математически достоверного расчета сигнала, отраженного от шероховатой поверхности. Для рассмотрения этого вопроса обратимся к рис. 4.

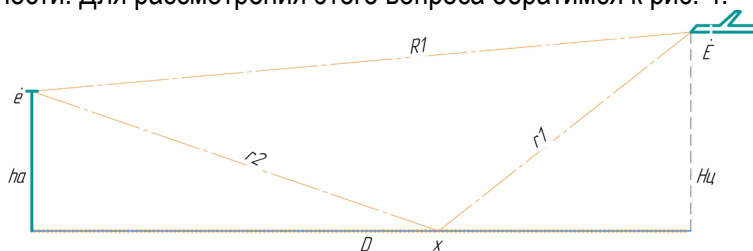


Рис. 4. Отражение сигнала от блестящих точек на поверхности

Из рис. 4 видно, что формула расчета сигнала для каждой точки x будет определяться выражением:

$$e_{pr}(x) = \left( E \cdot \frac{e^{-i \cdot k \cdot r1}}{\sqrt{4\pi \cdot r1}} \right) \cdot A(x) \cdot \left( \frac{e^{-i \cdot k \cdot r2}}{\sqrt{4\pi \cdot r2}} \right), \quad (2)$$

где E – комплексная амплитуда сигнала; k – волновое число;  $r1 = \sqrt{(D - x)^2 + Hц^2}$  – расстояние от цели до точки x;  $e^{-i \cdot k \cdot r1}$  – параметр фазы сигнала прошедшего по пути r1;  $r2 = \sqrt{x^2 + ha^2}$  – расстояние от точки x до приемника;  $e^{-i \cdot k \cdot r2}$  – параметр фазы сигнала прошедшего по пути r2; A(x) – амплитудный коэффициент, зависящий от точки x.

Сигнал в точке приема рассчитанный с учетом выражения 6 определяется формулой:

$$e_{pr} = E \cdot \frac{e^{-i \cdot k \cdot R1}}{\sqrt{4\pi \cdot R1}} - \sum_x e_{pr}(x). \quad (3)$$

Очевидно, что должно сохраняться равенство  $e_{pr} \approx e_{zer0}$ , в связи с чем коэффициент  $A(x)$  должен выбираться таким образом, чтобы это равенство сохранялось. Для это выведем формулу для этого коэффициента. Возьмем интеграл методом стационарной фазы от второго слагаемого в выражении (3), то есть от суммы сигналов, отраженных от всех точек, а затем приравняем к выражению (1). Так было получено выражение, из которого не трудно вывести формулу для коэффициента  $A(x)$ , представленную ниже:

$$A(x) = \frac{\sqrt{2\pi \cdot k \cdot \varphi''} \cdot r1(x_0) \cdot r2(x_0)}{R2 \cdot \exp\left(-i \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \text{sign}(k \cdot \varphi'')\right)}, \quad (4)$$

где  $k$  – волновое число;  $x_0$  – точка стационарной фазы в которой происходит зеркальное отражение, определяемая при взятии интеграла;  $r1(x_0) = \sqrt{(D - x_0)^2 + H\zeta^2}$  – расстояние от цели до точки  $x$ ;  $r2(x_0) = \sqrt{x_0^2 + ha^2}$  – расстояние от точки  $x$  до приемника;  $R2 = \sqrt{D^2 + (H\zeta + ha)^2}$  – расстояние от антипода до приемника;  $\varphi''$  – вторая производная от  $\varphi$  при  $\varphi = r1(x_0) + r2(x_0)$ .

Так становится понятно, как рассчитывать сигнал от всех блестящих точек на поверхности. Далее необходимо к полученному в выражении (3) сигналу добавить мощность по следующей формуле [7]:

$$e_{zer} = e_{pr} \cdot \exp(-p^2), \quad (5)$$

где  $p = \sqrt{2} \cdot k \cdot s \cdot \sin\beta$  – волновое число;  $s$  – СКО шероховатости;  $\beta$  – угол скольжения.

Таким образом, мы рассчитали только когерентную зеркальную компоненту сигнала. Также в сигнале присутствует диффузная компонента сигнала, являющаяся случайной. Она определяется как  $e_{dif} = e_{zer0} - e_{pr}$ . Мощность диффузной компоненты рассчитывается следующей формулой:

$$P_d = P_0 \left(1 - \exp(-2 \cdot p^2)\right), \quad (6)$$

где  $p = \sqrt{2} \cdot k \cdot s \cdot \sin\beta$  – волновое число;  $P_0 = e_{pr}^2$ .

Результат расчета по формулам (5) и (6) в зависимости от СКО шероховатости представлен на рис. 5.

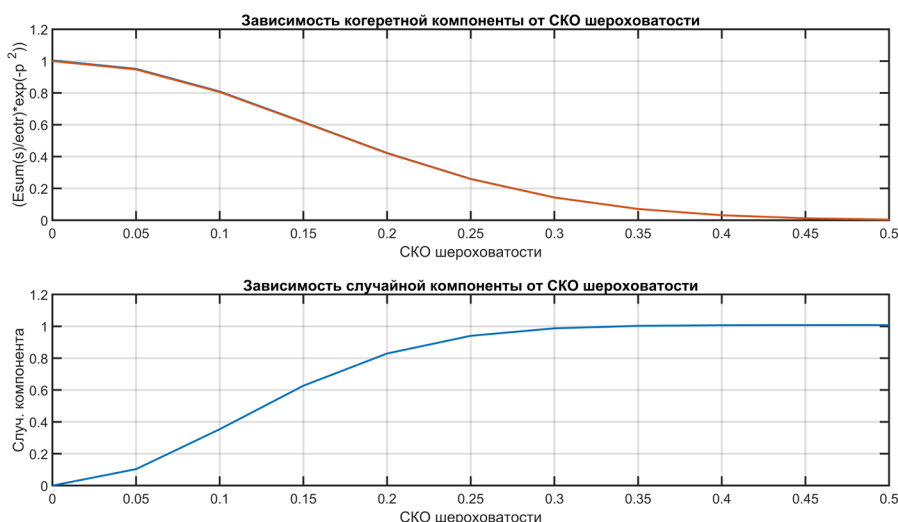


Рис. 5. Мощности зеркальной и диффузной компоненты сигнала

Из рис. 5 становится понятно, как перераспределяется мощность между зеркальной и диффузной компонентой в зависимости от увеличения СКО шероховатости, что свидетельствует о сохранении энергии.

### Заключение

В данной работе поднята тема актуальности решения проблемы обнаружения низколетящей цели. А также представлен результат моделирования морской поверхности с применением спектра JON-SWAP, которая в дальнейшем будет использоваться в полунатурном эксперименте по исследованию алгоритма разрешения прямого и переотраженного от низколетящей цели сигнала.

Был рассмотрен принцип расчета сигнала, отраженного от шероховатой поверхности. Конечно, руководствуясь исключительно методикой, изложенной в данной статье, сложно получить необходимый достоверный результат, так как в представленных выражениях необходимо учитывать и другие параметры, например, такие, как поляризация. Также методика, описанная выше, не подходит для расчета сигнала, отраженного от цели при больших расстояниях, заменяя двумерную поверхность на трехмерную, поскольку при таком методе расчеты на ЭВМ будут занимать слишком много времени. В связи с этим для расчета сигнала, отраженного от поверхности, может использоваться метод статистических эквивалентом или расчет сигнала, отраженного от точек стационарной фазы.

### Библиографический список

1. Имитатор сигнала низколетящей воздушной цели / Н. В. Поваренкин, А. А. Монаков, А. К. Ермаков, А. С. Артюх // Радиолокация, навигация, связь: сб. трудов XXVI международной научно-технической конференции. Воронеж: Вэлборн, 2020.
2. Монаков А. А., Поваренкин Н. В. Оценка угла места низколетящей цели: синтез алгоритма оценки // Успехи современной радиоэлектроники. 2019. № 11. С. 20–28.
3. Применение современной контрольно-измерительной аппаратуры для решения задач моделирования радиотехнических систем / Д. С. Вележев, Н. В. Поваренкин, А. К. Ермаков и др. // Радиолокация, навигация, связь: сб. трудов XXVI международной научно-технической конференции. Воронеж: Вэлборн, 2020.
4. Ермаков А. К., Поваренкин Н. В., Артюх А. С. Математическое моделирование морской поверхности. Радиолокация, навигация, связь: сб. трудов XXVI международной научно-технической конференции. Воронеж: Вэлборн, 2020.
5. Пирсон В. Ветровые волны; пер. с англ. Ю. М. Крылова. М., 1962. С. 42–124.
6. URL: [https://www.researchgate.net/publication/252733810\\_Three-Dimensional\\_Ocean\\_Wave\\_Simulation\\_Based\\_on\\_Directional\\_Spectrum](https://www.researchgate.net/publication/252733810_Three-Dimensional_Ocean_Wave_Simulation_Based_on_Directional_Spectrum) (дата обращения: 04.08.2019).
7. Монаков А.А., Поваренкин Н. В. Оценка угла мест низколетящей цели: математическая модель сигнала, рассеянного шероховатой поверхностью при скользящих углах распространения // Успехи современной радиоэлектроники. 2019. № 11. С 12–19.

УДК 621.397:621.396.96

**И. И. Гилевский**

магистрант кафедры радиотехнических систем

**Д. О. Федотов**

бакалавр кафедры медицинской радиоэлектроники

**Ю. А. Корнеев** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СЕГМЕНТАЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ**

Сегментация изображений – одна из важнейших задач предобработки. Являясь необходимым этапом поиска и распознавания объектов на изображениях, алгоритмы сегментации прочно закрепились в последовательности алгоритмов обработки радиолокационных изображений (РЛИ). Сегментация изображений – процесс разбиения цифрового сегмента на несколько сегментов. Сегмент – множество пикселей, иногда его называют суперпикселем. Существует достаточно много алгоритмов сегментации изложенных в [1], они основаны на двух подходах. Первый подход – выделение границ областей или самих областей. Второй подход – объединение пикселей согласно выбранному свойству.

Целью данной работы – моделирование алгоритма сегментации радиолокационных изображений основанном на методе водораздела. При этом алгоритм модифицирован следующими операциями: рандомизация, сглаживание, выделение границ, эти операции необходимы, так как объектами интереса на РЛИ являются объекты малой (практически нулевой) интенсивности.

Структура предложенного алгоритма изображена на рис. 1.

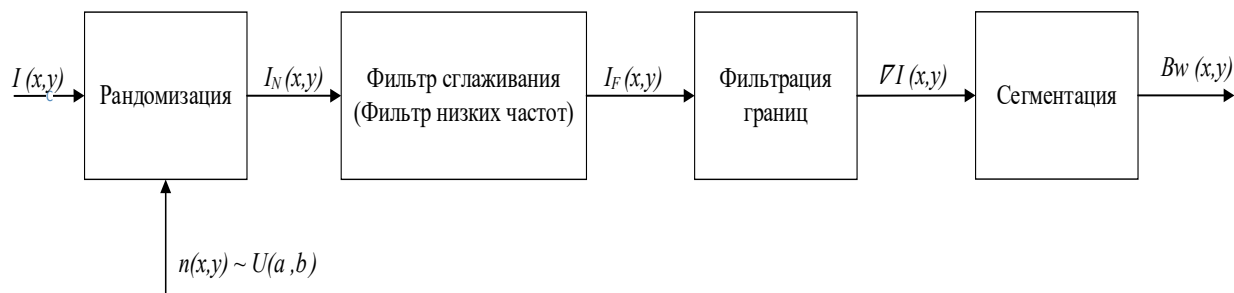


Рис. 1. Структура алгоритма сегментации изображения

Исходное радиолокационное изображение  $I(x, y)$ , где  $x, y$  – размеры матрицы изображения (строка, столбец) поступает на вход блока рандомизации, на изображение накладывается стационарный шум  $n(x, y)$ , принадлежащий равномерному распределению. Зашумленное изображение  $I_N$  подается на вход фильтра сглаживания. Фильтр сглаживания является матричным фильтром низких частот основанном на свертке:

$$I_F(x, y) = I_N(x, y) \otimes G(x, y), \quad (1)$$

где  $G(x, y)$  – матрица свертки фильтра, заполненная в соответствии с двумерным распределением Гаусса. Здесь и далее « $\otimes$ » – символ операции свертки.

$$G(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}, \quad (2)$$

где  $\sigma^2$  – коэффициент масштаба. Управляя размерностью матрицы свертки, можно управлять степенью сглаживания.

Сглаженное изображение поступает в блок фильтрации границ, где по методу Собеля происходит выделение границ изображения. Основным элементом фильтра границ Собеля является ядро – квадратная матрица размерностью  $3 \times 3$ , элементы которой выглядят следующим образом:

$$K_S = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Первоначально вычисляются приближенные значения производных  $I'_F(x, y)$  по двум направлениям:

$$I'_{Fy}(x, y) = K_S \otimes I_F(x, y) \quad (3)$$

$$I'_{Fx}(x, y) = K_S^T \otimes I_F(x, y) \quad (4)$$

Далее вычисляется модуль градиента  $\nabla I(x, y)$ , и его направление  $\vartheta(x, y)$ :

$$\nabla I(x, y) = \sqrt{I'_{Fy}(x, y)^2 + I'_{Fx}(x, y)^2} \quad (5)$$

$$\vartheta(x, y) = \arctan \left[ \frac{I'_{Fy}(x, y)}{I'_{Fx}(x, y)} \right] \quad (6)$$

На выходе блока получается карта градиентов, с которой работает алгоритм сегментации. Задачей стоит в выделении объектов низкой интенсивности на РЛИ. Сам алгоритм сегментации более подробно изложен в [2], однако стоит отметить основные принципы алгоритма. В алгоритмах преобразования водораздела (watershed transform [3]) используются изображения, представленные в виде топографического рельефа. В таких изображениях значения яркости каждого пикселя характеризует его возвышенность в данной точке. Получается, что изображение состоит из «низинных долин» (минимумов), «высотных хребтов» (линий водоразделов) и склонов (водосборных бассейнов). Основной задачей алгоритма является определение всех линий водоразделов или водосборных бассейнов, поскольку в таком случае каждый водосборный бассейн есть отдельный сегмент изображения. Рассмотрим изложенный алгоритм на примере РЛИ, показанного на рис. 2.

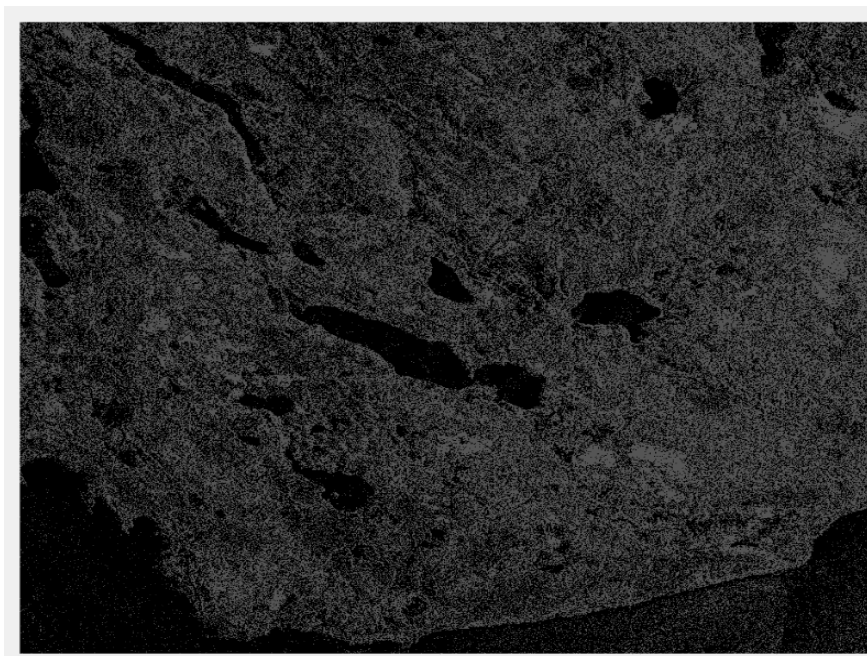


Рис. 2. Исходное РЛИ

Результаты работы каждого блока структурной схемы, изображенной на рис. 1, представлены на рис. 3.

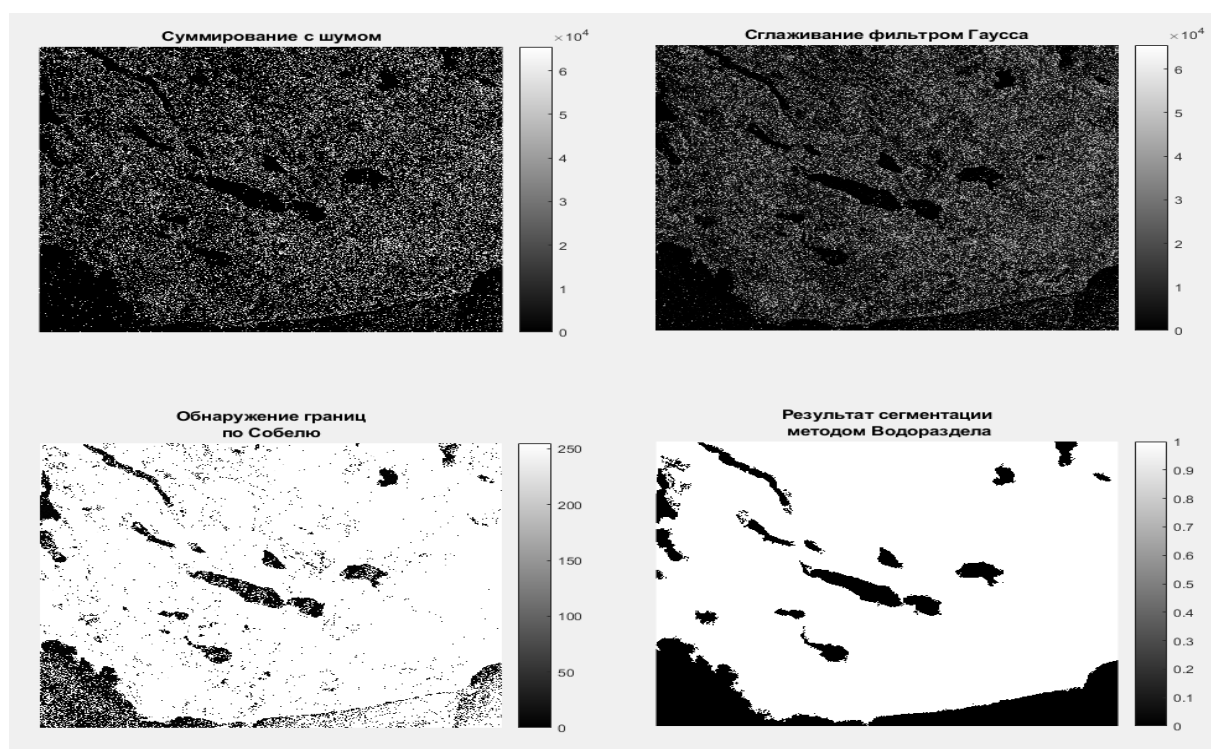


Рис. 3. Результаты моделирования алгоритма сегментации

Как видно из результатов, алгоритм достоверно сегментировал все зоны низкой интенсивности. К минусам алгоритма можно отнести:

- необходимость подбора вида и параметров шума при операции рандомизации, а также разделения изображения на отдельные фрагменты, если искомые объекты интереса недостаточно крупно выражены на изображении;
- невозможность работы с трехцветным (к примеру, RGB) изображением.

#### Библиографический список

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений. Изд. 3-е, исправ. и доп.; пер. с англ. П. А. Чочиа. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений; пер. с англ. Д. С. Лебедева. М.: Мир, 1982. 312 с.
3. Beucher S. The morphological approach to segmentation: the watershed transformation // Mathematical Morphology in Image Processing (Ed. E. R. Dougherty). 1993. P. 433–481.



УДК 621.396.969.1

**П. С. Иваненко**

магистрант кафедры радиотехнических систем

**А. А. Монаков** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

### РАЗРАБОТКА СПОСОБА КОМПЕНСАЦИИ ТРОПОСФЕРНЫХ ОШИБОК РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО СУДНА В СИСТЕМАХ МУЛЬТИЛАТЕРАЦИИ

Системы мультilaterации приобретают все большее распространение для получения информации о местоположении (МП) воздушных судов (ВС) в автоматизированных системах управления воздушным движением (АС УВД). Вследствие этого повышаются требования к точности оценивания координат ВС в этих системах. На точность оценки влияет множество факторов: незнание времени излучения сигнала, ошибки синхронизации часов приемных станций, флюктуационные ошибки измерения псевдодальностей и проч. Среди них можно назвать физическое явление, вносящее существенную ошибку в точность оценки МП ВС – явление тропосферной рефракции радиоволн [1].

Явление тропосферной рефракции в настоящий момент хорошо изучено. В частности, для стандартной атмосферы известна зависимость величины тропосферной ошибки распространения радиоволны от дальности и высоты ВС. Данная зависимость представлена на рис. 1.

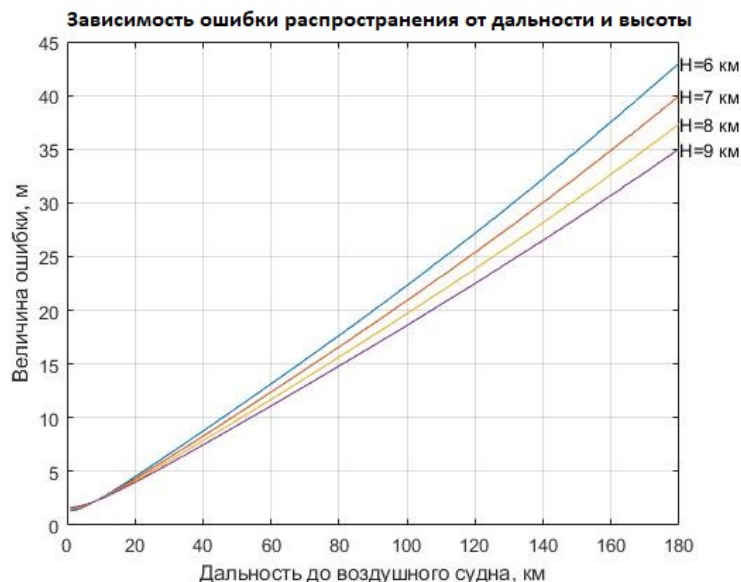


Рис. 1. График зависимости тропосферной ошибки от дальности и высоты

Из рисунка видно, что зная высоту и удаление ВС от наземной приемной станции можно узнать величину тропосферной ошибки для условий стандартной атмосферы.

Но системы мультilaterации оперируют только наборами псевдодальностей, которые вычисляются на основе измерения времени задержки сигнала для каждой наземной станции. Полученные псевдодальности содержат в себе тропосферную ошибку, обусловленную неоднородностью электрических характеристик атмосферы во всем своем объеме. Данную ошибку необходимо скомпенсировать. В предлагаемой статье рассмотрен один из способов достижения этой цели, который учитывает возможность нахождения ВС в нескольких местах на одинаковом удалении от наземной станции.

Пусть радиус зоны покрытия одной наземной станции составляет 180 км и в какой-либо точке этой зоны находится ВС, измеренная дальность до которого составляет, например, 100 км. Высота полета ВС неизвестна (азимут на ВС роли не играет). Тогда предполагается, что ВС может находиться в любой из точек зоны покрытия, находящихся в пределах допустимых высот, расстояние до которых равно 100 км. Иллюстрация выдвинутого предположения представлена на рис. 2.

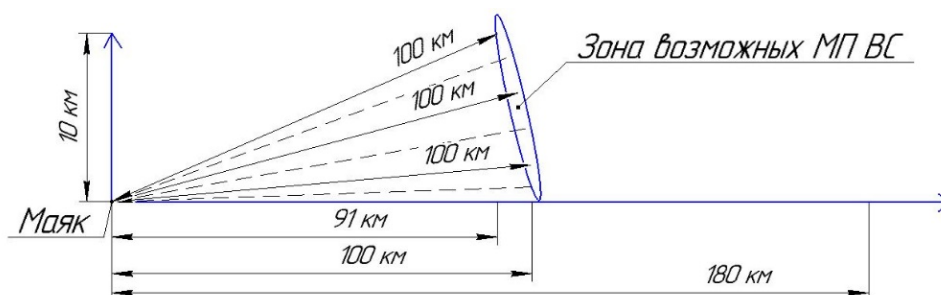


Рис. 2. Иллюстрация возможных МП ВС

Зная примерную область возможных МП ВС, нужно вычислить среднее значение тропосферной ошибки в этой области. Это можно сделать, например, следующим образом:

Минимальная горизонтальная дальность до ВС на максимально допустимой высоте (10 км) – 91 км. Из рис. 1 видно, что на высотах 6, 7, 8, 9 км тропосферные ошибки составят 20, 18, 17 и 16 м соответственно. Среднее значение – 18 м.

Максимальная горизонтальная дальность до ВС на минимально допустимой высоте – 100 км. По графику на рис. 1 ошибки составят 22, 21, 19, 18 м, среднее значение – 20.

Итого: среднее значение тропосферной ошибки в зоне возможных МП составит 19 м. Данное значение и нужно отнять от псевдодальности между маяком и ВС, измеренной наземной станцией.

Ниже рассмотрим конкретную реализацию предложенного выше способа компенсации тропосферной ошибки в модели, разработанной с применением среды *MatLab*. Для оценки МП ВС используется модифицированный алгоритм Банкрофта [3]. Результаты оценок МП представлены на рис. 3.

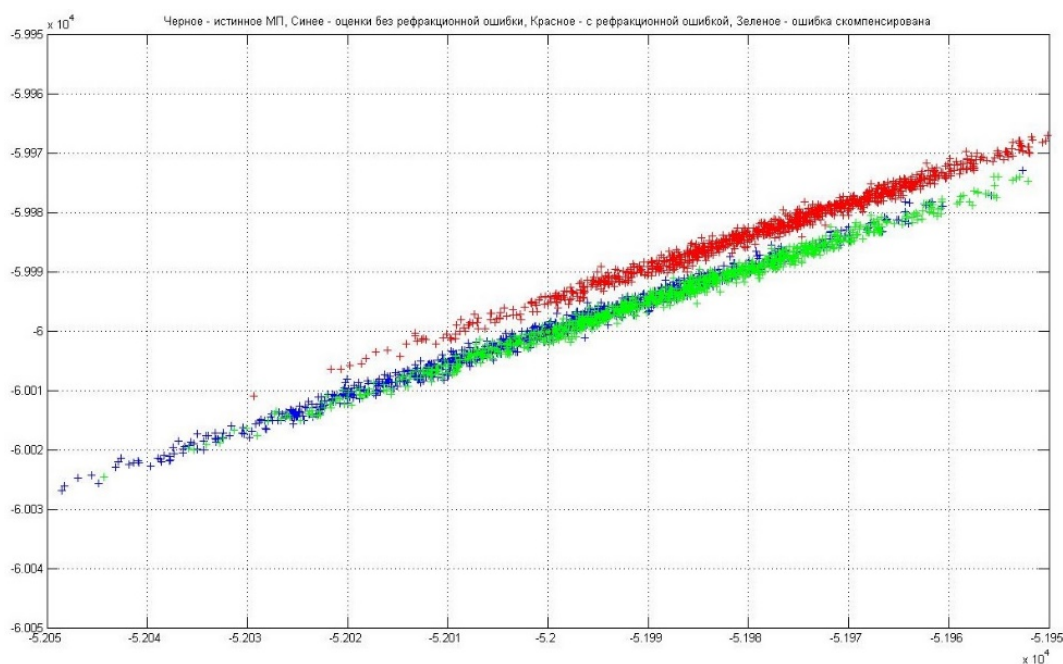


Рис. 3. Результаты моделирования, полученные в результате 500 статистических испытаний

Как было сказано в начале статьи, помимо тропосферной ошибки распространения, на точность оценки местоположения влияют также и флюктуационные ошибки, поэтому при множественных оценках МП результаты оценки МП заполняют эллипс ошибок с центром, совпадающим с истинными координатами ВС, и наклоном, зависящим от местонахождения ВС в зоне покрытия системы мультilaterации.

Как видно из рисунка оценки МП, применение предлагаемого метода компенсации тропосферных ошибок распространения (рис. 3) уменьшает величину ошибки смещения с 25 м до 11 м. Таким обра-

зом, в результате применения компенсации тропосферной ошибки точность оценки МП ВС в системе мультилатерации увеличилась в 2 раза.

### **Библиографический список**

1. Рефракция волн в тропосфере. URL: <https://studfiles.net/preview/1003973/page:4> (дата обращения: 06.03.2019).
2. Gonzalo de Miguel Vela, Juan Besada Portas, Jesus Garcia Herrero. Correction of propagation errors in Wide Area Multilateration systems. URL: [https://www.researchgate.net/publication/224611254\\_Correction\\_of\\_propagation\\_errors\\_in\\_Wide\\_Area\\_Multilateration\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/224611254_Correction_of_propagation_errors_in_Wide_Area_Multilateration_systems) (дата обращения: 06.03.2019).
3. *Монаков А. А.* Модифицированный алгоритм Банкрофта для систем мультилатерации. URL: <https://re.eltech.ru/jour/article/viewFile/210/217> (дата обращения: 06.03.2019).

УДК 621.37

**Р. Д. Кожемякин**

студент кафедры радиотехнических систем

## **О НЕОБХОДИМОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ БОКОВЫХ ЛЕПЕСТКОВ ПРИ СЖАТИИ ЛЧМ-СИГНАЛОВ**

Были рассмотрены современные методы уменьшения уровня боковых лепестков сигнала на выходе фильтра сжатия при использовании сложных сигналов с линейной частотной модуляцией, а также произведен обзор отечественной и зарубежной литературы по теме статьи.

С момента появления теория радиолокации развивалась в основном как теория, рассматривающая точечные цели. При наблюдении сложного радиолокационного объекта, включающего совокупность отражающих элементов, возникает необходимость определения их дальностей и интенсивности отраженных от этих элементов сигналов, а использование согласованного фильтра не является оптимальным. Это объясняется тем, что уровень боковых лепестков (УБЛ) сжатого сигнала может существенно превышать как уровень шума, так и уровни полезных сигналов от объектов с меньшей эффективной поверхностью рассеяния.

С целью уменьшения уровня боковых лепестков можно выполнить весовую обработку. Однако в результате любой весовой обработки возникают энергетические потери и расширение центрального лепестка. Определенным выбором весовой функции уровень боковых лепестков в значительной степени может быть снижен при расширении основного лепестка сжатого сигнала и уменьшении отношения сигнал-шум [1]. Например, весовое «окно» Хемминга [2], которое в идеальном случае позволяет снизить уровень боковых лепестков до уровня минус 42,8 дБ с расширением центрального лепестка в 1,47 раза, при этом потери составляют минус 1,34 дБ.

Все методы уменьшения уровня боковых лепестков можно разделить на следующие категории:

- аппаратные методы;
- сигнальные методы.

Суть аппаратных методов заключается в том, что при известном сигнале на входе синтезируется устройство обработки и применяется в устройствах несогласованной и согласованной обработки. Методы несогласованной обработки не являются оптимальными в части максимизации отношения сигнал-шум, однако обеспечивают значительное уменьшение уровня боковых лепестков сжатого сигнала в отличие от методов согласованной обработки.

Сигнальные методы заключаются в снижении УБЛ путем выбора или синтеза сигнала.

### **Метод применения нелинейной частотной модуляции сигналов**

Так как весовая обработка приводит к потерям рассогласования, приходится увеличивать мощность передатчика. В связи с этим вместо ЛЧМ сигналов часто используют сигналы с нелинейной частотной модуляцией (НЧМ). Применение НЧМ обеспечивает низкий УБЛ без соответствующего проигрыша в отношении сигнал-шум и расширении основного лепестка [2–4]. Следует помнить, что при малых значениях базы сигнала пульсации спектра НЧМ сигнала не позволяют достичь снижения УБЛ [3]. В статье [5] рассматриваются разновидности данного метода, а именно двух- и трехэтапная НЧМ.

Широкое применение и развитие приборов цифровой техники на поверхностных акустических волнах (ПАВ) в генерировании и обработке сложных частотно модулированных сигналов позволяет при малых и средних значениях базы сигнала получить технически реализуемые методы уменьшения уровня боковых лепестков.

### **Изменение огибающей**

Известно, что для снижения пульсаций спектра следует плавно изменять по косинусоидальному закону, огибающую по краям ЛЧМ сигнала [2]. Использование подобных сигналов позволяет снизить УБЛ при весовой обработке, во временной и частотной областях.

### Применение амплитудно-частотной коррекции

Вышеперечисленные методы снижения УБЛ обладают эффективностью лишь при значениях базы сигнала  $B$  от 30 до 50. При более низких значениях базы сигнала эти методы напротив приводят к росту уровня ближних боковых лепестков и энергетическим потерям. Все это обуславливает целесообразность снижения уровня пульсаций спектра в фильтре сжатия. Известно, что существует метод расчета фильтра сжатия, позволяющего скомпенсировать пульсации спектра ЛЧМ-сигнала [2]. Подобный метод удалось реализовать на практике лишь с расширением вычислительных возможностей ЭВМ и техники расчета приборов на ПАВ.

### Корреляционно-фильтровой метод обработки

В статье [6] рассмотрены принципы обработки суперпозиции отраженных сверхширокополосных ЛЧМ сигналов корреляционно-фильтровым методом, в результате чего происходит трансформация в пространственном «окне» по дистанции сжатых ЛЧМ сигналов и пропорциональное их смещение по частоте.

Итак, подводя итоги, можно сделать вывод, что задачи разработки и модификации алгоритмов и устройств обработки, которые позволяют значительно снизить УБЛ сжатого сигнала, являются актуальными при улучшении качества приема для систем связи, в повышении безопасности полетов для авиации, при повышении разрешающей способности при обнаружении малозаметных целей для систем военного назначения.

### Библиографический список

1. Гоулд Б., Рабинер Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Под ред. Ю. Н. Александрова. М.: Мир, 1978. 848 с.
2. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы / Под ред. В. С. Кельзона. М.: Сов. Радио, 1971. 566 с.
3. Кочемасов В. Н., Белов Л. А., Оконешников В. С. Формирование сигналов с линейной частотной модуляцией. М.: Радио и связь, 1983. 192 с.
4. Справочник по радиолокации: в 4 т. Т. 3 / Под ред. М. Сколника, К. Н. Трофимова. М.: Сов. радио, 1979. 528 с.
5. Chan Y., Chua M., Koo V. Progress in Electromagnetics Research // Sidelobes reduction using simple two and tri-stages non linear frequency modulation (NLFM). 2009. N 98. P. 33–52.
6. Щербаков В. С. Корреляционно-фильтровой метод обработки сверхширокополосных ЛЧМ сигналов. Журнал радиоэлектроники 2018. № 2. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/feb18/11/text.pdf> (дата обращения: 15.02.2019).

УДК 621.37

**В. Е. Морозов**

студент кафедры радиотехнических систем

### ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ МЕЖОБЗОРНОГО СЕЛЕКТОРА ОТМЕТОК ДЛЯ КОРАБЕЛЬНОЙ ОБЗОРНОЙ РЛС

В статье рассмотрен межобзорный способ обработки информации, способы накопления радиолокационной информации для межобзорного селектора отметок. Представлена информация о возможных вариантах реализации селекции целей для обзорных РЛС, имеющиеся в доступе.

В системах обработки радиолокационной информации существуют операции, которые производят анализ информации о радиолокационных отметках текущего и нескольких предыдущих циклов пространственного обзора, обеспечивающих построение траектории цели, ее захват и сопровождение. Устройство, реализующее такой алгоритм получило название «межобзорный селектор». При разработке межобзорного селектора отметок основная задача состоит в том, чтобы данное устройство было способно производить радиолокационные обнаружения отметок объектов на фоне дискретных мешающих отражений (ДМО). При межобзорной (многообзорной) обработке информации эффективность обнаружения добивается с помощью накопления сигнальной (энергетической) и логической информации в анализируемой ячейке разрешения и в ее окрестности.

Существуют несколько способов накопления радиолокационной информации, например, возможно формирование когерентной пачки большой длительности в одном пространственном канале за несколько периодов обзора, которое позволяет повысить вероятность правильного обнаружения цели. Существуют также и непараметрические способы обнаружения сигналов, не использующие априорные данные о виде помех и не оценивающие параметры в процессе наблюдения за целью, такие методы называются знаково-ранговые.

В данной статье рассматривается перспективы разработки селектора отметок корабельной обзорной РЛС, для которой существует ряд особенностей при реализации методов обработки сигналов.

Радиолокационное отражение от морских целей всегда будет сопровождаться действием мерцающих отражений от морской поверхности. Отражения от поверхности воды значительно затрудняют обнаружение различных объектов. Характеристики этих отражений характеризуются тем, что водную поверхность при определенных условиях наблюдения следует представлять как сигнал с негауссовскими статистическими свойствами. Это обстоятельство позволяет произвести дополнительные возможности повышения эффективности обнаружения целей с помощью оптимизации обработки сигнала в радиолокационном приемнике с учетом статистических отличий мешающих отражений от гауссовского процесса [2,3].

Обнаружение цели у обзорных РЛС осуществляются последовательно с использованием пороговой обработки каждого элемента разрешения радиолокационного обзора. Этот метод имеет ряд проблем при обнаружении слабых сигналов. Одной из таких проблем является потеря информации при ошибочном принятии решения об отсутствии цели в конкретном элементе разрешения. Это происходит из-за того, что после принятия решения о наличии цели полученная информация из конкретного элемента разрешения больше не используется, а решается задача обнаружения для следующего соседнего элемента.

Для реализации задачи селекции целей в обзорной корабельной РЛС были рассмотрены работы [4, 5], в которых реализуется метод обнаружения траектории путем некогерентного многообзорного накопления и метод двухэтапного многообзорного обнаружения траектории движущейся цели с некогерентным накоплением. Особенностью предлагаемых способов обнаружения траектории цели является то, что сигналы накапливаются за время нескольких обзоров наблюдения. В первом алгоритме происходит накопление сигналов с учетом всех возможных перемещений цели от обзора к обзору. Во втором методе на первом этапе отсеиваются маловероятные гипотезы о возможных траекториях цели. Решение о наличии трассы в обоих случаях принимается лишь на последнем шаге. В работе исследуются характеристики обнаружения данных алгоритмов в случае флюктуирующих целей.

При дальнейшем более детальном изучении данной темы раскроются все большие перспективы в развитии межобзорного анализа радиолокационной информации для всех типов РЛС.

#### Библиографический список

1. Томас Д. Непараметрические методы обнаружения сигналов // ТИИЭР. 1970. Т. 58. № 5. С. 23–31.
2. Морская радиолокация / Под ред. В. И. Винокурова. Л.: Судостроение, 1986. 256 с.
3. Транк Г. В. Радиолокационные характеристики нерелеевских отражений от морской поверхности // Зарубежная радиоэлектроника. 1973. № 2. С. 3–17.
4. Кричигин А. В., Маврычев Е. А. Алгоритмы многообзорного обнаружения траектории движущейся цели // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. 2010. № 4. С. 11–18.
5. Кричигин А. В., Маврычев Е. А. Метод двухэтапного многообзорного обнаружения траектории движущейся цели с некогерентным накоплением // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2007. № 4. С. 43–51.

**Конструирование и технологии электронных и лазерных средств**

УДК 678.029.438

**И. А. Акобян**

студентка кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

**В. П. Ларин** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**ВЫБОР РЕЖИМОВ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ ЭЛЕКТРОННЫХ МИКРОУЗЛОВ**

Надежность и воспроизводимость качества контактных соединений в микроэлектронных устройствах одни из самых главных требований при их проектировании и изготовлении. Вот почему выявление взаимосвязи и влияния физико-механических характеристик, структуры, состояния поверхности соединяемых материалов на формирование монолитных контактных соединений с помощью ультразвуковой микросварки при сборке и монтаже микроэлектронных компонентов – одна из актуальных задач производства электронной аппаратуры. Реально существует несколько проблем с формированием контактного соединения, а именно проблемы получения идеальной чистоты и гладкости поверхностей и необходимых показателей металлических связей (максимальной проводимости, минимального контактного сопротивления и прочности) из-за наличия на соединяемых поверхностях оксидов, влаги, органических загрязнений, адсорбированных газов [1, 2].

При производстве изделий микроэлектроники аппаратуры монолитное контактное соединение вывода кристалла с металлизированной контактной площадкой представляет собой систему, состоящую из трех основных компонентов: контактной площадки кристалла, контактной площадки подложки и соединяющего их промежуточного звена – металлической проволоки. Задача этой системы заключается в образовании токопроводящего соединения контактной площадки навесного элемента и контактной площадки подложки (кристаллодержателя) с максимально высоким значением проводимости.

В идеале надежное монолитное контактное соединение должно обладать теми же свойствами, что и соединяемые материалы. Физические и прочностные характеристики соединений материалов определяются расположением атомов (ионов) и действующими между ними химическими связями. При формировании монолитного соединения металлов атомы сближаются на расстояние 0,2–0,3 нм; при этом волновые функции валентных электронов перекрываются, и они получают возможность переходить от одного атома к другому, довольно свободно перемещаясь по всему объему металла. Валентные электроны принято называть «коллективизованными», а связь между ионами – металлической. Чтобы достичь желаемого результата, в зоне контактирования необходимо сформировать такие же химические связи, как и в соединяемых материалах.

Несмотря на большое число предварительных условий формирования контакта, образование металлических связей происходит, например, в процессе пластической деформации материалов под действием приложенных сжимающих усилий. Свойства полученного соединения зависят от ряда факторов, вызывающих образование межатомных связей, которые в зоне соединения изменяют микроструктуру, химический и фазовый состав соединяемых материалов, формируют внутренние напряжения.

Получение контактных соединений с использованием ультразвуковой сварки – одного из наиболее распространенных методов холодной сварки давлением – хорошо зарекомендовало себя при сборке изделий микроэлектроники и монтаже электронной аппаратуры с повышенными требованиями к надежности. Этот способ сварки позволяет получать соединения материалов с окисленными поверхностями при минимальном тепловом воздействии на структуру чувствительных к нагреву элементов микросхем, благодаря чему он и применяется широко на операциях сборки и монтажа. В качестве промежуточного элемента в микроэлектронике получил распространение гибкий носитель с ленточными выводами, конструкция которого представляет собой совокупность плоских ленточных выводов, выполненных на диэлектрическом основании. Гибкий носитель изготавливают из двухслойной лакофольговой ленты (алюминиевая или медная фольга на полиимидной пленке) фотохимическим способом в автоматическом режиме. Все индивидуальные промежуточные звенья контактных узлов гибкого носителя сведены в единое целое и зафиксированы. Такая конструкция позволяет: 1) автоматизировать процессы формирования контактных узлов, а изготовителю и потребителю контролировать параметры со-



бранных микросхем; 2) улучшить теплоотвод благодаря увеличенному сечению ленточных выводов; 3) повысить надежность контактного соединения.

Систему внутренних выводов носителя на диэлектрическом основании присоединяют к контактными площадкам кристалла ультразвуковой сваркой. В ходе этого процесса после совмещения выводов с контактными площадками сварочный инструмент скоростной программируемой установки с микропроцессорным управлением последовательно обходит места сварки. После полимерной защиты мест сварки и контроля параметров интегральная микросхема непосредственно перед установкой на плату (подложку) потребителя вырубается из носителя. Система наружных выводов, присоединяемых к контактными площадкам платы по унифицированному контуру, также формируется с помощью ультразвука. Выводы в зонах присоединения к контактными площадкам кристалла и платы выполнены на основе унифицированных элементов, геометрия которых разработана с учетом автоматизации процессов сварки и обеспечения надежного электрического контакта на основе механических, термодинамических, электрохимических и радиационных характеристик материалов.

Рассмотрим некоторые методы повышения качества и надежности ультразвуковой сварки. Первый параметр, на который надо обратить внимание, – отсутствие нагрева, позволяющее получать соединения без плавления свариваемых деталей. Когда проволока прижата к месту сварки под действием механического усилия и ультразвуковой энергии, передаваемой сварочным инструментом, она размягчается и деформируется. Это происходит из-за того, что ультразвуковая энергия разрушает кристаллическую структуру проволоки. Помимо этого, ультразвуковая энергия передается через проволоку на поверхность места сварки непосредственно под проволокой, которая также начинает размягчаться. В результате этого загрязнения и оксиды, которые были на проволоке в месте ее контакта с местом сварки и на самом месте сварки, удаляются, оставляя незащищенной чистую проволоку и поверхность места сварки. Свободные атомы материала проволоки образуют связи с атомами материала поверхности места сварки, создавая твердую кристаллическую структуру. В результате проволока и поверхность металлизированной контактной площадки оказываются приваренными друг к другу, представляя собой однородное монолитное соединение.

Основным преимуществом сварки алюминиевой проволокой является отсутствие нагрева, позволяющего получать соединения без плавления свариваемых деталей. Для золотой проволоки рекомендуется подогрев проволоки/подложки в пределах от 150 до 250 °С. Нагрев до 300 °С и выше приводит к снижению прочности соединений, что связано с уменьшением эффективности передачи ультразвука в зону сварки в результате значительного увеличения текучести проволоки. При этом разрушение соединения происходит по контакту даже при оптимальной деформации проводника. Вторым параметром, наиболее существенно влияющим на качество сварного соединения, – это мощность. Для достижения качественного сварного соединения кроме хорошей контактной поверхности и проволоки требуется подобрать основные параметры сварки, такие как мощность ультразвуковой сварки, усилие, с которым инструмент прижимает проволоку, и время воздействия ультразвуковой энергии на проволоку.

Скорость распространения ультразвука зависит от физических свойств материала. Например, в стержне скорость распространения продольных волн определяется из следующего соотношения

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

где  $E$  – модуль упругости материала;  $\rho$  – плотность материала. Скорость распространения

звуковых волн в алюминиевой проволоке, применяемой для соединений контактных площадок, колеблется в районе 6000 м/с и изменяется в зависимости от температуры, давления и интенсивности звука.

Длина волны, соответствующая данной частоте, непосредственно определяется из равенства

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

где  $c$  – скорость звука;  $f$  – частота. При частоте 20 кГц длина волны в алюминии равна 17,2

мм.

Интенсивность плоской продольной звуковой волны в любой среде определяется из уравнения  $J = k \cdot A^2 \cdot f \cdot 2 \cdot \rho \cdot c$ , где  $A$  – амплитуда колебаний;  $f$  – частота колебаний;  $\rho$  – плотность среды;  $k$  – коэффициент пропорциональности;  $c$  – скорость звука в среде.

Поток энергии волны сквозь поверхность пятна сварки  $S$  равен

$$\Phi = \int_S J dS \cos \beta ,$$

где  $\beta$  – угол между нормалью к площадке  $dS$  и направлением распространения волны.

Мощность ультразвука, которая может быть передана через соединяемую систему, зависит от физических свойств элементов системы и если напряжения в зонах сжатия и разрушения превысят предел прочности материала, то твердый материал будет разрушаться.

Приведенные формульные зависимости и имеющиеся публикации по параметрам и режимам УЗ сварки свидетельствуют о том, что это довольно тонкая операция. Она характеризуется многофакторными зависимостями и ограничениями. Для обеспечения высоких значений безотказности соединения необходимо выполнять множество требований.

Мощность ультразвуковой вибрации во время сварки делает проволоку «пластичной». Превышение мощности ведет к разрушению, деформации проволоки и выдавливанию алюминия из зоны сварки. В связи с этим происходит наволакивание алюминия на сварочном инструменте. Если установлена слишком маленькая мощность, качественная сварка также не пройдет, так как сварка будет выполняться только по периметру.

Для прижатия проволоки к поверхности во время сварки используется определенное усилие. Оно должно иметь достаточную величину, чтобы не происходило скольжение во время сварки, но и не слишком высоким, чтобы сварочный инструмент не потерял скорость ультразвука при сварке. При большом усилии сварочный инструмент деформирует проволоку без воздействия ультразвуковых вибраций и при этом существует вероятность непровара в центре сварки или подъема сварного соединения. Чтобы исправить эти условия, необходимо уменьшить прижимающее усилие, а не увеличивать мощность ультразвука. Недостаточное усилие позволяет скользить инструменту во время воздействия ультразвука, поэтому не получается правильной формы сварного соединения. Это может привести к слабой, поднятой или недеформированной сварке; износу и повреждению поверхности; наращиванию алюминия в V-образном пазе сварочного инструмента. При использовании низкого значения усилия любое непредусмотренное движение по оси Z влияет возрастающим давлением на кремниевую пластину, является причиной ее повреждения и называется кремниевым разломом. Наволакивание алюминия на сварочном инструменте также серьезно влияет на качество в соединениях с использованием малого усилия и способно разрушить сварку. Наконец, последний параметр – время сварки. Это тот отрезок времени, который необходим, чтобы выйти на режим и произвести сварку. Чрезмерно длительное время может привести к сильной экструзии проволоки.

Подводя итог, сформулируем основные требования к системе обеспечения качественной сварки:

- тщательная очистка поверхности проволоки и контактной площадки примесей и оксидов;
- требуется тщательный подбор основных параметров сварки, таких как мощность ультразвуковой сварки, усилие, с которой инструмент прижимает проволоку, и время воздействия ультразвуковой энергии на проволоку. При этом даже при выполнении всех условий, требуется выполнение хорошего закрепления подложки, чтобы не получить ее колебаний от воздействия инструмента. Чем ближе зажим к месту сварки, тем выше шансы получить качественное соединение.

### Библиографический список

1. Ларин В. П., Кривалова А. И., Мезенцева А. М. Физико-химическая структура технологической системы и математическая модель плазмохимической очистки диэлектрических подложек // Science, society, progress: Proceedings of articles the IV International Scientific Practical Conference. Czech Republic, Karlovy Vary – Russia, Moscow, 2019. P. 38–46.
2. Борисова Ю. Плазменная обработка поверхности подложек и прочность сварных соединений // Технологии в электронной промышленности. 2016. № 5. С. 72–75.
3. Погорельцев И. Некоторые методы повышения качества и надежности ультразвуковой сварки // Степень интеграции. 2010. № 3. С. 18–21.
4. Ланин В. Технология монтажа микроплат в корпусах многофункциональных модулей // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 1. С. 73–75.
5. Морозов В. Контактные соединения бескорпусных компонентов на гибком носителе с ленточными выводами. Ч. 1 // Печатный монтаж. 2009. № 4, 5. С. 12–16.

УДК 62-712:62-713

**А. В. Баданин**

магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

**В. Г. Федченко** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОХЛАЖДЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ВЫСОКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Стремительное развитие коммерческих IT-технологий требует своевременных и специализированных технических решений, емких хранилищ для поступающей информации и мощных серверов. В связи с этим востребованность систем высокой производительности набирает все больший оборот. Повышение мощностей дата-центров влечет за собой увеличение количества тепла, вырабатываемого работающим оборудованием. Выбор оптимальной системы охлаждения для дата-центра является основной задачей, способствующей уменьшению денежных затрат на электроэнергию, эффективному охлаждению нагреваемых элементов и др.

Центр обработки данных (ЦОД), или дата-центр, – это специализированное здание, в котором компании размещают свое серверное и сетевое оборудование. Именно дата-центры отвечают за физическую сохранность и бесперебойную работу серверов.

По оценкам международных экспертов на современные дата-центры приходится 10–14 % общемирового потребления электроэнергии. Проблема энергозатрат в России стоит достаточно остро, несмотря на то, что электроэнергия стоит относительно не дорого. Главным потребителем энергии в центрах обработки данных являются системы охлаждения. Поэтому появляется необходимость выбрать энергоэффективный, но в то же время надежный способ забора тепла из дата-центров.

Самый распространенный вид охлаждения на сегодняшний день – воздушное. Тепло, выделяемое оборудованием, отбирается воздушным потоком. При данном способе охлаждения для отбора 5 кВт выделяемого тепла требуется 1500 куб. м охлажденного до 20–22 °С воздуха. В летнее время года при высокой температуре окружающей среды для стабильной работы дата-центра необходима интенсивно работающая климатическая система, потребляющая немалое количество электроэнергии. В зимнее время года энергозатраты существенно уменьшаются.

Капитальные затраты, включающие в себя очистку оборудования от пыли, уменьшение влажности воздуха, на этот вид охлаждения тоже немалые. Притом более 89 % дата-центров все оснащены именно такой системой охлаждения.

По мере роста мощности серверов повысилось энергопотребление и тепловыделение. Совершенствуя только лишь метод воздушного охлаждения и не заменяя воздух более эффективным теплоносителем, приемлемых результатов по охлаждению оборудования не достичь. Охлаждение должно пойти по другому пути.

Большой рывок в развитие систем охлаждения стало появление графических ускорителей, так как они выделяют почти в восемь раз больше тепла, чем стандартные процессоры. Соответственно, на отбор такого количества тепла требуется большое количество энергии.

В 20-х годах прошлого века Жидкостные погружные системы с масляным охлаждением успешно применялись для охлаждения трансформаторов. В начале 2000-х годов были изобретены погружные ванны, в которых охлаждались первые платы на графических ускорителях.

Развитие систем с жидкостным охлаждением произошло благодаря трем основным моментам:

- постоянному увеличению тепловыделения процессора;
- необходимому увеличению плотности оборудования;
- желанию снижения расходов на электроэнергию.

Воздух – это скорее теплоизолятор, чем теплоноситель. Жидкий диэлектрик обладает теплоемкостью в 1200 раз превышающей показателя воздуха. Это дает значительные преимущества при эксплуатации оборудования. Например, поддержание значения температуры диэлектрического теплоносителя на уровне 35 °С требует значительно меньших энергозатрат, чем подача воздуха температурой 13 °С. При этом в первом случае температура процессора будет ниже. Преимущество погружных систем прежде всего в более высоком по сравнению с воздухом коэффициенте теплопередачи. Это поз-

воляет убрать систему кондиционирования воздуха и тем самым значительно уменьшить занимаемое дата-центром место. Расход электроэнергии на систему охлаждения сокращается почти на 90 %. Изолированность системы от окружающей среды способствует защите от пыли, как следствие повышается срок службы элементов. Также, в отличие от воздушных систем охлаждения, погружные могут работать при любой влажности воздуха, а не в конкретном диапазоне. Низкий уровень шума и нормальная температура внутри дата-центра способствуют комфортной работе оператора.

Существует множество различных диэлектрических теплоносителей разных по свойствам и происхождению как минеральных, так и синтетических. При построении системы иногда возникают особые требования, например по пожарной безопасности. Поэтому для повышения качественных свойств системы уделяется особое внимание к таким параметрам жидкостей как:

- гигроскопичность;
- вязкость;
- теплоемкость;
- летучесть;
- безопасность;
- происхождение;
- срок службы;
- химическая нейтральность;
- стоимость.

Несмотря на явный успех и бесспорную энергоэффективность системы погружного масляного охлаждения не получили широкого распространения из-за ряда недостатков, среди которых воспламеняемость теплоносителя, его стоимость, а также сложность проведения ремонтных и профилактических работ. Серьезным недостатком является также необходимость изменить привычную серверную стойку – как минимум удалить из нее вентиляторы. Потребитель не может модифицировать свое стандартное оборудование без риска потерять гарантию производителя.

В другой разновидности погружных систем охлаждение осуществляется за счет испарения жидкости с поверхности нагреваемых элементов. Их называют Погружные системы на специальных жидкостях. Эффект испарения делает теплообмен интенсивным, что позволяет значительно сократить размеры дата-центров. Кроме того, данные жидкости не являются воспламеняемыми в рабочем диапазоне температур сервера.

Однако эта система имеет значительные недостатки. Рабочие диэлектрические жидкости являются труднодоступными. Покупка производится только у производителя, к тому же значительно дороже.

Вода представляет собой практически идеальный природный хладагент. Высокий коэффициент теплопередачи, который превышает коэффициент теплопередачи воздуха во много раз, дешевизна и доступность делают ее желанной теплоемкой жидкостью для любой системы охлаждения. Для наружных систем большим ее недостатком является замерзание при температурах ниже 0 °С, а для использования во внутренних помещениях эта особенность никакой роли не играет. Здесь важнее другой фактор: в отличие от масла и специальных жидкостей, вода не является диэлектриком. А значит, прямой ее взаимодействие с платой недопустимо.

Несмотря на очевидные преимущества систем на водяном охлаждении и их широкое распространение, они не лишены целого ряда серьезных недостатков. Как и погружные системы, они требуют специальной доработки серверных плат. Помимо лишения модернизированных плат гарантии производителя, сама конструкция весьма сложна в силу электропроводности воды. А именно в ней большое количество соединительных узлов, которые непросто контролировать, обслуживать, ремонтировать. Это увеличивает как риск попадания воды на плату, так и эксплуатационные затраты.

Часто природа сама предлагает условия для оптимального высокоэкологичного и энергоэффективного охлаждения, в том числе ЦОДов.

В дата-центре IGN в Гархинге для охлаждения оборудования используются грунтовые воды. Вода с глубины 250 м поднимается в ЦОД при помощи насоса, охлаждает внутренний замкнутый контур, нагреваясь при этом всего на 5 К, и спускается в другую скважину. Это довольно сложный с экологической точки проект, до сих пор вызывающий у экологов ряд вопросов. Система позволила сэкономить 30–40 % электроэнергии по сравнению с привычным воздушным охлаждением.

Исходя из рассмотренных методов охлаждения в будущем воздушные системы внутри дата-центров перестанут существовать из-за предельно низкой теплопроводности воздуха и, соответственно, высокого электропотребления.

Погружные системы, использующие природные хладагенты вроде воды, не загрязняющие природу, будут рассматриваться как основной метод охлаждения внутри ЦОДов. Возможны системы с контактным вариантом охлаждения составных частей серверной платы.

#### **Библиографический список**

1. Прямое жидкостное охлаждение. URL: <http://telecomblogger.ru/22752> (дата обращения: 18.05.2020).
2. Системы охлаждения ЦОДа. URL: <http://www.iksmedia.ru/articles/5291679-Sistemy-oxlazhdeniya-CZODa-Dostoins.html> (дата обращения: 18.05.2020).
3. Центр обработки данных URL: <https://1cloud.ru/blog/chto-takoe-centr-obrabotki-dannyh> (дата обращения: 18.05.2020).

УДК 681.7.068

**Т. Н. Буринова**

студентка кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

**Д. К. Шелест** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ ТЕПЛОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

Интерес к волоконному оптическому гироскопу (ВОГ) базируется на потенциальных возможностях его применения в системах навигации, управления и стабилизации. Вместе с тем при разработке конструкции ВОГ и доведении его до серийных образцов возникает ряд трудностей, связанных с чувствительностью прибора к различным внешним и внутренним воздействиям, что приводит к паразитным дрейфам и, как следствие, к снижению точности измерений.

Особое значение имеют возмущения, вызванные тепловыми изменениями. Практика испытаний гироскопа показывает, что даже относительно небольшие колебания температур способны порождать фиктивное изменение показаний прибора.

#### Волоконно-оптический гироскоп

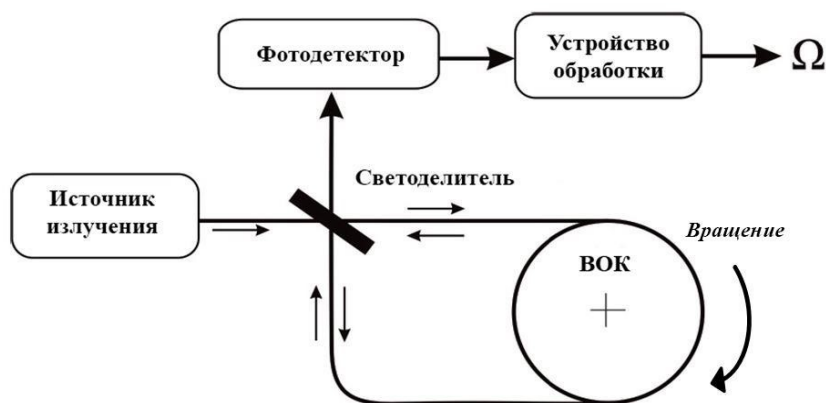


Рис. 1. Принципиальная схема ВОГ

ВОК представляет собой многовитковую катушку оптоволоконной, и чем больше длина волокна и меньше потери в нем, тем сильнее проявляется эффект Саньяка, тем чувствительнее может быть гироскоп.

При конструировании реального прибора оптические элементы и электронные устройства должны выбираться и компоноваться так, чтобы минимизировать влияние внешних и внутренних возмущений (температурных градиентов, механических и акустических вибраций, магнитных полей и др.). В самом приборе имеет место ряд внутренних источников шумов и нестабильностей. Условно эти шумы и нестабильности можно разделить на быстрые и медленные возмущения. Быстрые возмущения оказывают случайное кратковременное усредненное влияние (секунды) на чувствительность ВОГ; они отчетливо проявляются при нулевой скорости вращения (кратковременный шум). Медленные возмущения вызывают медленный дрейф сигнала, приводящий к долговременным уходам в считывании показаний ВОГ (долговременный дрейф). Целью статьи является решение ряда задач исследования различных факторов на элементы ВОГ [1].

*Первая задача.* Рассмотрим влияние температурных воздействий на отдельные элементы ВОГ, вызывающих изменение сигнала гироскопа. Основные механизмы влияния тепловых воздействий на основные компоненты ВОГ и, следовательно, на его точностные характеристики показаны на рис. 2. Рамкой на рисунке выделены воздействия, связанные с волоконно-оптической катушкой.

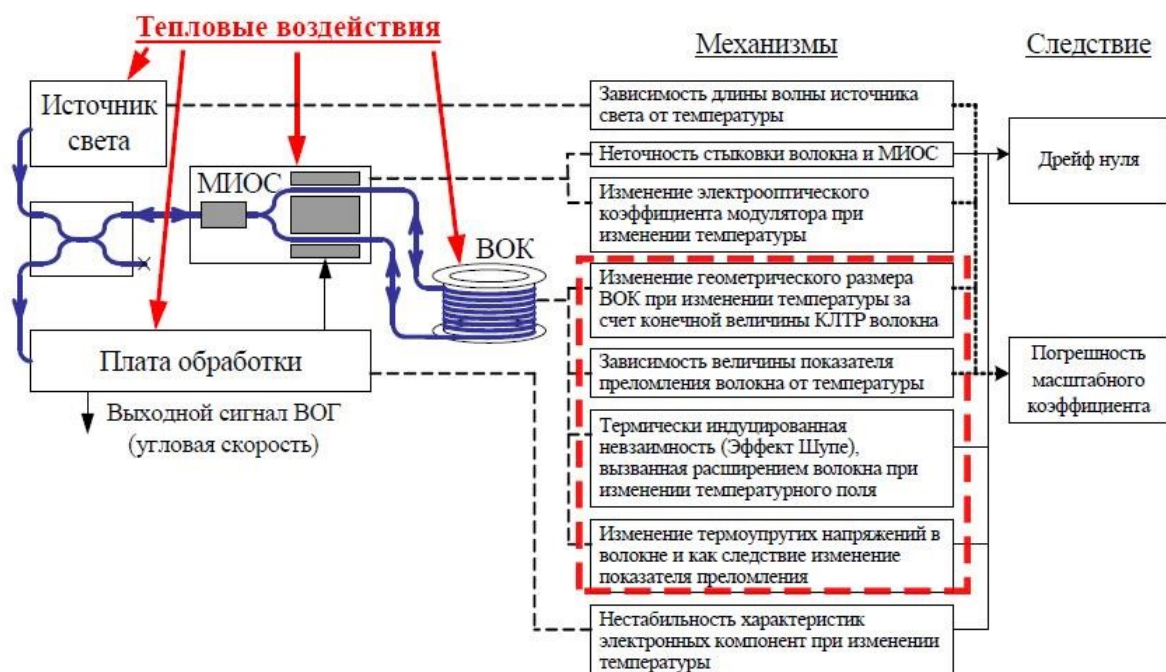


Рис. 2. Модель формирования выходного сигнала ВОГ

Погрешность выходного сигнала ВОГ, вызванную тепловыми воздействиями, можно разделить на две части: мультипликативную и аддитивную [2]. Рассмотрим подробнее основные тепловые воздействия на ВОГ.

1. *Изменение параметров стыковки МИОС с волокном.* Одним из недостатков известного способа стыковки пары канальных волноводов интегрально-оптической схемы волоконно-оптического гироскопа с парой одномодовых световодов, сохраняющих поляризацию оптического излучения, является то, что у реальных световодов световедущая жила имеет непредсказуемые смещения относительно геометрического центра поперечного сечения световода, особенно это касается световодов, сохраняющих поляризацию оптического излучения. Таким образом, несмотря на высокую точность нарезания в подложке V-образных канавок в смысле постоянства расстояния между ними, тем не менее расстояние между световедущими жилами уложенных в эти канавки одномодовых световодов будут нестабильными из-за непредсказуемых смещений световедущих жил относительно геометрического центра поперечного сечения световодов, следствием чего будет значительное возрастание потерь оптической мощности в местах стыка канальных световодов с одномодовыми световодами из-за их пространственного рассовмещения.

Повышение стабильности «нуля» ВОГ достигается за счет обеспечения более точного совмещения осей двулучепреломления канальных волноводов и световедущих жил стыкуемого двухжильного световода, так как при совмещении канальных волноводов и световедущих жил происходит автоматическая ориентация осей двулучепреломления. Повышение стабильности «нуля» достигается также и за счет использования поляризующего двухжильного световода.

Уменьшение потерь оптической мощности в местах стыка интегрально-оптической схемы с двумя световодами с D-образной формой поперечного сечения достигается за счет точного подбора расстояния между световедущими жилами путем травления наружной поверхности световодов с D-образной формой поперечного сечения.

2. *Изменения термоупругих напряженностей в волокне.* Основной проблемой при использовании инерциальных МЭМС датчиков для целей высокоточного позиционирования является нестабильность нуля, то есть погрешность в инфранизкочастотной области значений ускорения и угловой скорости. Большинство микромеханических гироскопов являются гироскопами вибрационного типа, точность которых также определяется постоянством амплитуды и частоты колебаний инерциальной массы.

Типичный температурный диапазон работы данных сенсоров в составе систем высокоточного позиционирования лежит в пределах от  $-40$  до  $80^{\circ}\text{C}$ . Перегрев конструкции обуславливает сдвиг собственных частот колебаний, что приводит к изменению амплитудно-частотной характеристики системы. Однако даже равномерный нагрев конструкции может вызвать появление термонапряжений за счет разницы коэффициентов линейного расширения различных материалов, а значит, и деформацию конструкции, что может существенно повлиять на статические и динамические характеристики сенсора и, следовательно, на выходные параметры датчика в целом.

Для обеспечения точности работы датчиков используются средства температурной компенсации, которые в большинстве случаев включают датчик температуры и систему обработки сигнала, учитывающую и компенсирующую температурные погрешности.

3. *Кривизна волокна.* Проблема кривизны волокна заключается в том, что полимерное покрытие, наносимое на волокна в процессе вытяжки, имеет несимметричную форму, вследствие чего на кварцевый световод действуют нескомпенсированные остаточные напряжения. Кроме того, полимерная оболочка деформируется в процессе хранения на транспортной катушке. Вследствие этого во время намотки на каркас волоконного контура волокно может произвольно отклоняться от требуемого положения, особенно при низком значении натяжения. В силу несовершенства внутренней структуры и влияния внешних факторов может происходить перекачка оптической мощности из одной ортогональной моды в другую в так называемых центрах рассеяния. Они возникают из-за наведенного двулучепреломления, которое ориентировано случайным образом относительно собственного.

Масштаб температурных вариаций сдвига нуля при температуре ниже температуры намотки волокна обусловлен двулучепреломлением волокна. При температуре выше температуры намотки наблюдаются более быстрые изменения, вызванные несимметричным растяжением участков волокна, намотанных на катушку. Катушка растягивает достаточно большой участок волокна слой за слоем [3].

В том случае, когда вектор напряженности электрического поля световой волны, вводимой в оптоволокно, ориентируется под углом к оптическим осям, возбуждаются обе поляризационные моды. Основное влияние волоконного контура на погрешность показаний ВОГ заключается в чувствительности контура к пространственным и временным градиентам температуры. Для минимизации данного фактора используются специальные методы намотки, обеспечивающие симметричность волоконного контура относительно центра намотки.

4. *Фотонные шумы* [1]. Если исключить влияние всех источников шумов и не стабильностей в ВОГ, что, конечно, возможно лишь в теории, то всегда остаются принципиально неустранимые шумы – так называемые квантовые, или фотонные, шумы; их называют также дробовыми шумами. Эти шумы появляются лишь в присутствии полезного оптического сигнала на входе фотодетектора и обусловлены случайным распределением скорости прихода фотонов на фотодетектор, что приводит к случайным флуктуациям тока фотодетектора.

В этом случае чувствительность (точность) ВОГ ограничивается лишь дробовыми (фотонными) шумами, как и всяких других оптических информационно-измерительных систем, называется фундаментальным пределом чувствительности (точности) прибора. Фотонные шумы являются следствием квантовой природы светового излучения. Применительно к оптическим системам передачи информации предельная помехоустойчивость этих систем, обусловленная фотонными шумами; дробовые (фотонные) шумы, обусловленные процессом детектирования мощности излучения, связаны с появлением «фазовых» шумов и соответственно приводят к ошибке измерения угловой скорости вращения.

5. *Обратное рэлеевское рассеяние.* В практике экспериментальных исследований было обнаружено, что одним из главных источников шума в системе ВОГ является обратное рэлеевское рассеяние в волокне, а в некоторых системах еще и отражение от дискретных оптических элементов, используемых для ввода излучения в систему: физически эти шумы появляются из-за рассеяния светового излучения прямого луча на микрочастицах и неоднородностях среды распространения.

Шумы, связанные с обратным рассеянием и отражением, могут содержать две компоненты: когерентную и некогерентную. Некогерентная составляющая увеличивает общий уровень хаотической световой мощности на детекторе, это источник дополнительных дробовых шумов. Некогерентная составляющая не интерферирует с сигналом, связанным с измеряемой скоростью вращения. Уровень дополнительного вклада в дробовой шум вычислялся, и во всех практических ситуациях величина его не бо-



лее 1 дБ. Когерентная составляющая обратного рассеяния и шумы отражения суммируются векторно с противоположно бегущими лучами; это приводит к возникновению ошибки в разности фаз между двумя лучами, зависящей от фазы шумового сигнала [1]

Для минимизации ошибки, обусловленной обратным рэлеевским рассеянием, предложен ряд способов. Некоторые из них связаны с уменьшением взаимной когерентности между первичной и вторичной (рассеянной) волной. При этом, однако, ряд способов, уменьшающих когерентность, одновременно уменьшают взаимность между двумя первичными волнами, что весьма нежелательно.

### Вывод

Волоконно-оптический гироскоп – один из наиболее перспективных гироскопов нашего времени. Но на пути к достижению предела его точности по-прежнему стоит несколько неразрешенных задач, решение которых позволит навигационным системам на основе ВОГ войти в область высокоточной и прецизионной навигации, заменив собой более дорогие, сложные в своем устройстве и изготовлении навигационные системы на основе механических гироскопов.

Одной из существенных проблем, влияющих на точность показаний прибора, является негативное влияние внутренних и внешних тепловых воздействий. Продолжают вестись и дают существенные результаты работы по алгоритмической компенсации тепловых воздействий на выходной сигнал гироскопа. Тщательно подбираются компоненты БИНС и ВОГ, а также проводятся работы по рациональному размещению этих компонентов в приборах с точки зрения обеспечения необходимых тепловых режимов. Однако без термостабилизации и тепловой защиты достичь изначально поставленных целей по точности БИНС на основе ВОГ крайне сложно.

### Библиографический список

1. *Шереметьев А. Г.* Волоконный оптический гироскоп. М: Радио и связь, 1987. 152 с.
2. *Громов Д. С.* Тепловая защита и термостабилизация волоконно-оптического гироскопа в составе бесплатформенной инерциальной навигационной системы: дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук, 2014.
3. *Новиков Р. Л.* Метод контроля качества намотки волоконного контура волоконно-оптического гироскопа // Навигация и управление движением: материалы докладов XV конференции молодых ученых. СПб., 2013 С. 240–245.

УДК 629.78.054

**М. А. Буркова**

студентка кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

**В. П. Ларин** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

### КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СПУТНИКА

Одной из важнейших бортовых систем автоматических космических аппаратов (КА) является система электроснабжения (СЭС), которая представляется собой совокупность первичных и вторичных источников тока, устройств преобразования энергии и стабилизации выходного напряжения с необходимой автоматикой контроля и управления [1, 2]. В качестве первичных источников энергии наибольшее применение находят солнечные батареи, а в качестве накопителей энергии для питания бортовых потребителей энергии на теневых участках орбиты и при пиковых нагрузках обычно используются аккумуляторные батареи.

Любой орбитальный КА представляет собой сложную автономную электротехническую систему, которая состоит из модуля полезной нагрузки и модуля служебных систем. Полезная нагрузка – аппаратура или средства, непосредственно реализующие решение задачи, поставленной перед спутником. Модуль служебных систем обеспечивает функционирование КА в процессе полета (управление, контроль, электроснабжение, телеметрия, температурный режим и т. д.). Каждая подсистема выполняет свою функцию и характеризуется параметрами, общими для всего аппарата. Это масса и габариты, потребление электроэнергии, тепловыделение и надежность.

Основными для рассматриваемой СЭС являются системы (рис. 1):

- солнечных батарей, являющаяся первичным источником энергии на борту станции;
- преобразования и накопления, к которой относятся электрохимические аккумуляторные батареи, накапливающие энергию при ее избытке в системе и отдающие – при недостатке, а также преобразователи электроэнергии (инверторы, понижающие и повышающие напряжение устройства, фильтры и др.);
- распределения, обеспечивающая коммутацию, распределение энергии по модулям КА, а также выполняющая функции управления и регулирования нагрузки.

Цель работы – рассмотрение вопросов повышения эффективности технического обслуживания СЭС за счет разработки прогрессивного метода и использования современных средств контроля технического состояния и реализации упреждающих технологий.

Как известно, в аппаратуре КА возникают различные нештатные ситуации, которые вызывают как ухудшение качества функционирования, так и потерю работоспособности из-за разных условий, таких как:

- снижение энергетического потенциала;
- влияния помех;
- деградации или отклонения параметров оборудования земной станции (ЗС);
- отказа аппаратуры и т. д.

Обычно при поиске отказов наибольшее время затрачивается на выявление причин, которые связаны либо с энергетическими характеристиками образуемых каналов связи, либо с внутрисистемной электромагнитной совместимостью.

Выявление конкретной причины отказа тех или иных направлений связи крайне важно, так как в зависимости от нее для восстановления канала зачастую приходится пользоваться прямо противоположными управляющими воздействиями. Эти функции диагностического и восстановительного назначения обычно возлагаются на бортовой комплекс управления спутника – совокупность бортовых средств, предназначенных для централизованного управления работой бортового оборудования КА, диагностики его технического состояния и информационного обмена с наземным комплексом управления [3].

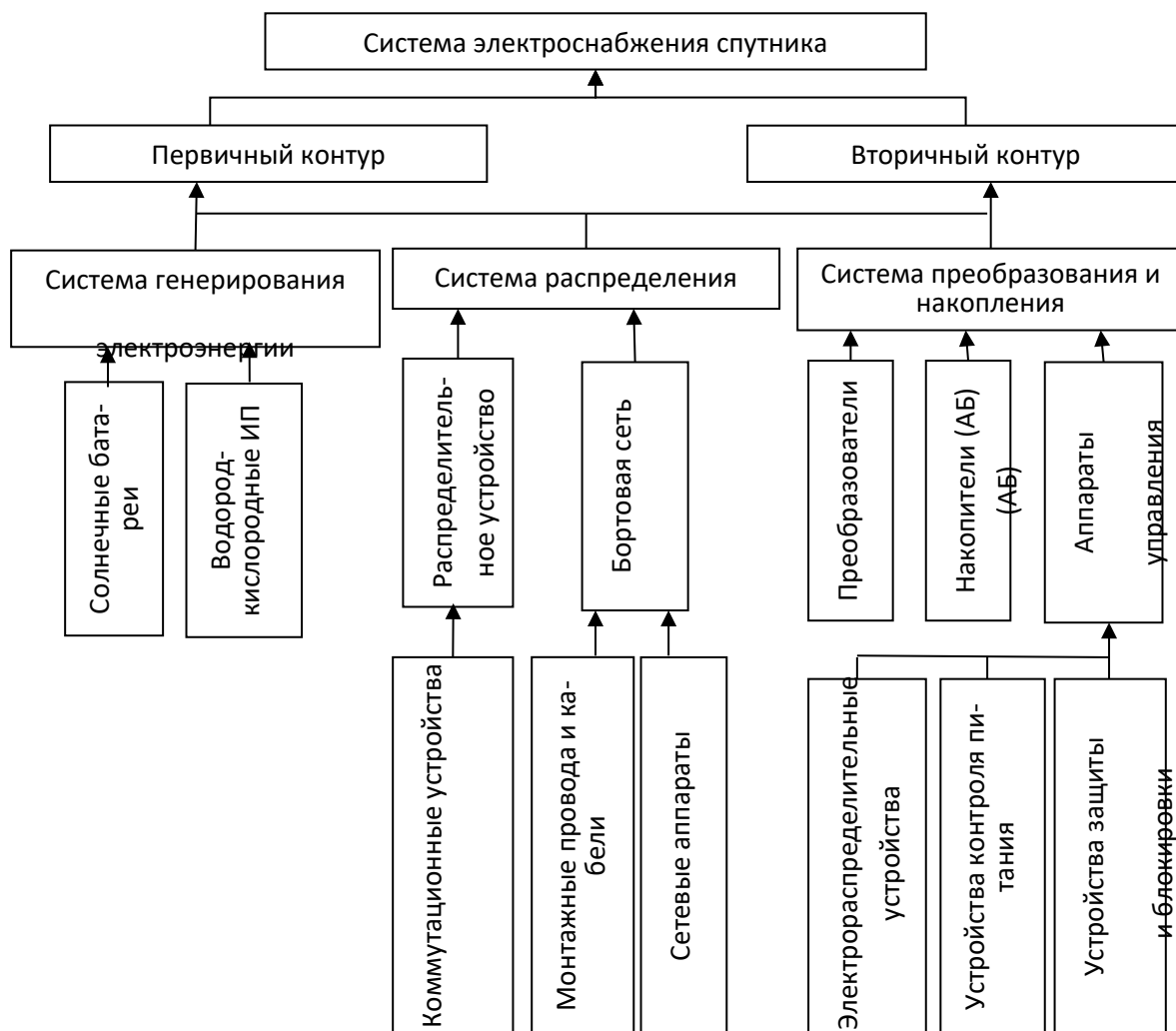


Рис. 1. Иерархическая структура СЭС спутника

Бортовой комплекс управления спутника обеспечивает решения следующих задач:

- 1) автономного управления работой бортового оборудования КА;
- 2) управления работой бортового оборудования КА по сигналам наземного комплекса управления;
- 3) диагностики технического состояния бортового оборудования КА;
- 4) восстановления работоспособности бортового оборудования КА путем переключения на резервные агрегаты или изменения режима функционирования КА;
- 5) сбора, обработки и передачи на наземный комплекс управления телеметрической информации о текущем состоянии бортового оборудования КА;
- 6) поддержания единого с наземным комплексом управления времени на борту КА.

Бортовой комплекс управления строится по магистрално-модульному принципу. Основная информационная магистраль – мультиплексный канал обмена.

В его состав входят *бортовые*:

- цифровой вычислительный комплекс;
- аппаратура командно-измерительной системы;
- аппаратура телесигнализации;
- а также *блоки*:
- управления бортового комплекса управления;
- интерфейсный бортового комплекса управления.

Бортовой цифровой вычислительный комплекс является основным звеном бортового комплекса управления. Он предназначен для реализации алгоритмов управления и автономной диагностики бортового оборудования КА.

В состав типового бортового вычислительного комплекса входят: две специализированные цифровые вычислительные машины, контроллер ввода-вывода, блок коммутации питания с блоком управления, запоминающее устройство.

Современные требования к СЭС КА для обеспечения высокой надежности их работы, реализуются в основном многократным резервированием, приводящим к повышению массогабаритных характеристик и повышению трудоемкости управления.

Исследование объекта контроля (ОК) содержит изучение его свойств и построение математической модели. Основой построения математической модели ОК является задание модели неисправностей. Основной задачей анализа модели ОК является поиск и разработка эффективных методов и алгоритмов.

Разработка теории, методов и алгоритмов синтеза сложных объектов, наиболее приспособленных к контролю и восстановлению их технического состояния, представляет собой одну из важнейших проблем технической диагностики.

Контроль (проверка) технического состояния объекта требует подачи на объект управляющих воздействий и оценки реакций на них. Программа контроля технического состояния является последовательностью отдельных проверок.

Бортовые автоматизированные системы контроля используют безусловные программы контроля, характеризующиеся жесткой последовательностью реализации входящих в программу отдельных проверок.

Для технологических нужд используются программно-аппаратурные способы контроля, применяемые для проверки объектов и работающие по сменной программе. Аппаратурный способ может быть применен для контроля конкретных объектов. Лучшее решение задачи контроля сложных объектов состоит в правильном сочетании программного и аппаратурного способов контроля.

Следует принять к сведению, что качество средств контроля и качество программ контроля являются двумя основными факторами, определяющими эффективность процесса контроля технического состояния объектов.

Одно из важных достижений эффективности связано с созданием системы моделирования – последовательного анализатора, который представляет собой набор программ для сложной контролируемой системы, способный генерировать данные моделирования неисправностей, а также автоматически генерировать тесты для комбинационных и последовательностных схем цифроаналоговых бортовых комплексов оборудования.

Необходимо учитывать, что резкий рост автоматизации систем СЭС требует еще большей автоматизации процесса диагностики неисправностей.

Таким образом, СЭС является одной из основных систем КА, обеспечивающих их функционирование. Она во многом определяет эффективность функционирования и срок активного существования аппарата и составляет значительную долю его объема. Выход из строя СЭС приведет к отказу всего аппарата. Для того чтобы предотвратить поломку КА, нужно внимательно и тщательно следить за функционированием данной системы. Для эффективного решения этой задачи требуется довольно большой объем информации, получаемой с территориально разнесенных объектов. Это вызывает необходимость наличия системы контроля и диагностики спутниковых каналов связи.

Если перечислены идентификаторы возможных дефектов аппаратуры СЭС, допускается существование способа оценки вектора диагностируемого параметра и определены необходимые априорные вероятности, то для поиска может быть использована схема Байеса, согласно которой по наибольшему значению апостериорной вероятности принимается решение о текущем одиночном дефекте [4].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что диагностические модели для аппаратуры СЭС являются определенной разновидностью структурных математических моделей для решения сугубо прикладных, диагностических задач.

### Библиографический список

1. Ларин В. П., Желудева К. В. Проблемы проектирования системы электроснабжения гиперзвукового летательного аппарата // Научное периодическое издание «IN SITU». М.: ЕФИР, 2016. № 4. С. 33–37.
2. Ларин В. П., Желудева К. В. Выбор проектных решений при разработке системы электроснабжения гиперзвукового летательного аппарата // The Way of Science / International scientific journal. 2017. N 8 (42). P. 35–39.
3. Спутниковая платформа «Экспресс-1000»: учеб. пособие / Под ред. В. А. Бабука, Н. А. Тестодова. СПб., 2015. 67 с.
4. Ларин В. П., Смирнов В. А., Шелест Д. К. Применение интеллектуальных моделей диагностики при приемочном контроле сложных технических объектов // Датчики и системы. 2015. № 2. С. 5–10.

УДК 536.2:629.78

**В. В. Голятин**

студент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

**В. П. Ларин** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ВЫБОР И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

В составе системы электроснабжения (СЭС) космических аппаратов (КА), как правило, присутствуют первичный источник электроэнергии (чаще всего ими являются солнечные батареи) и вторичный, обеспечивающий КА энергией на теневых участках полета или компенсирующий нехватку мощности первичного источника [1]. В качестве вторичного источника активно используются аккумуляторные батареи (АБ).

К АБ, которые используются в КА совместно с первичными источниками, предъявляются следующие основные требования:

- минимальные массогабаритные характеристики;
- высокие электрические характеристики;
- широкий диапазон рабочих температур;
- возможность зарядки низкими токами;
- низкие токи саморазряда.

Добиться максимально высоких показателей одновременно по всем требованиям невозможно из-за их противоречивости. Поэтому актуальным является поиск компромисса между некоторыми из них. Проблеме сохранения максимально высокой емкости АБ при эксплуатации на КА путем достижения компромисса с диапазоном рабочих температур и посвящена данная статья, а в качестве решаемых задач приведены результаты анализа зависимости относительной энергоемкости АБ от диапазона температур и произведен выбор средств для обеспечения теплового режима АБ в условиях работы на борту КА.

Для конкретности рассмотрения вопроса выбора диапазона температур для АБ остановимся на примере никель-водородной аккумуляторной батареи (НВАБ) КА «Ямал-100». Для данной АБ проводились наземные испытания, результаты которых представлены на рис. 1 [2]. На оси ординат дано отношение разрядной энергоемкости при заданной температуре  $T$  к максимально установленной, а на оси абсцисс – отношение температуры  $T$  АБ в Кельвинах к величине  $T_0 = 373,15$  К.

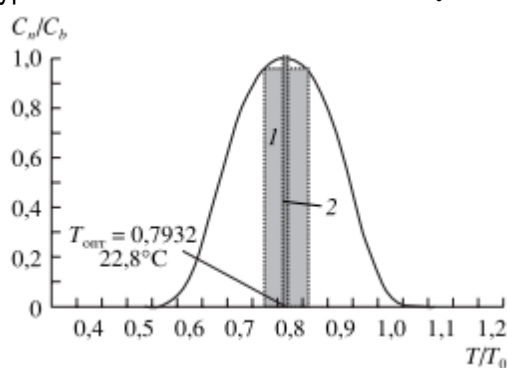


Рис. 1. Зависимость величины электрической емкости НВАБ от температуры:  
1 – зона рабочих температур (-20) – (40) °С; 2 – зона оптимальных температур (6–25 °С)

По результатам подобных испытаний выделяется зона оптимальных температур, при которой удельные энергетические параметры АБ будут оставаться максимально высокими. Но так как подобная зона будет в разы меньше установленной производителем АБ зоны рабочих температур, то повышается сложность задачи обеспечения теплового режима АБ в условиях работы на космическом аппарате.

Поддержание рабочих температур в зоне оптимальных и недопущение выхода из рабочей зоны обеспечивает система терморегулирования (СТР).

СТР выполняет следующие задачи:

- отвод избыточного тепла от теплонагруженного участка;
- транспортирование тепла на радиационные поверхности для его излучения;
- управляемый обогрев при недостаточном собственном тепловыделении.

Функцию отвода тепла от АБ и его транспортирование может выполнять теплопроводный корпус. Тепловая цепь такой СТР состоит из следующих элементов: теплосъем от аккумулятора к корпусу АБ, далее к днищу корпуса АБ, затем на радиатор, устанавливаемый непосредственно на днище и обеспечивающий отвод тепла за счет лучеиспускания (конструкция показана на рис. 2) [3]. Подобная СТР лучше подходит для литий-ионных аккумуляторных батарей, поскольку в них возможен съем тепла сразу от днища, в то время как для НВАБ съем тепла производится радиально с корпуса аккумулятора по высоте электродного блока, являющегося основным источником тепловыделения, что приводит к дополнительной массе корпуса АБ. Уменьшить массу СТР для НВАБ возможно за счет использования тепловых труб (ТТ).

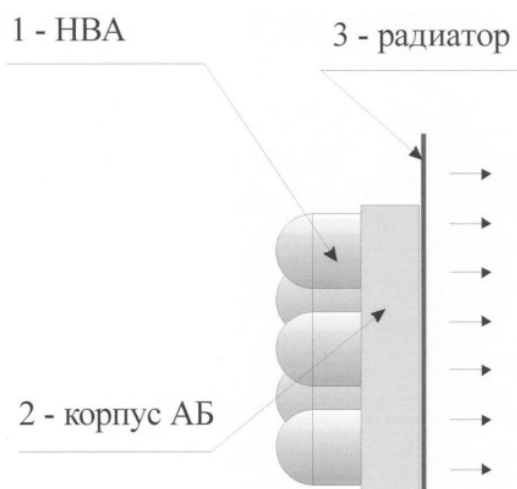


Рис. 2. СТР с теплопроводным корпусом

Принцип работы ТТ состоит в том, что часть рабочего тела, заполняющего объем ТТ, находится в жидкой фазе, заполняющей всю его капиллярно-пористую структуру, а часть – в паровой. При наличии в таком объеме зон с различными температурами происходит испарение рабочего тела в зоне повышенной температуры, в то время как в зоне пониженной температуры будет происходить конденсация. При этом за счет вызванной конденсацией разности давлений пар из зоны испарения будет перемещаться в зону конденсации, а жидкость по капиллярно-пористой структуре за счет капиллярных сил из зоны конденсации будет поступать в зону испарения [4].

СТР для НВАБ с использованием ТТ для отвода избыточного тепла и его транспортирования имеет следующую конструкцию: ТТ имеют тепловой контакт с боковыми поверхностями корпуса АБ на уровне наиболее теплонагруженного участка – электродного блока – и доставляют избыточное тепло на радиатор для излучения в космическое пространство. Подобная конструкция показана на рис. 3 [3].

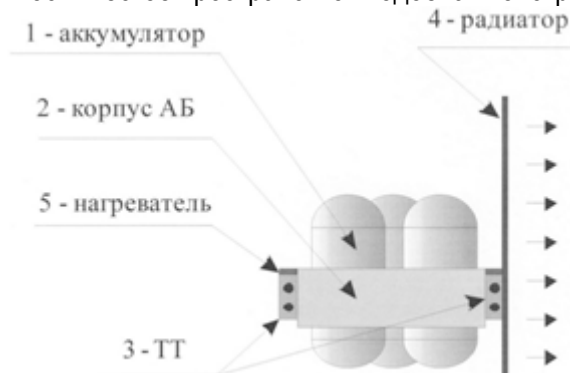


Рис. 3. СТР с тепловыми трубами

Управляемый обогрев в предложенных СТР при недостаточном собственном тепловыделении осуществляется электрообогревателями (ЭО). Широкое применение на КА получили компактные ЭО на базе стеклоткани и полиимида. В основе изготовления подобных ЭО лежит фотопроект точного нанесения рисунка нагревательного слоя и химическая реакция удаления (стравливания) металла (фольги) с мест, не защищенных фоторезистом. В качестве резистивного слоя используется фольга из константана или нихрома. Данным способом изготавливаются ЭО различных конструкций, форм и свойств: гибких, плоских, гибко-плоских с заданным уровнем технологичности и качества при создании КА различных классов [5].

Эксплуатация АБ в более узком температурном диапазоне, чем разрешает производитель, позволяет сохранять разрядную энергоёмкость АБ на уровне, близком к максимально установленной энергоёмкости. Предлагаемые СТР способны не только обеспечить подобный диапазон температур, но и предпочтительны для применения с наиболее распространёнными типами АБ в КА – литий-ионными и никель-водородными, что позволяет оптимизировать массу СТР АБ.

### Библиографический список

1. *Гущин В. Н.* Основы устройства космических аппаратов: учебник для вузов. М.: Машиностроение, 2003. 272 с.
2. *Ковтун В. С.* Обеспечение температурных условий эксплуатации никель-водородных аккумуляторных батарей на борту космического аппарата «Ямал-100» // Известия РАН. Энергетика. 2008. № 4. С. 36–42.
3. Патент RU 2394307 С1. МПК Н 01 М 2/10, Н 01 М 10/50: авторы: Галкин В. В., Гончаров К. А., Лапшин В. Ю. Аккумуляторная батарея с автономной системой терморегулирования // Изобретения. 2010. № 19. 26 с.
4. *Финченко В. С., Котляров Е. Ю., Иванков А. А.* Системы обеспечения тепловых режимов автоматических межпланетных станций / Под ред. В. В. Ефанова, В. С. Финченко. М., 2018. 400 с.
5. *Цаплин С. В., Большев С. А., Романов А. Е.* Теплообмен в космосе: учеб. пособие. Самара, 2018. 92 с.



УДК 620.199

**Л. К. Горюнова**

студентка кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

**В. П. Ларин** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

### **ВЫБОР УРОВНЯ ФОРСИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УСКОРЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ ЦИКЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ**

Текущие тенденции быстрого увеличения использования электроники в различных отраслях, рост популярности переносных электронных устройств приводят к широкой востребованности испытаний на термоциклирование.

Количество электронных автоматических устройств в автомобилях, самолетах, космической технике, в системах управления технологическим оборудованием и другой аппаратуре быстро растет, и к таким изделиям предъявляются более высокие требования по надежности по сравнению с изделиями бытовой электроники и техники. Повышение требований по надежности приводит к увеличению трудоемкости, времени и способов испытаний.

Главной проблемой становится разработка и проведение эффективных испытаний в сокращенные сроки для экономии производственного времени, а для многих изделий и для сокращения расходуемого на испытания ресурса изделий. При этом под эффективными испытаниями понимается возможность выявления всех возможных дефектов и погрешностей при максимальных значениях воздействующих факторов, включенных в программу испытаний в соответствии с условиями эксплуатации.

Основной целью проведения ускоренных испытаний электронных изделий является достижение состояния отказа или накопления повреждений вследствие действия определенного механизма разрушения. Обязательным условием при проведении ускоренных испытаний является меньшее время, чем при обычной эксплуатации изделия.

При проектировании процесса ускоренных испытаний особую важность имеет определение соотношения между испытательными режимами и реальными условиями эксплуатации изделия, относительно которых осуществляется ускорение. В основу ускоренных испытаний должны быть положены определенные принципы их осуществления – совокупность теоретически и экспериментально обоснованных закономерностей или допущений, на использовании которых основано проведение испытаний с сокращением их продолжительности.

Спецификой ускоренных испытаний является необходимость разработки индивидуальной программы для каждого типа изделий. Программа испытаний представляет собой совокупность последовательно выполняемых этапов, каждый из которых имеет определенный режим, устанавливаемый на основе применяемых принципов и методов ускоренных испытаний и обеспечивающий сокращение продолжительности испытаний. Самым характерным этапом, наиболее часто включаемым в программу испытаний, является выполнение испытательного режима при нормальных климатических условиях и без механических воздействий, но при повышенном и пониженном значении питающих напряжений. Этот испытательный режим может быть нормальным или форсированным для повышения интенсивности процессов утраты работоспособности по сравнению с нормальным режимом.

В качестве форсируемого фактора выбирается такой, который имеет наибольшее вероятностное воздействие на отказоустойчивость (при испытаниях на безотказность) или на ресурс изделия (при испытаниях на долговечность).

В данной статье рассматриваются вопросы проектирования процесса ускоренных испытаний при наиболее значимом для всех электронных изделий тепловом воздействии. Следовательно, форсируемым фактором будет тепловое воздействие на объект, режим которого определяется спецификой конструкции, условиями функционирования и эксплуатации.

Наиболее жесткое ускоренное тепловое испытание проводят циклическим методом, подвергая образцы попеременному воздействию температуры и влажности и, если требуется, воздействию механических факторов.

Рассмотрим основные задачи, решаемые при проектировании ускоренных тепловых циклических испытаний для электронной аппаратуры, размещаемой на гиперзвуковых летательных аппара-

тах (ГЛА). В силу аэродинамического нагрева поверхности ГЛА и компактности расположения электронных устройств внутри аппаратных контейнеров имеют место чрезвычайно высокие тепловые воздействия, имеющие циклический характер ударного типа.

Для проведения испытаний применяют специальные камеры термоциклирования и теплового удара (рис. 1). При термоциклировании изделие подвергается поочередному воздействию высоких и низких температур с определенными режимами выдержки, проведение таких испытаний должно проводиться в соответствии ГОСТ Р 51368-99.



Рис. 1. Камера TSD-10

Получение необходимой температуры в камере достигается на основе методики циклического включения и выключения нагревательных и охлаждающих элементов камеры в зависимости от установленной программы.

Форсирование при проведении ускоренного теплового испытания достигается увеличением температуры испытательного режима. Температуру в термокамере устанавливают повышенной исходя из целесообразности сокращения длительности испытаний. В процессе испытания по одной из методик фиксируют моменты отказов элементов. Отказавшие элементы заменяют так, чтобы была восстановлена работоспособность изделия в целом. Продолжают испытания изделия до получения необходимого количества отказов в каждой группе однотипных элементов.

Основной величиной, необходимой для проведения ускоренных испытаний, является коэффициент ускорения  $K_y$ :

$$K_y = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l q_{ij}^0 k_{ij},$$

где  $q_{ij}^0$  – весовой коэффициент, характеризующий относительную долю вероятности отказа изделий из-за  $i$ -го элемента вследствие  $j$ -го механизма отказа при нормальных испытаниях;  $k_{ij}$  – коэффициент ускорения  $j$ -го механизма отказа в  $i$ -м элементе изделия.

(К), устанавливающий соотношение между длительностью испытаний в нормальном и форсированном режимах так, чтобы результаты этих испытаний были эквивалентны:  $K = \frac{C_H}{C_Y}$ , где  $C_H$  – продолжительность нормальных испытаний;  $C_Y$  – продолжительность ускоренных испытаний.

В качестве нормального режима на соответствующих ступенях применяют любой режим, по отношению к которому оценивают ресурс изделия (постоянный режим, режим с циклическим или стационарным случайным изменением уровня внешних нагрузочных воздействий и др.). Параметры нормального режима должны быть заданы в нормативно-технической документации.

Форсированный режим должен быть выбран так, чтобы скорость изнашивания изделия на каждой ступени с нормальным режимом (нормальной ступени) при данном значении износа (или в данном

диапазоне износа) не зависела от режима, при котором был накоплен этот износ (форсированного или нормального).

Ускоряющим фактором для большинства механизмов отказов аэрокосмической электронной аппаратуры является повышенная температура. Для расчета коэффициента ускорения  $k_T$  используют уравнение:

$$k_T = \exp\left(\frac{E_a}{k} \left( \frac{1}{T_{пер.0} + 273} - \frac{1}{T_{пер.ф} + 273} \right)\right)$$

где  $E_a$  – энергия активации механизмов отказов, эВ;  $k$  – постоянная Больцмана равная  $8,6 \times 10^{-5} \frac{\text{эВ}}{\text{С}}$ ;  $T_{пер.0}$  и  $T_{пер.ф}$  – температура испытываемого изделия (например, кристалла (перехода)) в нормальном и форсированном режиме соответственно, °С).

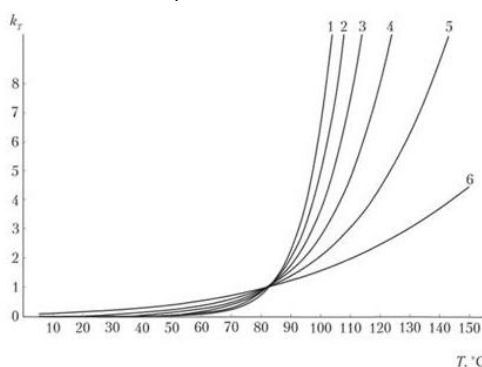


Рис. 2. График зависимости коэффициента ускорения от температуры

Для каждого элемента данного типа рассчитывают коэффициент ускорения  $K_{yi}$ , соответствующий температурам нормальных и форсированных испытаний. Измерения коэффициента ускорения обеспечивает сокращение затрат на проведение предварительных испытаний на порядок, а также длительности этих испытаний.

### Библиографический список

1. Масич П., Кашин Е. Ускоренные испытания: камера термоциклирования и теплового удара ESPEC (TABAI) TSD-100 // Поверхностный монтаж. 2008. № 2. С. 10–14.
2. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-51372-99> (дата обращения: 03.04.2019).
3. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-23-205-79> (дата обращения: 03.04.2019).
4. URL: <https://patentdb.ru/patent/2079854> (дата обращения: 03.04.2019).

УДК: 66.088

**И. А. Гусаков**

студент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

**Б. Г. Филатов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ИССЛЕДОВАНИЕ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ И ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ**

В современном мире к интегральным микросхемам (ИМС) предъявляют очень высокие требования по надежности, быстродействию, информационной емкости и др. параметрам. Поэтому основной тенденцией развития микроэлектроники является непрерывное повышение степени интеграции и информационной емкости интегральных микросхем с одновременным уменьшением стоимости бита информации. Это достигается за счет перехода от больших интегральных схем (БИС) к сверх- и ультрабольшим интегральным схемам (УБИС), при этом происходит постоянное уменьшение размеров элементов микросхем с увеличением их плотности посадки. На сегодняшний день уже разработаны технологии производства микросхем с размерами элементов 0,13 и 0,09 мкм.

Жидкостные процессы технологической обработки материалов в процессе создания микроструктур не могут обеспечить изготовления ИС с субмикронными размерами, поэтому начиная с семидесятых годов во всем мире ведутся поиски альтернативных технологических вариантов. Технологии с использованием низкотемпературной неравновесной газоразрядной плазмы в этом плане оказались наиболее перспективными. К настоящему времени разработан и внедрен в производство изделий электронной техники целый ряд технологических процессов с использованием низкотемпературной плазмы – это обработка и удаление органических резистов, плазменное травление, плазменное получение различных пленок и слоев.

Сравнение плазменных технологических процессов с жидкостными позволяет выделить следующие их преимущества:

- увеличение разрешающей способности с уменьшением размеров ИМС;
- обеспечение высокой *селективности* (отношение скоростей травления двух разных материалов в одних и тех же условиях в одном направлении) процессов;
- обеспечение высокой *анизотропии* (фактор, характеризующий искажение изображения при переносе его с маски на объект за счет бокового подтравливания) процессов;
- более высокий уровень безопасности работы и экологической чистоты производства;
- возможность непрерывного контроля хода и окончания производства;
- возможность создания автоматизированных технологических циклов, не требующих участия оператора.

Здесь стоит отметить, что сложность и многообразие физико-химических процессов, протекающих в далеких от термодинамического равновесия условиях, не позволили и до настоящего времени полностью реализовать все преимущества плазменных технологий.

На данный момент плазменные технологии работают в трех основных научно-технических направлениях (рис. 1):

- плазменное осаждение покрытий;
- плазменная модификация поверхностей;
- плазменное травление и очистка поверхностей.

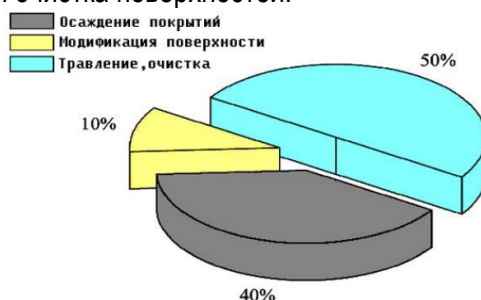


Рис. 1. Основные направления плазменных технологий

### Плазменное осаждение покрытий

Включает плазменное напыление и стимулированное плазмой осаждение из газовой фазы. Тонкие пленки металлов, используемые в качестве функциональных слоев и межэлементных соединений в ИМС, получают в процессах распыления в среде инертных газов в диодных, триодных и магнетронных системах. При использовании в качестве плазмообразующего газа кремнийсодержащих соединений (например,  $\text{SiCl}_4$  и  $\text{SiH}_4$ ) возможно осаждение поликристаллического кремния, а с добавками кислорода, оксида азота, аммиака и углеводородов (метан, этилен) –  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  и  $\text{SiC}$ . Плазма в среде углеводородов обеспечивает процессы плазменной полимеризации, позволяя получать кремний- и металлосодержащие полимеры с уникальными свойствами. Рабочая температура плазмы может достигать  $6000^\circ\text{C}$ . Это способствует высокой скорости осаждения состава на поверхности. Длительность процесса – десятые доли секунды. Благодаря малому времени обработки заготовка не подвергается вредным поверхностным факторам, таким как перегрев или окисление.

### Плазменная модификация поверхности

Этот процесс позволяет вносить локальные изменения в свойства обрабатываемой поверхности (гидрофильность, адгезионные характеристики, химический состав и т. д.) при сохранении объемных свойств. Основными объектами здесь служат полимерные материалы (полиимид, полиэтилен), а в качестве плазмообразующих сред используются  $\text{Ar}$ ,  $\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NH}_3$ , их смеси и воздух. Как правило, улучшение адгезионных свойств полимеров под воздействием плазмы связано не только с очисткой поверхности от различного рода загрязнений, но и с образованием гидрофильных групп различной химической природы, обеспечивающих высокие адгезионные свойства модифицированных поверхностей. Состав, структура и свойства таких полярных групп зависят как от природы полимера, так и от свойств плазмы. Если в качестве рабочего газа плазмы используется кислород или воздух, то на поверхности полимера образуются кислородсодержащие полярные группы (карбонильные, спиртовые, перекисные, простые и сложные эфирные, лактонные и т. п.). В случае применения аммиака или его смесей с водородом на поверхности возникают азотсодержащие группы (амино-, амидо-, имидо-, имино- и т. п.). Воздействие разряда в атмосфере инертных газов приводит к образованию активных свободных радикалов, которые на воздухе превращаются в гидроперекисные и перекисные, а затем в стабильные кислородсодержащие полярные группы. Процессы плазмохимической модификации полимеров осуществляют с использованием низкотемпературной плазмы, то есть температура рабочего газа составляет примерно  $300\text{ K}$ . Используют низкочастотные разряды (частота от  $50\text{ Гц}$ ), высокочастотные разряды (в основном  $13,56\text{ МГц}$ ) и СВЧ-разряды (обычно  $2,45\text{ ГГц}$ ), а также разряд постоянного тока.

### Плазменное травление и очистка поверхности

Типичными представителями этой группы процессов является травление фоторезиста в кислородной плазме, а также травление металлов и полупроводников в плазме галогеносодержащих газов. В качестве последних наиболее широко используются фтор и хлоросодержащие соединения.

Существует несколько видов плазменного травления:

- ионное травление, использующее в основном физический механизм воздействия ионов плазмы на обрабатываемую поверхность;
- плазмохимическое травление, при котором поверхностные слои удаляются в результате химических реакций;
- комбинированное воздействие этих механизмов, называемое реактивным ионным травлением (в том числе реактивное ионное травление с источником индуктивно связанной плазмы – ИСП/ИСП).

Меняя состав плазмообразующего газа и параметры разряда, можно в широких пределах варьировать скорости целевых процессов, их анизотропию и селективность в соответствии с требованиями, предъявляемыми к размерам и характеристикам изделий.

Виды плазмообразующих газов:

- *инертные* применяются в качестве основного компонента при ионном травлении и входят в состав различных смесей в качестве инертных разбавителей;

- *фторсодержащие* нашли широкое применение при травлении кремния и его соединений, а также ряда металлов 4–6 группы периодической системы Д. И. Менделеева;
- *хлорсодержащие* используются для травления металлов и соединений, не образующих газообразных продуктов с фтором;
- *кислород* используется в качестве компонента сложных смесей при травлении металлов и полупроводников;
- *водород и смеси на его основе* используются для очистки поверхности и травления ряда полупроводников;
- *благородные (Ar, He) и азот* – добавка этих газов стабилизирует разряд, устраняет эффекты стратификации (повышение концентрации заряженных частиц) в плазме;
- *травители собственных проводников* способствуют травлению материалов, на поверхности которых изначально присутствует слой собственного окисла, в качестве примера можно привести добавку  $C_2F_6$  к хлору или тетрахлорметану при травлении кремния.

Сводка некоторых данных по газам и газовым смесям, используемым для травления различных материалов, приведена в табл. 1.

Таблица 1

Сводка данных по газам и газовым смесям

Материал	Газовая среда
Si	$CF_4/O_2$ , $CF_2Cl_2$ , $CF_3Cl$ , $SF_6/O_2/Cl_2$ , $NF_3$ , $CCl_4$
$SiO_2$	$CF_4/H_2$ , $C_2F_6$ , $C_3F_8$ , $CHF_3/O_2$
$Si_3N_4$	$CF_4/O_2/H_2$ , $C_2F_6$ , $C_3F_8$ , $CHF_3$
SiC	$CF_4/O_2$ , $NF_3$ , $SF_6/Cl_2$ , $CF_4/Cl_2$
Al	$BCl_3$ , $CCl_4/BCl_3/Cl_2$ , $SCl_4/Cl_2$
Cr	$Cl_2$ , $CCl_4/Cl_2$ , $CCl_4/Cl_2$
Mo, Nb, Ta, Ti, W	$CF_4/O_2$ , $SF_6/O_2$ , $NF_3/H_2$

### Заключение

Изучив вакуумно-плазменные и плазмохимические процессы обработки, можно сделать вывод, что «сухие» методы позволяют существенно улучшить анизотропию процесса травления, увеличить его разрешение и дает в руки технолога мощный и гибкий инструмент, с помощью которого можно получать структуры требуемой конфигурации и нужных размеров.

### Библиографический список

1. *Ефимов А. М., Светцов В. И., Рыбкин В. В.* Вакуумно-плазменные процессы и технологии: учеб. пособие. Иваново, 2006. 260 с.
2. Плазменная модификация поверхности полимерных материалов. URL: [https://www.isuct.ru/conf/plasma/LECTIONS/Gilman\\_lecture.html](https://www.isuct.ru/conf/plasma/LECTIONS/Gilman_lecture.html) (дата обращения: 02.08.2019). Плазмообразующие газы. URL: <https://studfile.net/preview/5640492/page:3/> (дата обращения: 02.08.2019).
3. Плазменное травление, установка реактивно ионного травления. URL: <http://equip.eltech.com/catalog/5887> (дата обращения: 02.08.2019).
4. Вакуумная металлизация. URL: <https://instanko.ru/drugoe/plazmennoe-napylenie-metalla.html> (дата обращения: 02.08.2019).

УДК 621.396.523

**К. С. Мужилкина**

студентка кафедры конструирования и технологий электронных средств

**А. Е. Новиков** – старший преподаватель – научный руководитель**ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МИКРОКЛИМАТА ГРИБНОЙ ТЕПЛИЦЫ**

Целью данной публикации является анализ теплового баланса микроклимата грибной теплицы и построение математической модели для управления параметрами процесса.

Математическое моделирование различных процессов все более часто используется в разработках, относящихся к созданию управляемых систем выращивания сельскохозяйственной продукции в условиях искусственного климата. Решение задачи математического моделирования в данной работе относится к прикладной области исследования и позволяет получить динамику роста и развития грибных теплиц. На данный момент большую популярность и востребованность набирает выращивание грибов в тепличных условиях, что является одним из направлений культивирования различных сортов.

Существует два типа моделей микроклимата теплиц. [1]

1. Принципиальные модели, которые используют данные о физических процессах тепло- и массообмена, происходящих в теплице. Такие модели описываются дифференциальными уравнениями.

2. Кибернетические модели, в которых микроклимат теплицы рассматривается как замкнутая система, а взаимосвязь входных и выходных параметров изучается и определяется экспериментально.

Рассмотрим построение модели первого типа для микроклимата грибной теплицы. Особенностью грибов является то, что они являются аэробными механизмами, то есть выделяют углекислый газ в течение своего развития, в отличие, например, от растений, которые поглощают газ во время фотосинтеза. В связи с этим возникает необходимость рассмотрения типового микроклимата грибной теплицы. За основу возьмем теплицу с заданным объемом воздуха, с ограниченными стенами, крышей и основанием [2].

Уравнение теплового баланса энергии, влияющей на изменение параметров среды внутри теплицы, имеет вид:

$$\rho \cdot V \cdot C \cdot \frac{dT(t)}{dt} = Q_{\text{пост.}} - (\sum Q_{\text{огр.}} + Q_{\text{свеж.}}), \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха,  $0,22 \text{ кг/м}^3$ ;  $V$  – объем воздуха.  $21,9 \text{ м}^3$  (из расчета на небольшую теплицу с размерами  $3,65 \times 2,4 \times 2,5$ );  $C$  – удельная теплоемкость воздуха,  $1,3 \text{ кДж/(м}^3 \cdot \text{°C)}$ ;  $T(t)$  – температура воздуха внутри теплицы ( $+20 \text{ °C}$ );  $Q_{\text{пост.}}$  – тепловые поступления от системы обогрева;  $\sum Q_{\text{огр.}}$  – теплотопотери через ограждающие конструкции здания;  $Q_{\text{свеж.}}$  – теплотопотери на обогрев свежего воздуха.

Тепловые поступления от системы обогрева [3]:

$$Q_{\text{пост.}} = G_{\text{тепл.}} \cdot C_{\text{тепл.}} (T_{\text{нач.}} - T_{\text{кон.}}), \quad (2)$$

где  $G_{\text{тепл.}}$  – расход теплоносителя (водяное отопление, так как меньше сушит воздух)  $1,9 \text{ кг/с}$ ;  $C_{\text{тепл.}}$  – удельная теплоемкость теплоносителя,  $4,19 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$ ;  $T_{\text{нач.}}, T_{\text{кон.}}$  – температура теплоносителя на входе и выходе теплообменника;  $T_{\text{нач.}} - T_{\text{кон.}} = \Delta T$  – перепад температур теплоносителя на входе и выходе теплообменника,  $\Delta T = 19 \text{ °C}$ .

$$Q_{\text{пост.}} = 148696$$

Тепловые потери через ограждающие конструкции:

$$Q_{\text{огр.}} = \sum k \cdot F (T_{\text{в.}} - T_{\text{н.}}), \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи окружающей конструкции,  $1,5$  (Дж/(м<sup>2</sup>·с·°С));  $F$  – площадь ограждения,  $8,76$  м<sup>2</sup>;  $T_B$  – температура воздуха внутри здания;  $T_H$  – температура воздуха наружная;  $T_B - T_H = \Delta T$  – перепад температуры воздуха,  $\Delta T = 19$  °С.

$$Q_{огр.} = 249,66$$

Теплопотери на обогрев свежего воздуха:

$$Q_{свеж.} = G_{свеж.} \cdot C_{возд.} \cdot (T_B - T_H), \quad (4)$$

где  $G_{свеж.}$  – расход свежего воздуха для вентиляции помещения,  $0,9$  кг/с;  $C_{возд.}$  – удельная теплоемкость воздуха,  $1,3$  (кДж/(м<sup>2</sup>·с·°С));  $T_B$  – температура воздуха внутри здания;  $T_H$  – температура воздуха наружная;  $\Delta T = 19$  °С.

$$Q_{свеж.} = 22230.$$

Запишем уравнение (1) полностью, подставив раскрытые члены (2), (3) и (4):

$$\rho \cdot V \cdot C \cdot \frac{dT(t)}{dt} = G_{тепл.} \cdot C_{тепл.} \cdot (T_{нач.} - T_{кон.}) - \sum k \cdot F \cdot (T_B - T_H) - G_{свеж.} \cdot C_{возд.} \cdot (T_B - T_H) \quad (5)$$

Подставив все определенные величины, мы получаем уравнение теплового баланса, которое выглядит следующим образом:

$$0,22 \cdot 21,9 \cdot 1300 \cdot 20 = 148696 - (249,66 + 22230)$$

$$125268 \neq 126216$$

Из данного неравенства можно сделать вывод, что уравнение теплового баланса практически выполняется, несогласование выходит за счет незначительных потерь энергии.

Уравнение массового баланса воды в атмосфере имеет вид:

$$\rho \cdot V \cdot \frac{dX(t)}{dt} = G_{свеж.} \cdot X_{свеж.} - G_{ух.} \cdot X_{ух.} - G_{пар.} \quad (6)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха,  $0,22$  кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – объем воздуха,  $21,9$  м<sup>3</sup>;  $X(t)$  – абсолютная влажность воздуха в атмосфере теплицы,  $2,5$  кг<sub>воды</sub> / кг<sub>возд</sub>;  $G_{свеж.}$  – расход свежего воздуха,  $0,9$  кг / с;  $X_{свеж.}$  – абсолютная влажность свежего воздуха,  $10,4$  кг<sub>воды</sub> / кг<sub>возд</sub>;  $G_{ух.}$  – расход уходящего воздуха,  $0,3$  кг / с;  $X_{ух.}$  – абсолютная влажность уходящего воздуха,  $9$  кг<sub>воды</sub> / кг<sub>возд</sub>;  $G_{пар.}$  – расход пара,  $4$  кг / с.

Подставив все известные величины, мы получаем уравнение теплового баланса, которое выглядит следующим образом:

$$0,22 \cdot 21,9 \cdot 2,5 = 0,9 \cdot 10,4 - 0,3 \cdot 9 + 4$$

$$12,045 \neq 10,66$$

Результат говорит о том, что уравнение массового баланса не выполняется в связи с недостаточным расходом воздуха и значениях влажности в помещении.

Уравнение массового баланса углекислого газа в атмосфере теплицы определяется из баланса масс углекислого газа по следующей формуле:

$$\rho \cdot V \cdot \frac{dM_{CO_2}}{dt} = G_{свеж.} \cdot M_{CO_2свеж.} - G_{ух.} \cdot M_{CO_2свеж.} + oxi(t, m), \quad (7)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха,  $0,22$  кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – объем воздуха,  $21,9$  м<sup>3</sup>;  $M_{CO_2}(t)$  – абсолютное содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере теплицы,  $0,0062$  кг<sub>CO<sub>2</sub></sub> / кг<sub>возд</sub>.



$G_{\text{свеж.}}$  – расход свежего воздуха, 0,9 кг/с;  $M_{\text{CO}_2\text{свеж.}}$  – абсолютное содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере, 0,0055 кг $\text{CO}_2$  / кг;  $G_{\text{ух.}}$  – расход уходящего воздуха, 0,3 кг/с;  $M_{\text{CO}_2\text{ух.}}$  – абсолютное содержание  $\text{CO}_2$  в уходящем воздухе из теплицы, 0,05 кг $\text{CO}_2$  / кг;  $oxi(t, m)$  – процесс окисления грибами воздуха, сопровождаемый выделением  $\text{CO}_2$  в воздух теплицы, 0,04 кг $\text{CO}_2$  / кг.

$$0,22 \cdot 21,9 \cdot 0,0062 = 0,9 \cdot 0,0055 - 0,3 \cdot 0,05 + 0,3$$

$$0,0298 = 0,00495 - 0,015 + 0,04$$

$$0,0298 = 0,0299$$

Таким образом, уравнение массового баланса углекислого газа в атмосфере теплицы было соблюдено.

Из приведенных выше формул, в частности (5), (6), (7) можно сделать вывод, что данные уравнения приближенно описывают микроклимат грибной теплицы. Зная четко заданные параметры, для равенства уравнений, можно изменять, к примеру, температуру, влажность, а также тепловые поступления от системы обогрева, для лучших условий и правильного выращивания грибов в теплице.

### Библиографический список

1. Семенов В. Г., Алейникова Е. А. Компьютерное моделирование при исследовании системы управления микроклиматом теплицы // Современные наукоемкие технологии. 2007. № 10. С. 75–77.
2. Кошкин Д. Исследование динамических характеристик системы управления микроклиматом теплицы // MOTROL. 2011. 13А. С. 189–195.
3. Техника и технологии чистых помещений. URL: <http://www.cleanroomparts.ru/o-chistykh-pomeshcheniyakh/klassy-chistoty.html> (дата обращения: 01.03.2019).

УДК 369.223.256

**В. А. Орбинский**

студент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

**В. П. Пашков** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ БИОНИЧЕСКИМ ПРОТЕЗОМ

Сложно переоценить важность медицинских открытий в жизни человека. Одной из сфер в медицине, далеко шагнувших вперед, является протезирование. Ничто так не помогает по жизни человеку, как его руки и ноги. Мы передвигаемся, занимаемся своим любимым делом во многом благодаря нашим конечностям. Но иногда случаются непредвиденные обстоятельства, и человек остается без своего основного инструмента. Несчастные случаи, серьезные заболевания и тому подобные вещи могут запросто стать причинами полной или частичной потери конечности. Именно в таких случаях на помощь приходит протезирование, но ранее протезы рук и ног не помогали вернуть полноценные возможности настоящих конечностей. Теперь на помощь пришли новые, бионические (или как их еще называют высокотехнологичные) протезы.

В инженерии всегда стояла цель разработки протеза, способного полноценно заменять потерянную конечность. Основная сложность заключалась в разработке метода управления таким протезом. Теперь ученые открыли способ управления «силой мысли» искусственной рукой. Для того чтобы разобратся в данном вопросе, необходимо затронуть основные положения такого метода исследования, как электромиография.

Когда человек намеривается пошевелить рукой, его мозг формирует и отправляет электрический импульс по нервной цепи на соответствующую мышечную ткань нашего тела, после чего происходит движение той или иной части человеческого тела. Обнаружение, визуализация и получение характеристик этого сигнала носит название «Электромиография». Пример визуализации подобного сигнала представлен на рис. 1. Сущность данного метода заключается в следующем: на поверхность кожи человека (или внутримышечно с помощью иглы) крепится электрод (датчик), который улавливает генерируемые мозгом импульсы и передает информацию на усилитель. Усилитель в свою очередь усиливает полученный сигнал и отправляет его на компьютер, начинающий процесс визуализации сигнала, а также передает пользователю все необходимые характеристики полученного сигнала. Именно этот метод лежит в основе устройства управления бионическим протезом.

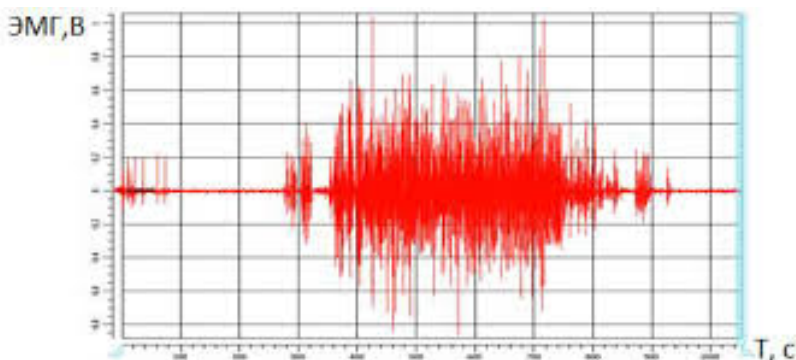


Рис. 1. Визуализация ЭМГ сигнала

Теперь рассмотрим, как данный метод исследования помог добиться такого прогресса в области протезирования. В качестве примера будем рассматривать устройство управления протезом лучезапястного сустава. Итак, в основе всего лежит генерируемый мозгом биоэлектрический заряд. В случае, когда конечность отсутствует и у человека появляется намерение пошевелить ею, мозг также формирует данный сигнал, который проходит по сохранившимся в культе нервным окончаниям. Данный сигнал необходимо уловить, отфильтровать и усилить. Отвечает за это специальный печатный узел, который носит название «Muscle Sensor v3 Kit». Именно на этот ПУ поступает первостепенная

информация с электродов. Внешний вид данного ПУ представлен на рис. 2. Электроды подключаются к разъему, установленному на плате, а далее происходит фильтрация и усиление сигнала; с выхода отфильтрованный и усиленный сигнал передается на следующий блок системы управления.

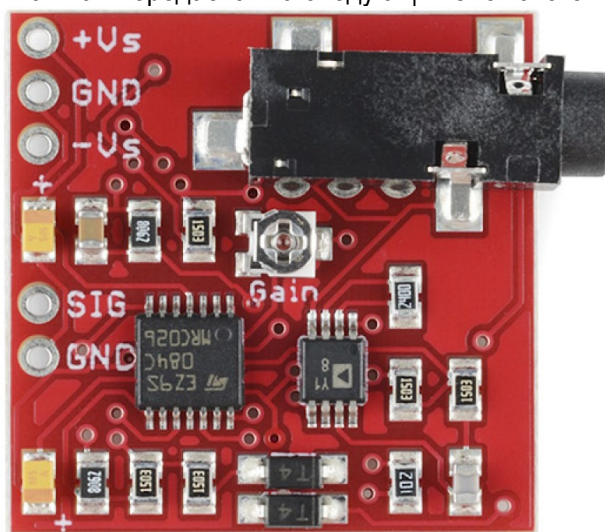


Рис. 2. Печатный узел «Muscle Sensor v3 Kit»

Далее в дело вступает устройство обработки сигнала. В качестве такого устройства может выступать любой многофункциональный печатный узел, например, многофункциональный печатный узел (ПУ) «ArduinoUNO». Данная модель замечательно сочетает в себе компактность и многофункциональность. В данном ПУ присутствуют разъемы для приема как аналоговых, так и цифровых сигналов. Также стоит отметить простоту прошивки головного микроконтроллера ATmega 328P посредством вспомогательного контроллера CH340G. Основная задача данной платы – обработка поступившего сигнала и выдача соответствующих сигналов на устройство управления, которым в нашем случае будут являться пара шаговых микродвигателей. Когда информация о характеристиках сигнала передается на управляющий микроконтроллер ПУ, в роли которого выступает МК ATmega 328P, сигнал проходит этап обработки. Сущность обработки заключается в следующем: в памяти микроконтроллера содержится база данных, в которой хранится информация о примерных характеристиках сигналов, отвечающих за те или иные движения протеза. Контроллер получает информацию о характеристиках поступившего от мозга сигнала, далее он ищет в базе данных максимально похожие, после выясняет, за какое движение отвечают данные характеристики сигнала, и посылает соответствующий этому движению сигнал на исполняющий механизм. Данный способ распознавания носит название «метод нечеткой логики». Схема подключения системы управления высокотехнологичным протезом представлена на рис. 3.

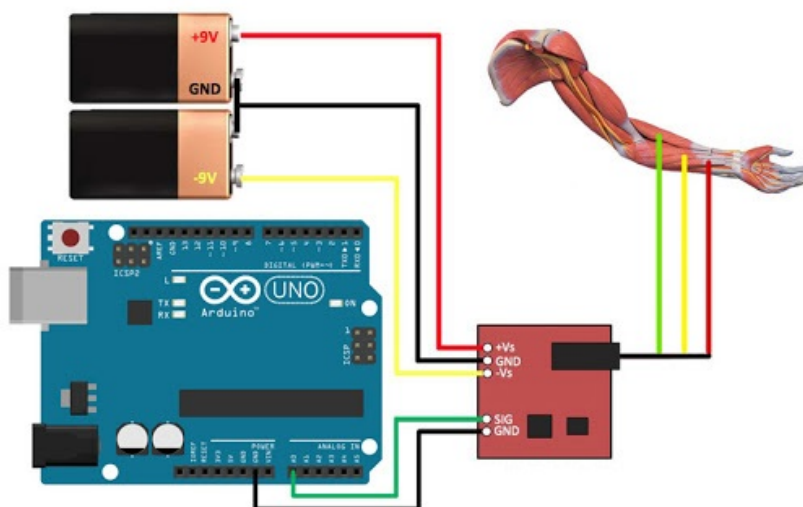


Рис. 3. Подключение системы управления протезом

Основная проблема, возникающая при проектировании данного устройства, – сложность системы управления, которая варьируется в зависимости от функций, которые разработчик хочет получить от протеза. Программный код, описывающий функцию распознавания сигналов, усложняется в зависимости от функционала протеза. Для примитивных функций по типу сжать – разжать он может состоять приблизительно из сотни строчек, но как только разработчик начнет вводить новые функции, это значение умножится в несколько десятков раз. Также при расширении функций бионической руки растет и количество электродов, требуемых для улавливания ЭМГ сигналов. Например, для функции сжать – разжать хватит порядка 3–4 электродов, но если разработчик захочет, чтобы его устройство смогло полноценно имитировать работу руки (шевеление пальцев, поочередное сгибание каждого пальца), то их количество может возрасти до нескольких десятков. Это обусловлено тем, что сигналы на разные движения проходят по разным участкам руки, и пара электродов не может уловить их все.

Система управления высокотехнологичным протезом – это сложная система, состоящая из двух основных печатных узлов: Muscle Sensor v3 Kit и Arduino UNO. Каждый из этих узлов является неотъемлемой частью системы управления и выполняет все необходимые функции.

### Библиографический список

1. *Гаврилов А. И.* Система обработки данных электромиографии // Молодежный научно-технический вестник. 2015. № 11. С. 1–4.
2. *Николаев С. Г.* Атлас по электромиографии. Иваново, 2010. С. 435–447.
3. *Гурфинкель В. С., Малкин В. Б., Цетлин М. Л.* Биоэлектрическое управление. М.: Наука, 1972. 299 с.
4. *Филиппов В. В., Орбинский В. А.* Управление протезом лучезапястного сустава // TheWayofScience. Internationalscientificjournal. 2019. N 11 (69). P. 71–73.

УДК 629.735.33

**Н. А. Остапенко**

студентка кафедры конструирования и технологий электронных средств

**И. А. Гарютин** – старший преподаватель – научный руководитель

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ УПРАВЛЯЮЩИХ УЗЛОВ АППАРАТОВ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ

Современные микропроцессоры в платах подвержены сильному воздействию помех, возникающих в устройстве. Недостаточная помехозащищенность в схеме может привести к снижению эффективности работы микропроцессора, а то и вовсе к его отказу. Источником помех могут служить самые разные причины, и для каждой из них существует свой метод ее устранения. Например, с помехами из внешней среды помогают справиться гальванические развязки, а с внутренними помехами, возникающими из-за гальванической связи аналоговой и цифровой части, – фильтрующие конденсаторы и разделение земли. Проблеме помех особо сильно подвержены устройства управления источниками тока и напряжения, например, плата управления аппаратом плазменной резки. Необходимо обеспечить максимальную помехозащищенность для платы плазменного аппарата для его корректной работы. В противном случае микропроцессор может быть полностью выведен из строя, что сделает невозможным достижение качественной плазменной резки. Это связано с тем, что в таких источниках приходится работать с сигналами больших мощностей. Зачастую в них используются компоненты, имеющие большие значения индуктивности и емкости. Также плазма, получаемая при работе аппарата, и газовые разряды являются источниками электростатических помех в широком диапазоне частот. Помехи, возникающие в таких условиях, могут мешать нормальной работе управляющих систем и устройств, вызывать сбои и даже выводить микропроцессоры из строя.

Основным узлом любого радиоэлектронного устройства является печатная плата. На этапе ее проектирования необходимо принимать меры по снижению уровня помех.

*Гальваническая развязка.* Она позволяет уменьшить количество помех, получаемых из внешних источников. Опасность с точки зрения появления помех представляют цепи питания, причем помехи могут образовываться как во внешних цепях, так и во внутренних вторичных источниках. В таких случаях приемником помех становится цепь общего провода, например заземление. При протекании по ним токов от различных блоков из-за наличия сопротивления проводников и проводов, которыми такие цепи выполняются, образуется падение напряжения. Именно оно и может воздействовать на высокочувствительные узлы устройства. Гальваническая развязка может уменьшить негативное воздействие такого рода помех. Обычной гальванической развязкой называют отсутствие связи по постоянному току между «схемной землей» и другими питающими шинами. Такой вид развязки обеспечивает повышение потенциала сигнальных цепей, но не допускает его рост выше допустимого изоляционного напряжения. В зависимости от требуемых значений напряжения изоляции и специфики сигналов интерфейса гальваническая развязка может осуществляться различными способами, например, с помощью трансформатора или же оптрона. Трансформаторный способ реализован в приведенной схеме (рис. 1) [1].

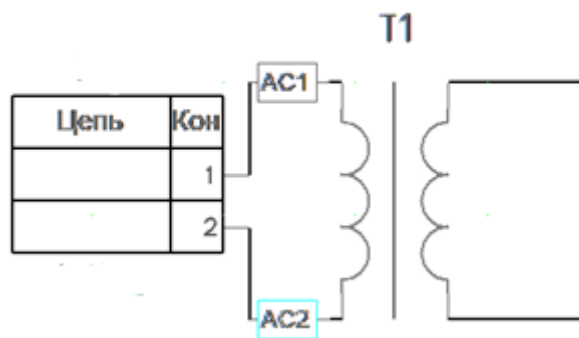


Рис.1. Трансформаторная гальваническая развязка

В каждом источнике питания, в котором задействован трансформатор, между входом и выходом есть гальваническая развязка. У источников с трансформаторным входом на первичную обмотку трансформатора подается входное напряжение переменного тока (15В, 50 Гц), а ко вторичной обмотке подключается выпрямитель. У источников с бестрансформаторным входом основная часть схемы не развязана с входом; отсутствие трансформатора позволяет им работать и от сети постоянного тока.

Трансформаторная гальваническая развязка очень проста в использовании. При помощи магнитного поля этот вид развязки способен на передачу энергии для питания устройств. Весомыми недостатками этого способа является работа только с определенными частотами и переменным напряжением. Также гальваническую развязку можно реализовать при помощи оптрона. Такой тип развязки позволяет решить проблемы с помехами от устройств управления и датчиков. Оptronный способ обладает низкой эффективностью, так как невозможно передавать большое количество энергии. Преимущество оптронной развязки в том, что она справляется с постоянным напряжением и цифровыми сигналами, в то время как трансформаторная развязка работает только по переменному току. Оptronную развязку можно применять в устройствах с большой скоростью передачи данных. Пример оптронной развязки изображен на рис. 2.

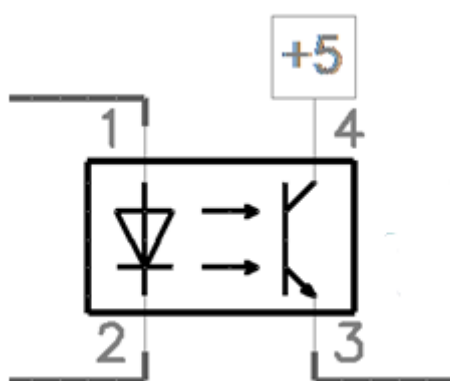


Рис. 2. Оptronная развязка

Для устранения внутренних помех применяются фильтрующие конденсаторы. Керамические проходные конденсаторы обеспечивают надежную защиту от внутренних помех, а благодаря своей компактности и упрощенной конструкции монтажной платы очень удобны для использования в фильтрах электромагнитной совместимости (ЭМС). Фильтры ЭМС позволяют осуществить электрическую развязку источников помех и оборудования, которое нужно от этих помех защитить, не нарушая работоспособности системы. Они устраняют помехи, разряжая их сигналы на «землю». Фильтры ЭМС защищают электрооборудование как от внутренних, так и от внешних помех и предотвращают распространение помех по печатным проводникам.

Следующий способ, с помощью которого осуществляется уменьшение влияния внутренних помех, – это развязка аналоговых и цифровых сигналов. Она может быть осуществлена шинами за счет максимального разделения цепей заземления. Разделение шин необходимо для понижения потребления энергии цифровой группой. Аналоговые и цифровые элементы группируются отдельно друг от друга для устранения взаимного влияния. Шины должны быть максимально короткими, так как ее меньшая длина уменьшает шанс образования связи с аналоговыми сигналами, которые более подвержены внешнему воздействию. Нельзя допустить, чтобы аналоговые и цифровые сигналы проходили параллельно друг другу на короткой дистанции. Их пересечение возможно под прямым углом. При трассировке проводники разных земель не должны пересекаться. Все общие выводы должны быть подключены к единому полигону земли с низким сопротивлением. Это единственное место, где пересекаются полигоны аналоговых и цифровых земель. Земляной полигон – один из способов выполнения шины заземления. Земляной полигон позволяет свести к минимуму шумы от переходных токов за счет понижения индуктивности обратного пути сигнала. Обычно на платах есть два земляных полигона: аналоговый и цифровой. Аналоговая часть схемы гораздо больше подвержена помехам, поэтому ее защитный

полигон занимает значительно большую площадь. Полигоны располагаются с двух сторон печатной платы и пересекаются только в одной точке с низким сопротивлением [3].

Существует несколько правил, позволяющих трассировать печатные платы с аналоговой и цифровой частью. При трассировке свободные участки между сигнальными дорожками, подключенные к шинам, заполняются медью. Под аналоговой землей находятся аналоговые шины питания, под цифровой землей – цифровые шины питания. По такому же принципу располагаются и сигнальные цепи. Схема расположения сигналов изображена на рис. 3 [4].

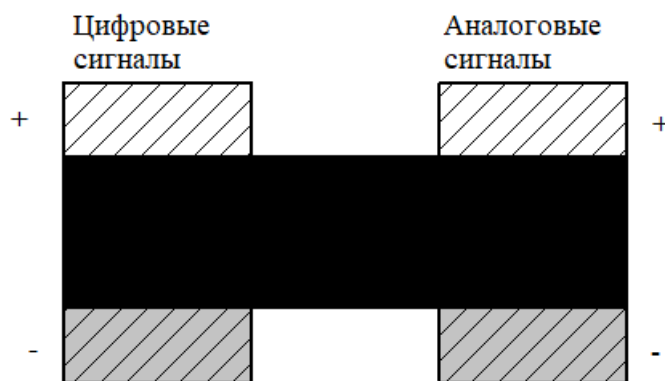


Рис. 3. Трассировка полигонов аналоговых и цифровых земель

Аналоговая и цифровая системы заземления, объединенные в низкоимпедансном узле, образуют общую землю, в которую приходят все обратные токи. Эти системы изображены на рис. 4 [5].

Единая земля служит выводом заземления систем питания сетевого переменного напряжения или общим выводом для систем питания от постоянного напряжения. Для точки соединения земель можно использовать вывод корпуса устройства, но не стоит забывать о возможности возникновения земляных контуров.

Следующая рекомендация по трассировке платы состоит в том, что необходимо использовать обособленные, персональные разъемы, транслирующие возвратные токи. Эти разъемы предотвращают износ контактов, истирание при частом разъединении, приводящие к увеличению числа отказов устройства, а также к снижению эффективности работы в целом.

Нельзя не обратить внимание и на тот факт, что небольшая емкостная взаимосвязь между трассами, обусловленная высокочастотностью тактовых сигналов, может служить источником возникновения уже гораздо более значительной связи.

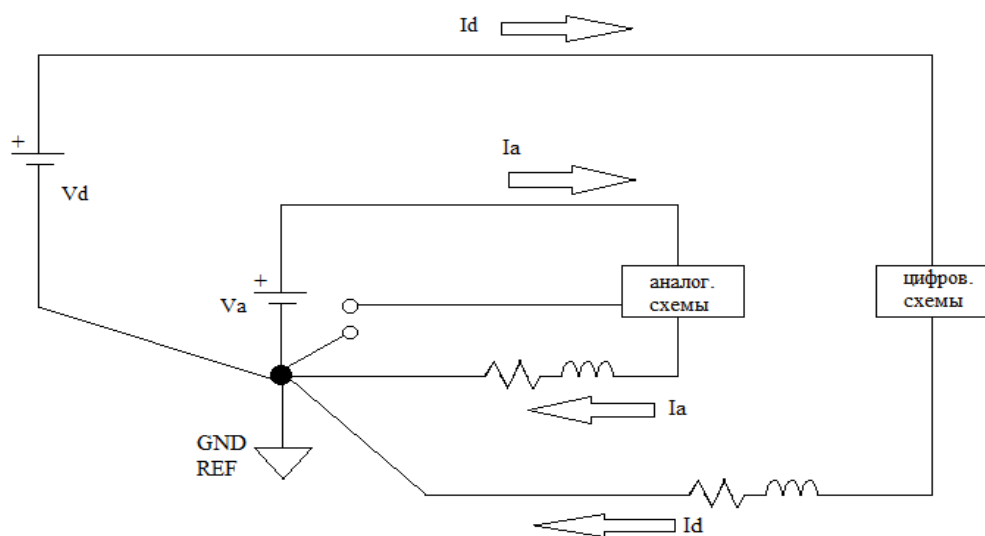


Рис. 4. Схема разделения заземляющих поверхностей

Высшие гармоники также могут вызвать негативное воздействие на соседние цепи. Для устранения этой проблемы стоит располагать элементы как можно более компактно, чтобы минимизировать количество соединительных проводников. Не стоит также использовать соединительные дорожки шире 1 мм для уменьшения сопротивления печатных проводников. Из этого следует, что дорожки превратятся в один длинный пленочный конденсатор, который будет собирать все ненужные сигналы от цифровых компонентов.

Итак, для того чтобы обеспечить широкий диапазон низких шумов в цифровой среде, необходимо использовать эффективные приемы проектирования схем, в которые входят грамотная трассировка, развязка сигнальных цепей и питания. Рассмотренные способы позволяют минимизировать негативное влияние помех на устройство, тем самым продлевая срок его службы.

### Библиографический список

1. Гук М. Гальваническая развязка // Форум Programming Lang. URL: <http://programming-lang.com/> (дата обращения: 04.02.2019).
2. Крюков М. Использование проходных конденсаторов в фильтрах электромагнитной совместимости // Компоненты и технологии. 2002. № 8. С. 48–50.
3. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике. М.: Энергоатомиздат. 1995. 304 с.
4. Заземление в печатных платах. URL: <http://portal-ed.ru> (дата обращения: 04.02.2019).
5. Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов / Под ред. У. Кестера. М.: Техносфера, 2010. 286 с.



УДК 616-77

**А. Ю. Перевязкина**

студентка кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

**В. П. Пашков** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### АКТИВНАЯ КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ ЭКЗО-СИСТЕМА

С каждым годом количество инвалидов в России увеличивается примерно на 1 млн человек, из них около половины становятся инвалидами в связи с утратой всей конечности или ее части. Таким образом, человек теряет свою способность к трудовой деятельности и даже, в особо тяжелых случаях, способность к самообслуживанию. Основными причинами, приводящими к ампутации, могут быть стихийные бедствия, производственный травматизм, военные конфликты, автомобильные аварии, а также различные заболевания, например, заболевания сосудов, приводящие к ишемии и гангрене, или диабет.

Главной задачей протезирования является возвращение человеку его способностей. К сожалению, на данном этапе развития электронной медицины создать протез полностью идентичный человеческой конечности невозможно, тем не менее сейчас активно ведутся исследования и разработки в этой области. Конечно, если рассматривать протезы, созданные до конца XX века, то можно сделать вывод, что на сегодняшний день, данная область электронной медицины совершила гигантский скачок в развитии. Можно сказать, что до появления современных бионических протезов, обеспечивающих связь с человеком и даже имеющих обратную связь, помогающую контролировать силу сжатия протеза, механические протезы были крайне неудобными в использовании. Они лишь частично могут заменить утраченную конечность и обладают минимальным функционалом.

Разумеется, насколько сильно бы современные протезы не отличались внешне от человеческих конечностей, тем не менее они уже помогают вернуть человеку его утраченные функции. Например, если рассматривать протезы верхних конечностей: предплечья, а также кистей рук, то они уже могут осуществлять захват и удержание крупных и даже мелких предметов и манипулировать ими.

Главным фактором, определяющим функциональность, удобность и современность протеза, является его конструкторское исполнение, а на само исполнение оказывает сильное влияние используемые материалы.

Целью данной статьи является обзор основных вопросов развития протезирования, а именно возможных усовершенствований искусственных конечностей и анализ вопросов использования инновационных материалов и систем в мягком протезировании.

Область протезирования в данный момент имеет огромные перспективы для дальнейшего развития. Создаются компании, активно развивающие данную область медицины, а также разрабатываются различные проекты по усовершенствованию конструкторской и технологической составляющих протезирования. Основное влияние на электронную медицину оказывают такие отрасли, как химическая промышленность и робототехника.

На данном этапе основными вопросами в развитии протезирования являются:

- увеличение степеней свободы;
- очувствление протеза;
- использование инвазивных электродов для управления;
- создание нейроинтерфейсов [1].

Решением данных вопросов активно занимаются инженеры по всему миру.

Например, для увеличения степеней свободы разработчики увеличивают количество электродов и датчиков, позволяя, таким образом, получать больше информации и расширяя двигательные способности протеза. То есть использование большего числа датчиков позволяет вычислять некоторые паттерны фантомных жестов, что существенно увеличивает количество программируемых хватов на 1 режим до 5–6, вместо 1–2 как у более простых протезов. Однако большее число датчиков требует более тонкой настройки, и вероятность сбоев и ложных распознаваний увеличивается.

Использование инвазивных электродов для управления является также важным направлением в развитии протезирования, так как его особенность заключается в отсутствии культеприемной гильзы, а,

следовательно, упрощается конструкция протеза. Отсутствие культеприемной гильзы обусловлено тем, что вместо нее использован титановый штырь, который в свою очередь выполнен из специального пористого сплава. Благодаря этому костная ткань человека прорастает сквозь эти поры и создает единый жесткий каркас. Данное крепление по многим параметрам оказывается лучше обычной гильзы, поскольку создает максимально надежное крепление к телу, культя не потеет, не образуются мозоли и натертости, что позволяет данному виду протезов стать самым комфортным для повседневного использования. Тем не менее сложность состоит в том, что титановый имплант живет примерно 5 лет, а, следовательно, по истечении срока должен быть заменен. Для этого требуется повторная операция по вживлению, которая может пройти с осложнениями. Именно поэтому данное конструкторское решение хоть и является перспективным, тем не менее использоваться на постоянной основе не может, так как требует серьезных доработок.

Очувствление протезов может быть достигнуто благодаря созданию двунаправленной системы управления, в которой электроды должны считывать как управляющие сигналы с нервов культы, так и передавать обратные сигналы с датчиков, расположенных непосредственно на поверхности протеза. Особенность данного проекта заключается в том, что электроды подключаются напрямую к нервным волокнам, которые передают управляющий сигнал к мышцам, в отличие от стандартных миоэлектродов, подключение которых осуществляется к мышечной ткани.

Также необходимо отметить тот факт, что благодаря развитию робототехники и химической промышленности, появилось новое направление развития протезирования. Например, в робототехнике появилось новое направление под названием «мягкая робототехника». Свое название данное направление получило благодаря тому, что при конструировании роботов разработчики отдают предпочтение мягким материалам, подобным тканям живых организмов. Данные разработки можно использовать при конструировании протезов, тем самым совершенствуя их. Так, например, ученые смогли создать уже несколько материалов, которые могут быть использованы в качестве искусственных мышц, служащих приводами в протезировании.

Первый вид, который будет рассмотрен это «умные» полимеры. Это один из простых типов искусственной мышцы – ионный электроактивный полимер. Если поместить два электрода в гибкие диэлектрические материалы и подать на них напряжение, электроды будут притягиваться друг к другу, деформируя полимеры. Они могут быть использованы в качестве мягкого привода для управления хрупкими предметами, а также стать основой для искусственных мышц протезов. Данные полимеры также могут быть усовершенствованы, если будут использовать эффект памяти. То есть полимеры с памятью, деформируясь, могут принимать любую форму и под воздействием внешних факторов, таких как, например, температура, могут вернуться в свое первоначальное состояние. Полимер с запрограммированной формой при нагревании его деформируется в новую форму, а после остывания молекулы полимера фиксируются. Он сохраняет эту форму до тех пор, пока его снова не нагревают до нужной температуры, чтобы разблокировать молекулы, после чего он принимает свою первоначальную форму. Одним из электроактивных полимеров является нафион, который также имеет возможность сохранения памяти формы. Через платиновые электроды подводят напряжение, чтобы растянуть полимер, затем используются те же электроды, чтобы нагреть его до 60 °С, затем охлаждают его, чтобы зафиксировать это состояние. Они могут быть запрограммированы на несколько состояний, при повторении процесса, каждый раз нагревая материал до другой температуры выше 60 °С, растягивая до другого состояния и позволяя остыть [2].

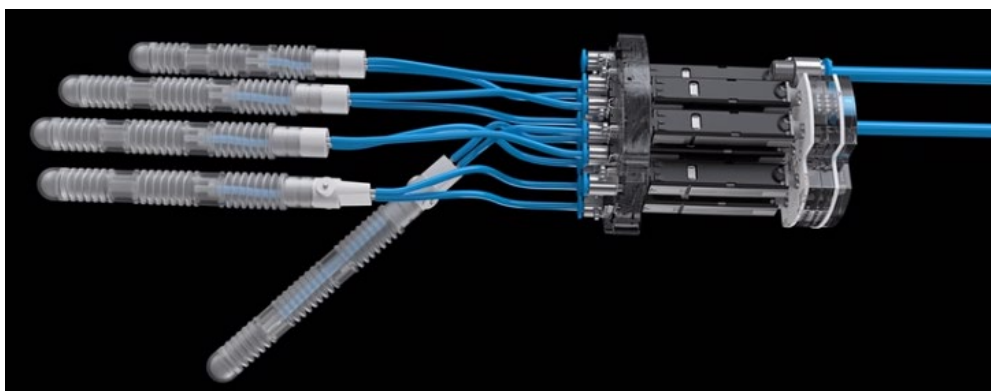
Вторым материалом для искусственных мышц является диэлектрический эластомер. При создании диэлектрического эластомера были использованы два материала: гибкий эластомер и электрод из углеродных нанотрубок. Их объединение позволило создать новое устройство с лучшими по сравнению с существующими гибкими приводами характеристиками. Большинство диэлектрических эластомеров имеют ограниченный диапазон движения и должны быть предварительно растянуты и прикреплены к жесткому основанию. Новый эластомер не нуждается в предварительном растяжении. Для его создания используется специальная жидкость, которая под воздействием ультрафиолетового излучения превращается в тонкие бумажные листы с липким покрытием с обеих сторон, что позволяет склеивать их друг с другом. В результате получается сэндвич-материал, состоящий из слоев эластомера и электродов. Чтобы привести в действие диэлектрические эластомеры, требуется подать на них напря-

жение. Его величина зависит от толщины материала. Чем больше слоев, тем больше силы производит материал. Получившиеся гибкие приводы могут использоваться в носимых устройствах для создания мягких захватов, хирургических инструментов, мягких роботов и искусственных мышц [3].

На данном этапе развития мягкой робототехники наиболее широко используются гидравлические и пневматические приводы. Достоинствами пневматических приводов являются:

- простота действия;
- высокая надежность;
- низкая стоимость;
- высокая мощность;
- энергоэффективность.

Мягкая роботизированная рука представляет собой протез, не имеющий твердой «скелетной» структуры. Вместо этого каждый палец состоит из гибких сильфонных структур с воздушными камерами, обтянутыми эластичной тканью. Рабочее давление в пальцах такой конструкции составляет 3,5 бар, в поворотных структурах – 6 бар, а грузоподъемность достигает 4 кг.



*Рис.1. Пример конструкции роботизированной руки, работающей на пневмоприводах*

Также стоит отметить, что гибкая гидравлическая конструкция, в отличие от роботизированных рук с электрическим и кабельным управлением, требует при изготовлении меньших денежных затрат. Данную структуру можно дорабатывать и совершенствовать [4].

Таким образом, в статье были рассмотрены основные вопросы развития протезирования и приведены их возможные решения. Исходя из всего вышесказанного по современным материалам можно сделать вывод, что хоть развитие химической промышленности открывает широкие возможности для совершенствования конструктивного исполнения мягких протезов, тем не менее идеального материала еще не изобрели. Именно поэтому, на мой взгляд, на данный момент идеальным вариантом является использование гидравлических и пневматических систем, так как они являются наиболее надежными, а высокая надежность – это главный критерий электронной медицины, так как надежное устройство сводит к минимуму вероятность получения человеком травм, ушибов и прочих увечий при его эксплуатации.

В заключение хотелось бы добавить, что протезирование является важной областью для дальнейшего развития человечества, поскольку разработки и инновации, внедряющиеся в данной области, могут облегчить жизнь не только инвалидам, но и расширить возможности обычных людей.

#### **Библиографический список**

1. Предвосхищая будущее: последние разработки в протезировании. URL: <https://motorica.org/company> (дата обращения: 02.03.2019).
2. Искусственные мышцы с памятью. URL: <http://www.robogeek.ru> (дата обращения: 02.03.2019).
3. Создан диэлектрический эластомер для искусственных мышц и мягких роботов. URL: <https://www.techcult.ru> (дата обращения: 02.03.2019).
4. BionicSoftHand. URL: <https://www.festo.com/group/en/cms/index.htm> (дата обращения: 02.03.2019).

УДК 621.791.312.6

**Е. И. Санько**

магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

**Б. Г. Филатов** – доцент, кандидат технических наук – научный руководитель**ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПАЙКИ В ЭЛЕКТРОНИКЕ**

Цель публикации – рассмотрение методов и устройств локальной ультразвуковой активации расплавов припоев.

Ультразвуковая пайка и лужение – это эффективные экономичные промышленные технологии, позволяющие получать высококачественные соединения с труднопаяемыми металлами и сплавами (алюминием, титаном) и осуществлять лужение большинства материалов, применяемых в электронике: керамики, стекла, полупроводников. Интерес к процессам бесфлюсовой ультразвуковой пайки и лужения деталей электронных компонентов вызван проблемами удаления флюсов, так как они обладают высокой коррозионной активностью, и удаление их остатков требует дополнительных технологических процессов. Актуальность бесфлюсовой пайки в электронике обусловлена рядом причин:

- ✓ увеличение температуры пайки для бессвинцовых припоев затрудняет удаление остатков смолосодержащих флюсов;
- ✓ применение водосмываемых флюсов требует водных процессов очистки. Переход на бессвинцовые припои и применение технологии «чистой» пайки по экологическим соображениям приводит к проблеме выбора активирующего воздействия (метода пайки) при формировании контактных соединений в жидкой фазе.

Для процессов УЗ-пайки в электронике к настоящему времени исследованы бессвинцовые сплавы на основе олова: двойные Sn-Zn, Sn-Bi, тройные: Sn-Bi-In, Sn-Bi-Zn, Sn-In-Ag, Sn-Sb-Zn, Sn-Sb-Ag и четвертной сплав: Sn-Zn-In-Sb. Все эти сплавы имеют температуру плавления в диапазоне 135...220 °С. Однако Ag, In и Bi, которые добавляют в состав сплава, дорого стоят, а Zn образует при пайке на воздухе большое количество шлака. При формировании соединений могут образовываться интерметаллиды, снижающие сопротивление усталости [2].

Для УЗ-лужения и пайки деталей из алюминия и его сплавов, керамики, ферритов легкоплавкими припоями без флюса применяют установку УЗУ-9П, состоящую из генератора и УЗ-паяльника УЗП2-0,025 (рис. 1). Оксидная пленка разрушается непосредственно под расплавленным припоем, поэтому металл не успевает соединиться с кислородом воздуха и его поверхность смачивается припоем. С помощью УЗУ-9П выполняют лужение и пайку выводов к конденсаторам и резисторам, проводов термопар, сращивают алюминиевые кабели, паяют выводы заземления к корпусам из алюминиевых сплавов. Надежность УЗ-лужения проверена на целом ряде материалов, в том числе на керамике, ферритах, абразивах, угольных и графитовых изделиях, стекле, рубинах [1].



Рис. 1. Ультразвуковая установка УЗУ-9П

Для процессов бесфлюсовой пайки деталей и электронных компонентов легкоплавкими припоями используют УЗ-ванны (рис. 2) с возбуждением всей массы припоя и с локальным воздействием ультразвука. В первом случае можно активировать большую поверхность детали, а во втором – сконцентрировать УЗ-энергию в небольшом объеме и снизить окисление припоя в ванне.

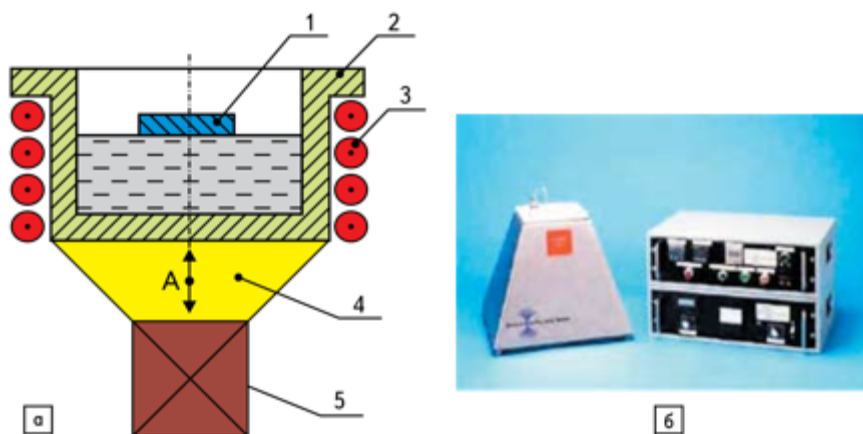


Рис. 2. УЗ-ванна с возбуждением всей массы припоя: а – схема: 1 – паяемая деталь; 2 – ванна; 3 – нагреватель; 4 – излучатель; 5 – реобразователь; б) общий вид

Для локального ввода колебаний в расплав припоя (рис. 3) применяют поршневые излучатели, удовлетворяющие отношению  $L_{изл}/D < 1,5-1,8$ , где  $L_{изл}$  – длина излучающей поверхности;  $D$  – диаметр волновода, что обеспечивает режим излучения плоской волны.

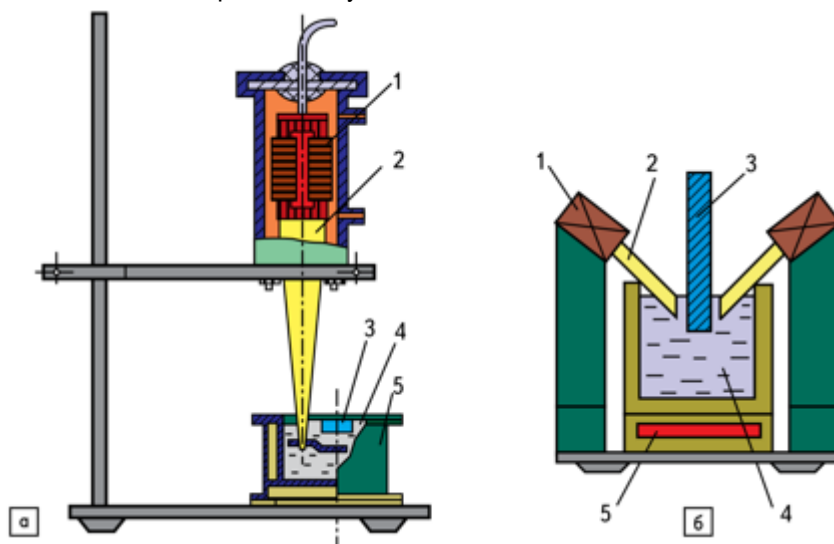


Рис. 3. Схемы локального ввода ультразвука в расплаве: а – одним излучателем; б – двумя излучателями: 1 – преобразователь; 2 – волновод; 3 – деталь; 4 – припой; 5 – нагреватель

Магнитострикционный преобразователь в герметичном кожухе крепится к акустическому трансформатору в узле колебаний и охлаждается проточной водой. С помощью держателя УЗ колебательная система перемещается вертикально по стойке, обеспечивая требуемую глубину погружения излучателя. Длина излучателя не должна превышать  $l/8$ , что соответствует равномерному характеру распределения амплитуд колебаний.

По принципу локального ввода ультразвука выполнена УЗ-установка ИЛ100-3/4, предназначенная для лужения материалов, трудно поддающихся лужению известными способами: алюминия и его сплавов; титана и его сплавов; нержавеющей сталей различного состава, стекла, керамики и т. д. Установка комплектуется магнитострикционными преобразователями на основе никелевых, железокобальтовых, железоалюминиевых и других магнитострикционных сплавов.

Эффект подъема припоя по излучающей поверхности волновода использован при разработке устройства для автоматического УЗ-лужения стеклокерамических конденсаторов без их погружения в расплав припоя (рис. 5), которое содержит две УЗ колебательные системы, состоящие из магнитострикционных преобразователей 1, акустических трансформаторов упругих колебаний 2, волнопроводов 3,

рабочие концы которых Г-образной формы погружены в ванну 4 с припоем 5. Колебательные системы установлены на основаниях, имеющих возможность точного горизонтального перемещения.

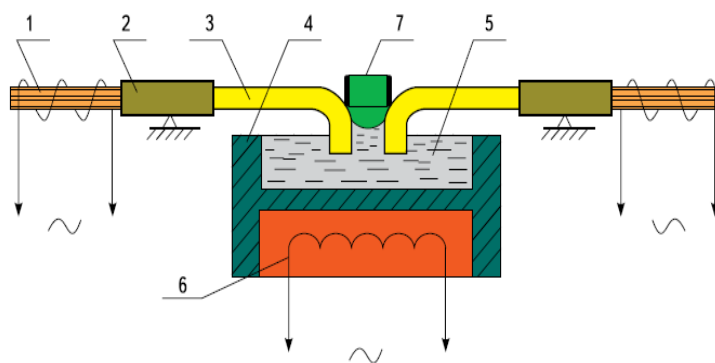


Рис. 5. Схема УЗ лужения стеклокерамических конденсаторов

При выборе припоев для УЗ бесфлюсовой пайки и лужении различных материалов необходимо учитывать их паяемость, химическое средство соединяемых материалов и возможность образования качественного соединения в соответствии с диаграммой состояний. Применение бессвинцовых припоев с добавками Zn, In, Ag увеличивает адгезионную активность расплава и снижает их окисление при УЗ-пайке.

### Выводы

При локальном вводе УЗ-колебаний в расплав появляется возможность сконцентрировать УЗ-энергию в небольшом объеме. При выборе припоев для УЗ бесфлюсовой пайки и лужении различных материалов необходимо учитывать возможность образования качественного соединения.

### Библиографический список:

1. Ланин В. Л. Бесфлюсовая ультразвуковая пайка в электронике // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 4. С. 23–24.
2. Кундас С. П., Ланин В. Л., Тявловский М. Д. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники. Минск: Бестпринт, 2002. С. 36–37.
4. Lanin V. Ultrasonic Soldering in Electronics // Ultrasonics Sonochemistry. 2001. N 8. P. 22–27.

УДК 629.7.681.586

**А. В. Федорова**

студентка кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

**В. П. Ларин** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**КАЛИБРОВКА МЭМС-ДАТЧИКОВ ДВИЖЕНИЯ**

Микроэлектромеханические датчики измерения малых ускорений, называемые часто МЭМС-датчиками, находят широкое применение во многих областях техники. В качестве примеров можно привести авиационную и космическую технику от микробеспилотников до микроспутников, автомобильную промышленность для управления подушками безопасности, различные навигационные системы для исчисления пройденного пути или определения маршрута следования, системы управления движением в робототехнике и др. Для понимания задач, решаемых этими датчиками, рассмотрим принцип их работы, который можно описать следующим образом. При воздействии ускорения на датчик его чувствительный элемент смещается за счет инерции и на выходе датчика с функцией преобразования сигнала генерируется электрический сигнал, используемый в различных системах автоматического управления.

На рис. 1 представлены направления ускорений для акселерометра. На рис. 2 представлены направления контролируемых угловых скоростей гироскопа.

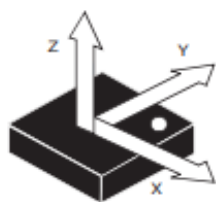


Рис. 1. Направление контролируемых ускорений

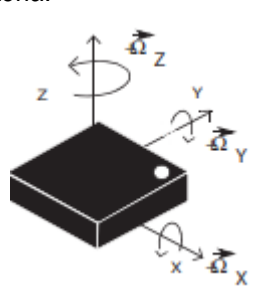


Рис. 2. Направление контролируемых угловых скоростей

Если рассматривать данные направления относительно летательного аппарата, то на рис. 3 можно увидеть, за какие отклонения отвечает каждая ось гироскопа.



Рис. 3. Принцип работы гироскопа

Для акселерометров и гироскопов используется камертонная система электродов. Две подвешенные массы совершают колебания по противоположным осям. С появлением угловой скорости сила Кориолиса прикладывается в противоположных направлениях. Измеряемая дифференциальная емкостная составляющая пропорциональна углу перемещения. При линейном ускорении векторы приложения сил для обеих масс действуют в одном направлении. При этом дифференциальная разность

равна нулю. В МЭМС-сенсорах физическое перемещение массы подвижных электродов преобразуется в электрический сигнал за счет емкостного преобразования. В настоящее время применение емкостных датчиков в промышленной и бытовой электронике обусловлено рядом преимуществ этого типа датчиков. Во-первых, отметим малую погрешность и высокую воспроизводимость измерений, а также защиту от перегрузок и прочность, высокий КПД, широкий диапазон рабочих температур.

На рис. 4 показана топология датчика.

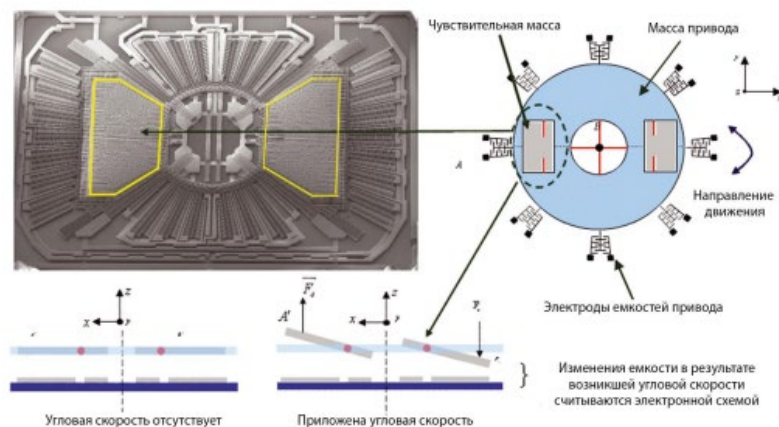


Рис. 4. Топология датчика

Повысить точность измерений позволяет операция калибровки датчиков ускорения, так как МЭМС датчики имеют разброс параметров, который при изготовлении может превышать 3%. Система калибровки представляет собой совокупность аппаратных, программных и методических средств обеспечения процесса калибровки датчика акселерометра и гироскопа.

Гироскопы измеряют лишь скорость вращения вокруг осей и не могут ничего сообщить о текущем положении системы. Они измеряют угловые скорости по трем осям с разными пределами измерений:  $\pm 250 / \pm 500 / \pm 2000$  град./с. С помощью трехосевого акселерометра под воздействием силы тяжести можно определить положение системы, он также имеет свои пределы измерения ускорений  $\pm 2 / \pm 4 / \pm 6 / \pm 8 / \pm 16$  град.

Датчики акселерометра и гироскопа могут работать в трех режимах:

- 1) только акселерометр;
- 2) только гироскоп;
- 3) совместная работа двух приборов.

Из этого следует, что два этих устройства на одном кристалле дополняют друг друга, а отдельное использование их не даст желаемого результата. Акселерометр будет компенсировать показания гироскопа, а он не будет давать зашкаливать акселерометру при вибрациях. Вибрации в авиационной аппаратуре относятся к постоянно действующему фактору. На любое тело действует сила притяжения (в состоянии покоя это 1 град.).

При подключении датчика к микрокомпьютеру наблюдается следующая картина.

Если принять положение системы за нулевое (т. е. датчик будет в состоянии покоя) и опросить гироскоп, то мы увидим, что показания датчика будут отличны от нуля, а показания акселерометра могут превышать единицу. Дело в том, что датчик требует калибровки, поэтому при расчетах следует учитывать отклонения по осям и вносить корректировку.

В этом случае точность измерений определяется так:

ускорение акселерометра ( $a(g)$ ) = фактическое значение – начальное отклонение;

ускорение, измеренное акселерометром, можно подсчитать по следующей формуле:

$$\text{ускорение } (a(g)) = \frac{\text{Отн.длит.импульса-ОДИ при } 0 \text{ g}}{\text{Изменение ОДИ на } 1 \text{ g}},$$



где ОДИ – отношение длительности импульса к периоду следования.

Также оси должны быть расположены перпендикулярны друг другу, но достичь этого довольно-таки сложно, поэтому есть некоторые допуски. В некоторых цифровых датчиках калибровка и фильтрация производятся с помощью кода, который прошивается в память (буфер FIFO), и благодаря этому на выходе будет уже нормальный сигнал, не требующий поправок.

Рассмотрим два способа калибровки датчика ускорения (акселерометра):

- 1) вычисление ускорения по относительной длительности импульса;
- 2) высокоточный метод калибровки.

Когда калибровочные константы получены, для вычисления ускорения нужны только две следующие формулы:

$$Z_{act} = \frac{Z_{cal} \times T2_{act}}{T2_{cal}};$$

где  $T2_{act}$  – текущее значение длительности импульса  $T2$ . Эта формула корректирует величину  $Z$ , которая изменяется под действием дрейфа или фазового шума:

$$\text{ускорение} = \frac{K \times (T1 - Z_{act})}{T2_{act}}.$$

Данные действия осуществляются над величинами с фиксированной точкой, поэтому легко и быстро выполняются на любом микроконтроллере.

Необходимо быть внимательным при выполнении последовательности действий для того, чтобы сохранить разрешающую способность. При разработке программного обеспечения математические операции должны выполняться в таком порядке, чтобы не терялись значащие биты. В общем, надо выполнять сложение, умножение, вычитание и деление в соответствующем порядке. В большинстве случаев потребуется арифметика с фиксированной точкой двойной или тройной точности (16- или 24-разрядные числа). Алгоритмы вычислений многобайтовой арифметики с фиксированной точкой доступны в руководствах по применению, которые публикуются производителями микроконтроллеров.

Рассмотрим высокоточный метод калибровки. Следующие величины, полученные при калибровке, должны быть сохранены для последующих вычислений:

1.  $T2_{cal}$  – длительность импульса  $T2$  во время калибровки.
2.  $Z_{cal}$  – величина  $T1$  при нулевом ускорении во время калибровки. Она вычисляется по формуле:

ле:

$$Z_{cal} = \frac{T1_{max} - T1_{min}}{2}.$$

3. Число значений шкалы. Эта константа определяет разрядность (в битах) при подсчете ускорения.

4.  $K$  – коэффициент пересчета шкалы. Он вычисляется по формуле:

$$K = \frac{T2_{cal} \times \text{число значений шкалы}}{T1_{max} - T1_{min}}.$$

Число значений шкалы обсуждалось выше, там, где описывался алгоритм быстрой калибровки.

Отклонение чувствительности различных экземпляров акселерометров корректируется с помощью знаменателя в этой формуле, который учитывает изменения сигнала при воздействии ускорения в пределах  $\pm 1 g$ .

### Библиографический список

1. Распопов В. Я. Микромеханические приборы: учеб. пособие. М.: Машиностроение, 2007. 400 с.
2. Райхман А. STMicroelectronics – мировой лидер в производстве датчиков движения // Новости электроники. 2009. № 2.
3. URL: Datasheet.LSM330:iNEMOinertialmodule:3Daccelerometerand3Dgyroscope (дата обращения: 03.02.2019).

УДК 621.391.019.3(024)

**Д. О. Белокур**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**В. В. Егоров** – доктор технических наук, старший научный сотрудник – научный руководитель

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УСТАНОВЛЕНИЯ ТАКТОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

Одним из основных источников искажений при передаче сигналов является относительно высокий уровень интерференции, возникающей из-за переиспользования канала. Технология передачи со многими несущими в форме мультиплексирования с ортогональным частотным разделением OFDM широко признана как одна из самых перспективных схем доступа для использования в разрабатываемых системах связи.

#### Принципы синхронизации в системах OFDM

Перед тем как OFDM-приемник сможет демодулировать поднесущие, он должен решить как минимум две задачи синхронизации: 1) найти границы символа и определить, какие моменты времени являются оптимальными для временной синхронизации, чтобы минимизировать влияние интерференции между поднесущими и межсимвольной интерференции; 2) оценить и скорректировать сдвиг несущей частоты принятого сигнала, потому что любой такой сдвиг приводит к интерференции между поднесущими. Для когерентных приемников должна быть синхронизирована также фаза несущей.

В линии связи с OFDM поднесущие будут совершенно ортогональны, если только передатчик и приемник используют точно те же частоты.

Любая частотная расстройка приводит к возникновению интерференции между поднесущими. Эта проблема связана проблемой фазового шума. Реальный генератор не вырабатывает несущее колебание точно на одной частоте, но скорее вырабатывает колебание, которое модулировано по фазе случайным фазовым дрожанием. В результате частота, являющаяся производной по времени от полной фазы, никогда не остается постоянной, что вызывает интерференцию между поднесущими в приемнике OFDM. В системах с одной несущей фазовый шум и частотная расстройка приводят к ухудшению соотношения сигнал-шум, а не к появлению интерференции. В этом и состоит причина, по которой высокая чувствительность к фазовому шуму и частотному сдвигу является недостатком OFDM-систем по сравнению с одной несущей. Хотя система OFDM действительно более чувствительна к фазовому шуму и частотному сдвигу, чем системы с одной несущей, ухудшение характеристик из-за фазового шума и частотного сдвига может быть сведено до минимума.

#### Чувствительность к фазовому шуму

Фазовый шум в основном имеет два эффекта: 1) вводит случайное изменение фазы, которое является общим для всех поднесущих. Если ширина спектральной линии генератора много меньше, чем скорость OFDM-символов, что обычно имеет место, то общая фазовая ошибка сильно коррелирована от символа до символа, так что следящая техника или дифференциальное детектирование могут быть использованы для минимизации эффектов этой общей фазовой ошибки; 2) вводит ИМН, потому что поднесущие больше не разнесены точно на  $1/T$  в частотной области.

На практике для генерации несущей со стабильной частотой обычно используют систему фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ).

В этой системе частота управляемого генератора синхронизируется со стабильной опорной частотой, которая вырабатывается кварцевым генератором. Система ФАПЧ способна отслеживать фазовое дрожание автономного генератора для тех частотных компонентов, которые попадают в полосу частот петли слежения. В результате для частот меньшей ширины полосы слежения фазовый шум на выходе генератора определяется фазовым шумом опорного генератора, который обычно меньше, чем

шум управляемого генератора. В противном случае фазовый шум определяется фазовым шумом управляемого генератора.

### **Чувствительность к расстройке частоты**

Все поднесущие системы OFDM ортогональны, если имеют разное целое число периодов внутри интервала БПФ. Если есть расстройка частоты, то число циклов в интервале БПФ больше не целое. В результате на выходе БПФ возникает интерференция между поднесущими. Выход БПФ для каждой поднесущей будет содержать слагаемые интерференции от всех других поднесущих с мощностью, которая обратно пропорциональна частотному разнесу между поднесущими. Уровень ИМН для поднесущих в середине спектра OFDM-сигнала примерно в два раза больше, чем для поднесущих на краях спектра, так как на поднесущие в середине спектра влияют поднесущие с обеих сторон.

### **Чувствительность к ошибкам временной синхронизации**

Что касается временных рассогласований, то система OFDM к ним относительно более устойчива. Временная ошибка в определении положения символа может меняться на интервале, равном защитному интервалу.

Последние в свою очередь случаются только тогда, когда БПФ интервал расширяется за границы символа или в область спада символа. Следовательно, OFDM-демодуляция совершенно нечувствительна к временным расстройкам. Для достижения наилучшей возможной многолучевой устойчивости есть оптимальный момент времени. Какие-либо отличия от этого временного момента означают, что чувствительность к рассеянию задержки увеличивается и система может поддерживать меньшее рассеяние задержки, чем величина, на которую она была рассчитана. Для минимизации этих потерь устойчивости система должна быть построена так, чтобы временные ошибки были малы по сравнению с защитным интервалом.

### **Синхронизация, использующая специальные обучающие символы**

При высокоскоростной пакетной передаче время на обеспечение синхронизации должно быть достаточно малым, желательно не больше нескольких OFDM-символов. Для достижения этого могут быть использованы специальные обучающие OFDM-символы, в которых передаваемые данные известны приемнику. В этом случае целый принятый обучающий символ может быть использован для обеспечения синхронизации, тогда как метод циклического расширения использует только часть каждого символа.

По корреляционным пикам в выходном сигнале согласованного фильтра может быть обеспечена и символьная синхронизация, и оценен уход частоты. Заметим, что согласованный фильтр вычисляет корреляцию с временным OFDM-сигналом перед выполнением БПФ в приемнике. Следовательно, этот метод аналогичен методу синхронизации в приемнике с прямым расширением спектра, где входной сигнал сопоставляется с известным расширяющим сигналом. Фактически подход с использованием обучающего сигнала с одной несущей может также быть применен к OFDM, но здесь мы будем полагать, что обучающий сигнал состоит из нормальных OFDM-символов данных.

### **Выводы**

В технологии OFDM используются различного рода интегральные и вычислительные схемы, программируемые платы. В связи с доступностью этих средств и относительной дешевизной целесообразно их использовать. Эффект многолучевости присутствует практически везде. Где-то ее игнорируют, поскольку с ней сложно бороться, а где-то пытаются уменьшить, в идеале вообще убрать ее влияние. Это, безусловно, телевидение и бытовая сотовая связь. В этих отраслях всегда крутились и будут крутиться огромные деньги, конкуренция высокая, поэтому придумывают все новые и новые методы улучшения качества связи.

**Библиографический список**

1. URL: [complextoreal.com/tutorials/tutorial-22-orthogonal-frequency-division-multiplex-ofdm-dmt](http://complextoreal.com/tutorials/tutorial-22-orthogonal-frequency-division-multiplex-ofdm-dmt) (дата обращения: 02.05.2020).
2. URL: [elib.spbstu.ru/dl/2/6141.pdf/download/6141.pdf](http://elib.spbstu.ru/dl/2/6141.pdf/download/6141.pdf) (дата обращения: 02.05.2020).
3. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/OFDM> (дата обращения: 02.05.2020).
4. *Прокис Д.* Цифровая связь / Под ред. Д. Д. Кловского; пер. с англ. М.: Радио и связь, 2000.
5. *Скляр Б.* Цифровая связь. / Под ред. А. В. Назаренко; пер. с англ. М.; СПб.: Вильямс, 2007.
6. *Бакулин М. Г.* Технология OFDM. Москва. Горячая линия – Телеком. 2016.
7. *Ахмед Н., Рао К.* Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. М.: Связь, 1980.
8. *Сергиенко А. Б.* Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2007.

УДК 621.391.019.3(024)

**Е. В. Боборькин**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**В. А. Жиров** – доктор технических наук, профессор

### БЛОК УПРАВЛЯЕМЫХ НАГРУЗОК

Целью данной статьи является разработка прототипа блока управляемых нагрузок, удовлетворяющего специфическим требованиям применения при испытаниях изделий космической техники и реализуемого полностью на отечественной элементной базе.

#### Введение

При разработке мощных источников электропитания одним из важных этапов является испытание этих источников. На этом этапе тестируется не только их работоспособность, но и соответствие заданным требованиям. При этом нельзя использовать в качестве нагрузки реальную аппаратуру, поскольку дефекты источника питания могут привести к выходу ее из строя. Для этих целей существуют и продолжают разрабатываться управляемые системы, которые способны имитировать омическую, индуктивную или емкостную нагрузки, которые называются блоками управляемых нагрузок (БУН).

Задачами данной статьи являются:

- изучение современных электро-радио изделий отечественного производства;
- выполнение расчетов и моделирования блока управляемых нагрузок;
- разработка конструкторской документации на блок управляемых нагрузок, а именно схемы электрической принципиальной, схемы электрической функциональной.

На рынке уже имеются законченные решения в виде готовых БУН. Они применимы для типовых приложений. В ряде случаев требования специфичные, «уникальные» и подходящего типового устройства не находится. Такие специфичные требования возникают при разработке уникальных изделий космической техники. К специфичным требованиям относятся: требования большой рассеиваемой мощности, экстремально большого диапазона изменения реактивности, малых пульсаций при переключениях и т. п. Есть и другие требования организационного плана: требования специальной приемки, исполнение на отечественной элементной базе, низкая цена за счет исключения избыточной функциональности. Разработанный прототип БУ соответствует всем перечисленным требованиям.

Одной из важных технических особенностей БУН является его разработка полностью на отечественной элементной базе, что повлияло на принятые схемотехнические решения.

#### Назначение БУН

Блок управляемых нагрузок предназначен для проверки работы мощных, силовых источников питания, космического назначения. Энергия источников питания подается на силовую часть блока управляемых нагрузок, состоящую из набора резисторов, транзисторов, варикапов и катушек индуктивности. Сопротивление каналов проводимости транзисторов изменяется за счет напряжения затвор-исток. Таким образом, можно изменять потребляемую мощность нагрузки и изменять напряжение, подаваемое на варикапы и катушки индуктивности, изменяя емкость и индуктивность на силовой линии. Ток потребления можно узнать визуально без расчетов по графику, изображенному на рис. 1.

По графику на рис. 1 можно оценить ток потребления, а соответственно, сопротивление канала проводимости силовых транзисторов 2П7106Г, потому что этот график соответствует именно этому типу транзисторов. Найдя необходимый ток, сопротивление и напряжение затвор-исток можно рассчитать напряжение, которое понадобится для управления одного транзистора. Еще примечательно то, что затвор полевых транзисторов полностью изолирован от проводящего канала, поэтому имеет очень огромное сопротивление и ток в затвор практически не идет. Это говорит о том, что общая мощность потребления для управления транзисторов будет достаточно мала. К сожалению, этот график производители сделали только по характеристикам одного транзистора из целой партии. И по-настоящему у каждого транзистора не будет такой характеристики один в один. Каждый

транзистор будет отличаться по своим характеристикам, но примерные значения проводимости и сопротивления каналов будут одинаковы. Это говорит о том, что максимально точные результаты настройки потребления мощности можно будет добиться только на практике.

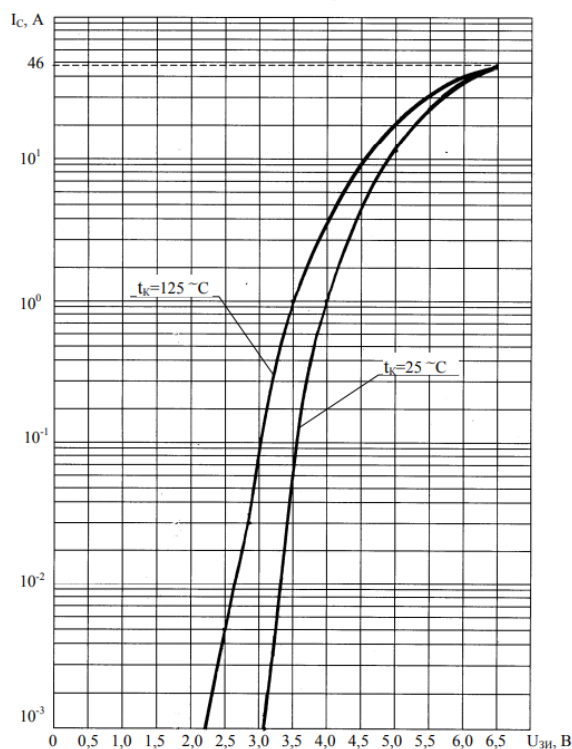


Рис. 1. Зависимость тока стока от напряжения затвор-исток

Таблица 5

Приближенные значения сопротивления канала проводимости, управляющего напряжения и тока стока

Ток стока, А	Напряжение затвор-исток, В	Сопротивление канала, Ом
0,045455	3,2	586,52
0,090909	3,5	293,26
0,181818	3,7	146,63
0,272727	3,9	97,75333
0,363636	4,1	73,315
0,454545	4,3	58,652
0,545455	4,578125	48,87667
0,863636	4,820913	30,86947
0,909091	4,839844	29,326
1,090909	4,921875	24,43833
1,363636	5	19,55067
2,727273	5,6875	9,775333
3,875	6	6,88

### Разработка БУН

#### Функциональная схема БУН

Функциональная схема соответствует согласованной работе платы управления и силовой части (рис. 2).

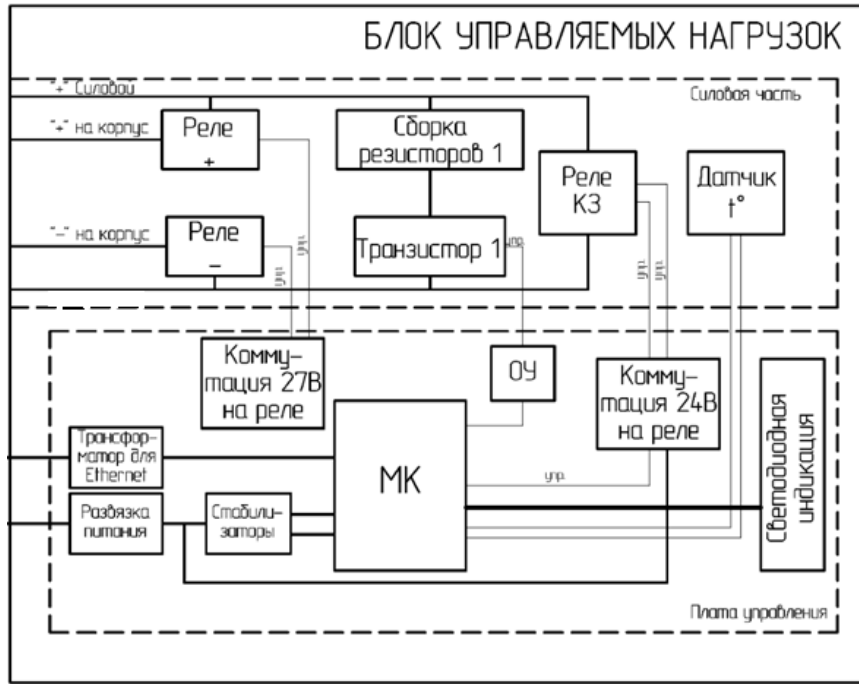


Рис. 2

Схемотехнические решения

Для управления БУН используется простой микроконтроллер 1986BE1T от компании «Миландр». Настраивается и прошивается микроконтроллер через интерфейс JTAG, управляется через интерфейс ETHERNET. Для обеспечения связи через этот интерфейс контакты микроконтроллера подсоединены к специальному реле с необходимой периферией.

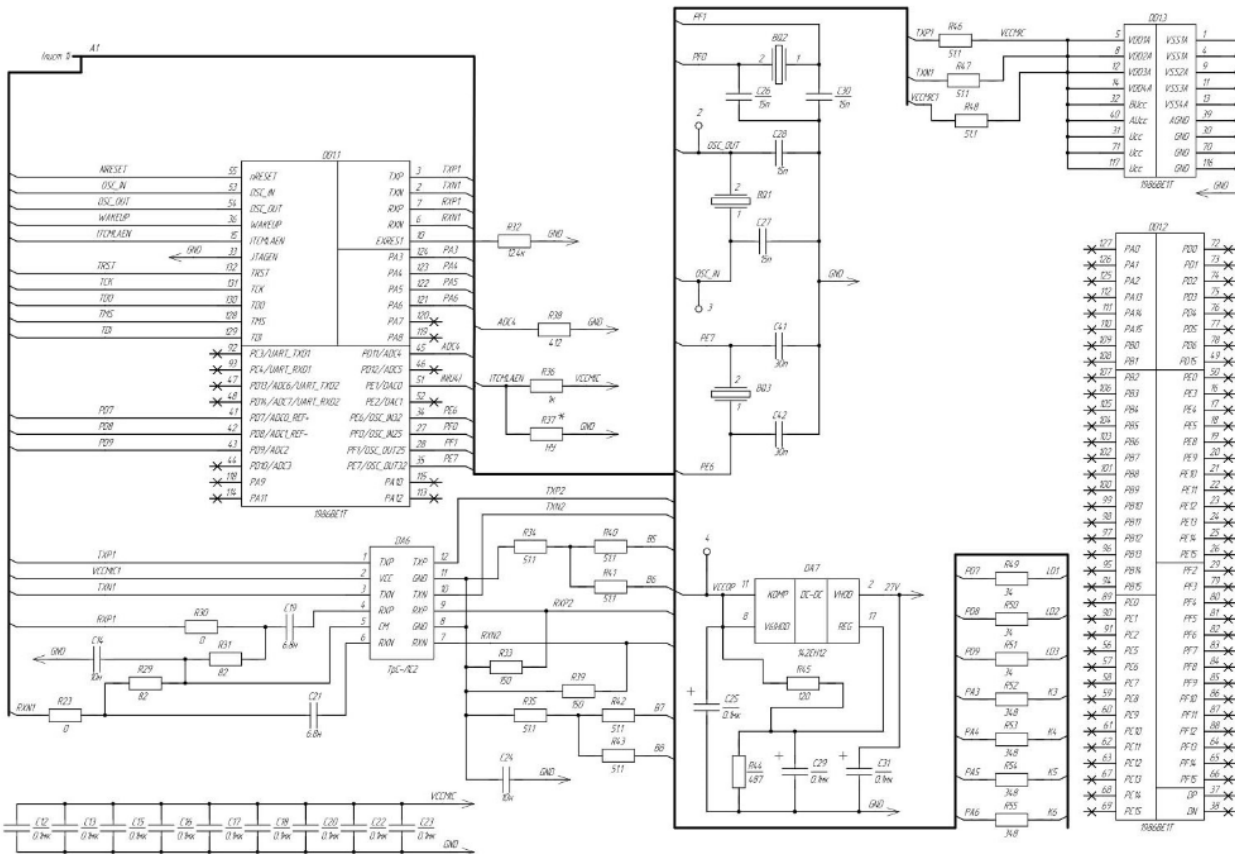


Рис. 3

Сигналы для управления реле на коммутации для 24 и 27 вольт идут с пользовательских ножек микроконтроллера. Управления коммутирующими реле происходит не на прямую, а по минусу питания реле через оптопары для обеспечения безопасности микроконтроллера. Управления самими нагрузками идет напрямую с АЦП через операционный усилитель, имеющий всю необходимую обвязку (рис. 4). Также видно установленные преобразователи напряжения, которые необходимы для питания микроконтроллера, операционного усилителя и коммутирующих реле. Основная особенность таких схемотехнических решений обуславливается простотой реализации и минимальными затрачиваемыми ресурсами для обеспечения стабильной работы силовых управляемых нагрузок.

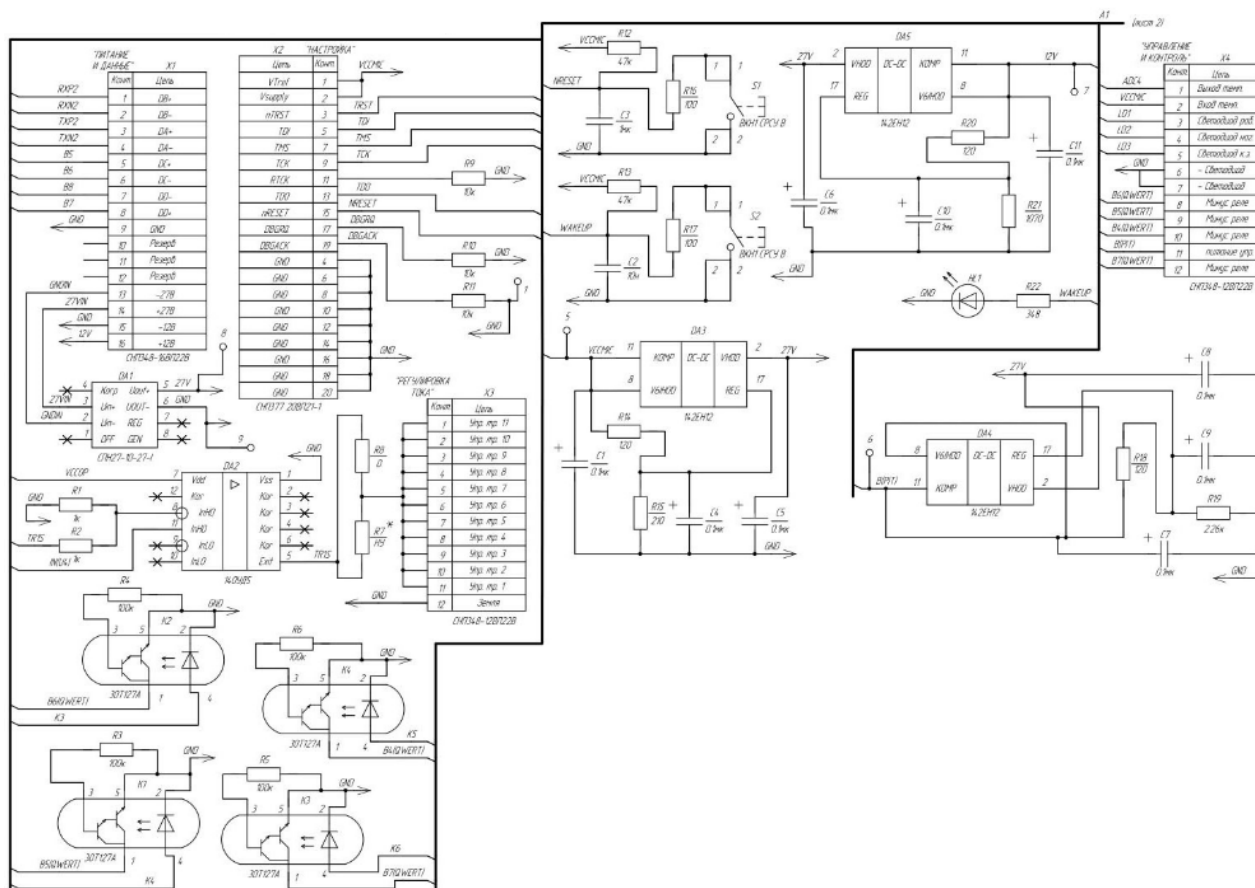


Рис. 4

### Заключение

Разработанный блок управляемых нагрузок позволяет проверять работу силовых источников питания, применяемых на космических спутниках. Он способен рассеивать в тепло электрическую энергию номиналом до 3 киловатт, не должен будет выходить из строя, так как силовые компоненты имеют соответствующее охлаждение и контроль. Управление силовыми элементами, на которых и рассеивается тепло, осуществляется с платы управления. Плата представляет собой микроконтроллер 1986ВЕ1Т с различной периферией, стабилизаторами напряжения, оптронами и прочими элементами. Одной из особенностей БУН является его отечественная элементная база, позволяющая использовать блок в военной профессиональной деятельности. Согласно схемам конструкторской документации и расчетам БУН будет исправно проверять работу мощных источников питания.

В перспективе улучшения устройства можно добавить изделия, в которых электрически изменяется индуктивность и емкость, например, варикапы и вариометры. Они позволят имитировать чисто индуктивную, чисто емкостную или нагрузку, имеющую индуктивный, емкостной и омический характер. Пусть это и увеличит стоимость изделия, зато расширит спектр проверки силовых источников питания.



**Библиографический список**

1. *Пауль Р.* Транзисторы. Физические основы и свойства: монография. М.: Сов. радио, 1973. 504 с.
2. *Петухов В. М., Таптыгин В. И., Хрулев А. К.* Транзисторы полевые. М.: Сов. радио, 1978. 65 с.
3. *Болл Р.* Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров Analog interfacing to embedded microprocessors; пер. с англ. М., 2007. 360 с.
4. *Бойко В. И.* Схемотехника электронных систем. Аналоговые и импульсные устройства: учебник. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 496 с.
5. *Миловзоров О. В., Панков И. Г.* Электроника: учебник. М.: Высшая школа, 2008, 287 с.
6. *Сукер К.* Силовая электроника. Руководство разработчика / Под ред. В. М. Халикеева. М., 2008.
7. *Чаки Ф.* Силовая электроника: примеры и расчеты; пер. с англ. М.: Энергоиздат, 1982. 384 с.
8. *Раймонд М.* Импульсные источники. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению; пер. С. В. Пряничникова. М., 2008. 272 с.
9. *Браун М., Раутани Д., Пэтил Д.* Диагностика и поиск неисправностей электрооборудования и цепей управления. М., 2007. 326 с.

УДК 378.147

**Д. В. Ваганова**

студентка кафедры медицинской радиоэлектроники

**П. И. Бегун** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

### АЛГОРИТМ БИОМЕХАНИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СТРУКТУР КОЛЕННОГО СУСТАВА ПРИ УСТРАНЕНИИ ВАРУСНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

В статье рассмотрена разработка алгоритма для биомеханического исследования напряженно-деформированных состояний костей коленного сустава при устранении варусной деформации. Проведено исследование перемещений, напряжений и деформаций в регенерате при реконструкции коленного сустава.

*Введение.* Остеоартроз (ОА) является довольно распространенным заболеванием: согласно статистическим данным, частота этой патологии находится в диапазоне от 30 до 55 % среди всех ортопедических заболеваний, по поводу которых пациенты обращаются за медицинской помощью [1]. Варусная же деформация, вызванная ОА, заметно снижает качество жизни пациентов.

*Проблема.* Определение максимально допустимых нагрузок на коленный сустав (КС) как результат исследования структур, его формирующих, позволяет спрогнозировать процесс восстановления кости.

*Задачи исследования.* Основной задачей исследования является создание компьютерной модели (КМ) для исследования перемещений, напряжений и деформаций в регенерате при реконструкции КС по поводу варусной деформации.

*Создание модели и проведение исследования.* Для создания содержательной исходной модели (рис. 1а) недостаточно вычислительной мощности компьютера, поэтому построена более простая содержательная модель (рис. 1б) с сохранением основных геометрических параметров системы реконструкции большеберцовой кости.

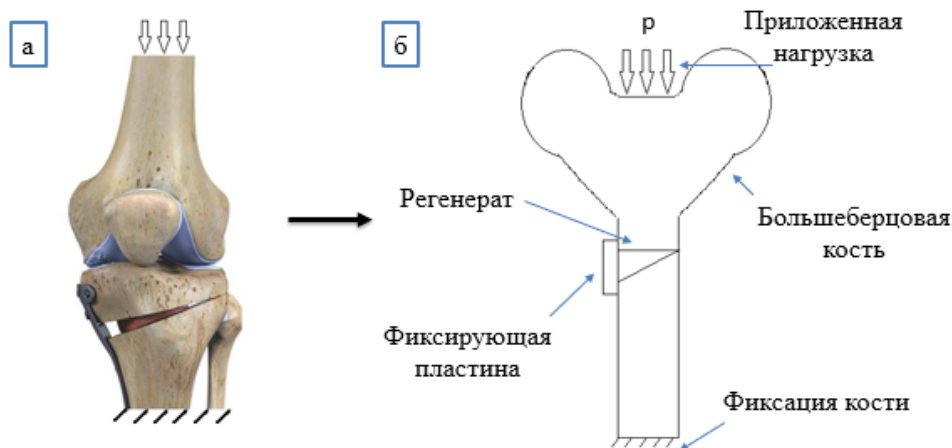


Рис. 1. Содержательная модель системы реконструкции большеберцовой кости:  
а – исходная модель; б – упрощенная модель

1. Этапы работы в Mimics: на основе данных компьютерной томографии (КТ) в пакете программ Mimics создается модель большеберцовой кости. При анализе состояния регенерата, введение в модель кости спонгиозной ткани несущественно сказывается на результатах, поэтому кость представлена единым объектом со свойствами компактной костной ткани (рис. 2).

2. Этапы работы в SolidWorks: создание твердотельной модели большеберцовой кости происходит при помощи пакета программ SolidWorks на основе построенной ранее маски. Импортировав модель через дополнение ScanTo3D, измеряем ее геометрические параметры для построения упрощенной модели. Спроектировать все элементы модели можно с помощью встроенных функций программы,

таких как «Эскиз», «Повернутая бобышка», «Повернутый вырез» и т. д. (рис. 3а). Далее необходимо собрать воедино всю модель в сборке (рис. 3б).

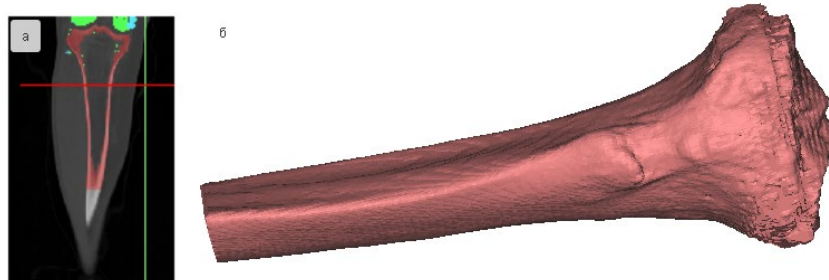


Рис. 2. Этапы работы в Mimics: а – маска большеберцовой кости; б – 3D-превью маски

3. Проведение исследования напряженно-деформированного состояния структур большеберцовой кости при реконструкции осуществляется посредством дополнения Simulation в SolidWorks. Усилия схематизированы векторной суммой сил, приложенных на большеберцовую кость со стороны бедренной, сама модель жестко зафиксирована снизу (рис. 3в).

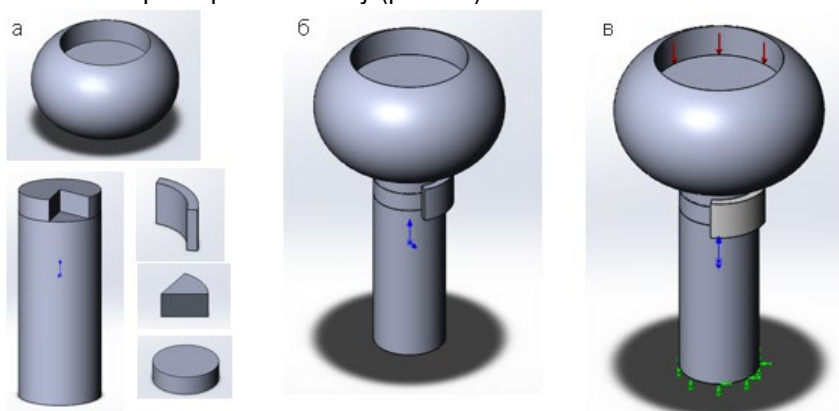


Рис. 3. Построение КМ в SolidWorks: а – элементы модели большеберцовой кости; б – геометрическая КМ; в – КМ реконструкции большеберцовой кости

**Результаты.** Разработанный алгоритм позволяет исследовать состояние регенерата в нагруженной кости при устранении варусной деформации. Например, на рис. 4 приведены эпюры напряжений, перемещений и деформаций при задании следующих параметров в модели: 1) модули упругости кости  $3 \cdot 10^4$  МПа, регенерата 7 МПа, титановой пластины 110 ГПа; 2) давление на большеберцовую кость со стороны бедренной  $1.3 \cdot 10^5$  Па [2]. Значения напряжений, перемещений и деформаций выделены зондированием.

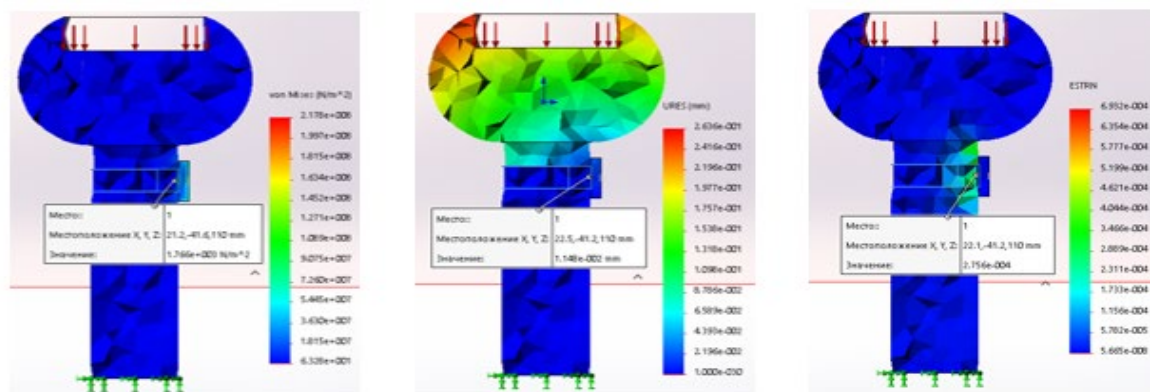


Рис. 4. Эпюры: а – напряжений; б – перемещений; в – деформаций

*Выводы.* Разработан алгоритм биотехнического исследования напряженно-деформированных состояний костей коленного сустава при устранении варусной деформации. Алгоритм может быть использован при назначении допустимых нагрузок при реконструкции КС по поводу варусной деформации.

#### **Библиографический список**

1. Колесников М. А. Лечение гонартроза: современные принципы и подходы // ПМ. 2010. № 47. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lechenie-gonartroza-sovremennye-printsipy-i-podhody> (дата обращения: 16.05.2020).
2. Бегун П. И., Воробьев С. В., Кривохижина О. В. Модели биомеханики человека: монография. СПб., 2016.

УДК 621.375.026

**Д. С. Гагарина**

магистр кафедры медицинской радиоэлектроники

**В. Ф. Михайлов** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**КОМПЕНСАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ В УСИЛИТЕЛЯХ МОЩНОСТИ**

В статье рассмотрены различные варианты систем компенсации нелинейных искажений, возникающих при работе усилителей мощности в нелинейном режиме. Рассмотрены типовые структуры математических моделей нелинейных динамических систем, типы архитектур построения предкорректоров.

**Введение**

При проектировании радиоэлектронных средств важными условиями являются снижение потребляемой мощности, стоимости оборудования и повышение излучаемой мощности передатчика. Наиболее энергозатратная часть радиопередающих систем – усилитель мощности (УМ), на который приходится до 50 и более процентов от общей потребляемой мощности. Также важным условием является повышение коэффициента полезного действия (КПД). Высокий КПД позволяет увеличить время наработки на отказ входящих в устройство элементов, уменьшить выходную мощность источника питания и снизить требования к проектированию систем охлаждения. При такой постановке задачи ставится необходимым повышение рабочей точки, что приводит к переходу УМ в нелинейный режим. Данный режим работы УМ сопровождается появлением больших искажений, которые называются нелинейными искажениями. Таким образом, перед проектировщиком стоит задача выполнить все вышеперечисленные условия, но при этом не допустить наличия нелинейных искажений. Наиболее перспективным решением данной задачи является метод компенсации нелинейности динамической характеристики УМ.

**Компенсация нелинейных искажений**

Для реализации компенсационного метода необходимо, чтобы сигнал перед поступлением на вход усилителя мощности был обработан в устройстве, имеющему обратную динамическую характеристику. Способы цифровой обработки сигналов делают возможной реализацию систем, позволяющих компенсировать нелинейность УМ в предшествующей ему части тракта. Такие системы называются «системами с предкоррекцией». Соответственно, устройство, имеющее обратную УМ динамическую характеристику, называется «предкорректором».

Важно отметить, что характеристики УМ могут варьироваться в процессе работы в силу изменения внешних факторов, таких как температура окружающей среды, влажность воздуха, атмосферное давление. Логично, что при изменениях частотной и передаточной характеристики УМ в силу внешних воздействий, системы с предкоррекцией должны меняться и свойства предкорректора. Такие радиопередающие системы называют «системами с адаптивной предкоррекцией».

Для минимизации нелинейных искажений необходимо, чтобы амплитудная характеристика на выходе УМ была линейной. Для этого нужно использовать предкорректор, имеющий амплитудную характеристику, обратную характеристике УМ. На рис. 1 приведена идея линейризации усилителя мощности [1].

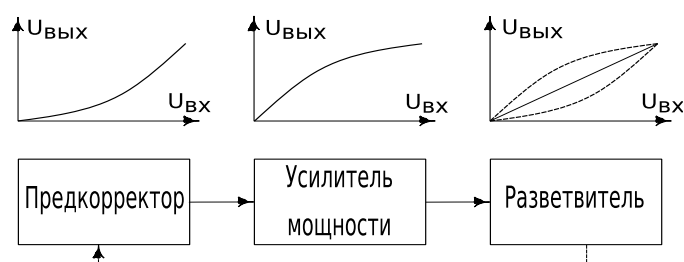


Рис. 1. Идея линейризации усилителя мощности

Для реализации метода предсказания необходимо экспериментально исследовать характеристики конкретного нелинейного усилителя. Предсказание сигнала для компенсации нелинейных искажений УМ чаще всего выполняется с помощью кубического преобразователя ввиду того, что такая характеристика является стандартной для типовых усилителей. Амплитудная характеристика такого преобразователя наиболее близка к идеальной обратной характеристике УМ. Схема устройства адаптивного компенсатора показана на рис. 2.

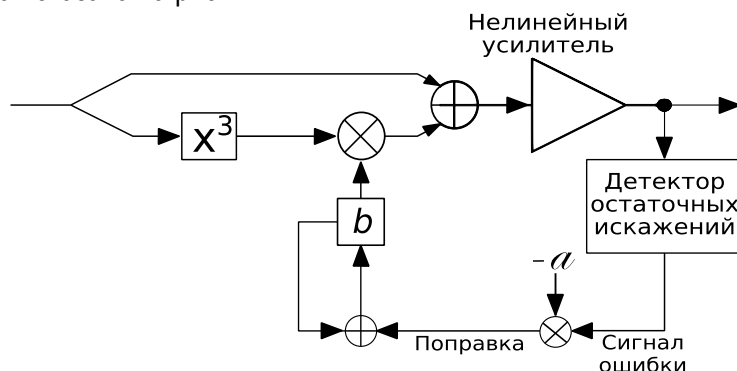


Рис. 2. Схема устройства адаптивного компенсатора нелинейных искажений

Рассматриваемый принцип компенсации заключается в том, что предсказанный сигнал является суммой исходного сигнала и сигнала, амплитуда которого возведена в куб и умножена на коэффициент  $b$ . Величина коэффициента  $b$  показывает степень искажения сигнала и выбирается исходя из величины мгновенных значений нелинейности УМ, а также из положения рабочей точки. Подстройка параметров преобразователя выполняется адаптивно, в зависимости от текущего остаточного уровня нелинейных искажений на выходе УМ и небольшой постоянной поправки величины коэффициента компенсатора. На практике параметр выбирается в зависимости от конкретной системы связи и ограничений на ее работу.

В научной литературе широко обсуждается проблема выбора математических моделей нелинейных динамических систем при моделировании систем с компенсацией нелинейных искажений [2]. Существующие методы компенсации можно разделить на 3 класса: нейронные сети, таблицы поиска и математические модели. Нейронные сети ввиду их сложности редко используются в методах компенсации, таблицы поиска состоят из огромного количества записей, что увеличивает требования к вычислительным ресурсам и памяти. Наиболее востребованными являются математические модели, можно выделить 4 основных типа: модель Винера, Гаммерштейна, Вольтерра и полиномиальная модель с памятью.

Главная идея моделей Винера и Гаммерштейна заключается в представлении реальной нелинейной динамической системы в виде последовательного соединения нелинейного блока (рис. 3).

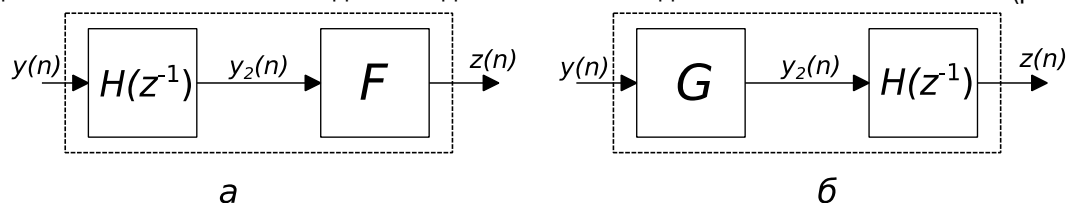


Рис. 3. Блок-схем математической модели Винера (а) и Гаммерштейна (б), где  $F$  и  $G$  – вектора параметров соответствующих нелинейных систем, а  $H(z^{-1})$  – передаточная характеристика БИХ-фильтра

В данном случае систем Винера смоделирована, как в фильтр с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтр).

В модели Винера дискретные сигналы на входе и выходе нелинейной системы связаны следующими соотношениями:

$$y_2(n) = H(z^{-1})y(n) = \frac{B(z^{-1})}{1 - A(z^{-1})}y(n) = \sum_{m=1}^{m_b} b_m y(n-m) + \sum_{m=1}^{m_a} a_m y_2(n-m),$$

$$z(n) = f_1 y_2(n) + f_2 y_2^2(n) + \dots + f_{mf} y_2^{mf}(n) = F^T Y_2(n),$$

где  $F = (f_1, f_2, \dots, f_{mf})^T$  – вектор параметров нелинейной подсистемы  $F$ ,  $Y_2(n) = (y_2(n), y_2^2(n), \dots, y_2^{mf}(n))$  – вектор входных параметров промежуточного дискретного сигнала  $y_2(n)$ ,  $A(z^{-1})$  и  $B(z^{-1})$  – многочлены передаточной характеристики БИХ-фильтра;  $z^{-1}$  – это оператор задержки.

Также УМ могут быть смоделированы, как системы Гаммерштейна (рис. 3б). Рассматриваемая модель схожа с моделью Винера, однако различие состоит в том, что изменен порядок следования звеньев системы. Известно, что УМ высокой мощности лучше всего моделируются с использованием модели Гаммерштайна как БИХ-фильтра в виду лучшей производительности. В модели Гаммерштайна дискретные сигналы связаны следующими соотношениями:

$$y_2(n) = g_1 y(n) + g_2 y^2(n) + \dots + g_{mg} y^{mg}(n) = G^T Y(n),$$

$$z(n) = H(z^{-1})y_2(n) = \frac{B(z^{-1})}{1 - A(z^{-1})}y_2(n) = \sum_{m=0}^{m_b} b_m y_2(n-m) + \sum_{m=0}^{m_a} a_m z(n-m),$$

где  $G = (g_1, g_2, \dots, g_{mg})^T$  – вектор параметров нелинейной системы  $G$ ,  $Y(n) = (y(n), y^2(n), \dots, y^{mf}(n))$  – вектор входных параметров, остальные составляющие трактуются как в случае модели Винера [3].

Важно отметить, что при моделировании УМ и предсказывающего блока модели соответствующих устройств должны быть разными. Например, при моделировании УМ используется модель Винера, а при моделировании предсказывающего блока – модель Гаммерштейна.

Наиболее популярной и широко применяемой моделью является полиномиальная модель с памятью, имеющая следующий вид:

$$z(n) = \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{i=1}^q h_{qj} y(n-i) |y(n-j)|^{i-1},$$

где совокупность  $[q \times m]$  параметров составляет  $q$  векторов, имеющих размерность  $m$ , вида

$$H_i = (h_{i0}, h_{i1}, \dots, h_{i(m-1)})^T, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

где  $m$  – глубина памяти;  $q$  – степень полинома,  $h_{ij}$  – коэффициенты полинома.

Известно, применение устройств предсказания, спроектированных на основе вышеописанной модели, обеспечивает более простой способ оценки инерционных свойств УМ, и при этом имеется оптимальная степень линеаризации.

В зависимости от построения систем с предсказаниями различаются способы адаптации параметров предсказывающего устройства. Различают 2 типа построения: архитектура с прямым обучением (direct learning architecture -DLA) и с непрямым обучением (indirect learning architecture-ILA).

При построении архитектуры с прямым обучением (рис. 4) адаптация параметров предкорректора выполняется по сигналу ошибки, представляющий собой разность между действительным выходным сигналом УМ и опорным (желаемым) сигналом. Опорный сигнал представляет собой идеально усиленный входной сигнал  $g \cdot x(n)$ , где  $g$  – коэффициент усиления мощности,  $x(n)$  – входной сигнал.

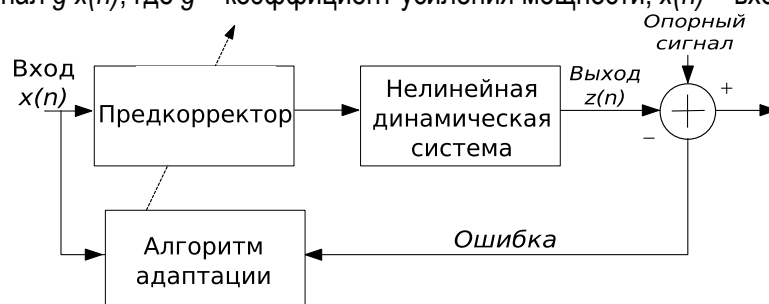


Рис. 4. Архитектура с прямым обучением предкорректора

При построении архитектуры с непрямым обучением (рис. 5) адаптация параметров предкорректора происходит по сигналу ошибки, представляющей разность между выходным сигналом в прямом канале и выходным сигналом обучающего корректора.

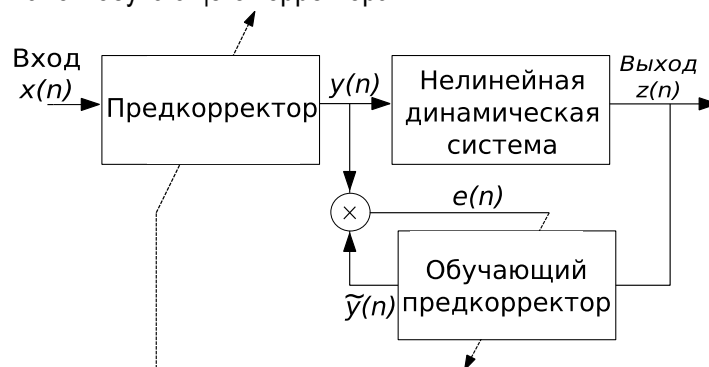


Рис. 5. Архитектура с непрямым обучением предкорректора

Чем ближе сигнал ошибки  $e(n)$  к нулю, тем больше сигнал с выхода УМ приближается к входному сигналу  $x(n)$ . В этом случае процесс адаптации предкорректора приближается к установившемуся состоянию. Достоинствами данной архитектуры являются меньшее время сходимости и меньшая вычислительная сложность.

### Заключение

Анализируя представленные выше сведения, можно утверждать, что системы с компенсацией нелинейных искажений, основанных на полиномиальной модели с памятью и имеющие архитектуру с непрямым обучением, имеют ряд достоинств. В их числе: высокий уровень подавления нелинейных искажений, простота реализации системы на практике, чувствительная подстройка системы к возможным изменениям характеристик УМ.

### Библиографический список

1. Саяпин В. Ю., Тисленко В. И., Родинов В. В. Обзор и сравнительный анализ способов построения компенсаторов нелинейных искажений в усилителях мощности // Доклады Томского гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. 2015. Вып. 4. С. 26–31.
2. Саяпин В. Ю. Описание нелинейных цепей на основе X-параметров и методика их измерения // Доклады Томского гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. 2012. Вып. 2. С. 83–86.
3. Gan L. Adaptive digital predistortion of nonlinear systems // Faculty of Electrical and Information Engineering: Ph. D thesis. Graz University of Technology. 2009. 120 p.



УДК 378.147

**Р. А. Есипов**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**С. А. Якушенко** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ ЛИНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМИТАЦИОННЫХ ПОМЕХ

В статье приводится анализ помехоустойчивости технического устройства, виды орбит радионавигационных спутников, что представляет собой имитационная помеха и методы их формирования.

### Введение

Имитационная помеха представляет собой тот или иной сигнал, по структуре совпадающий с соответствующими сигналами из числа используемых в системе радиосвязи.

### Орбиты радионавигационных спутников

Штатная орбитальная группировка ГЛОНАСС состоит из 24 спутников, находящихся на средне-высотных околокруговых орбитах с номинальными значениями высоты – 19 100 км, наклона –  $64,8^\circ$  и периода – 11 часов 15 минут 44 секунды. Значение периода позволило создать устойчивую орбитальную систему, не требующую, в отличие от орбит GPS, для своего поддержания корректирующих импульсов практически в течение всего срока активного существования. Номинальное наклонение обеспечивает стопроцентную доступность навигации на территории РФ даже при условии выхода из орбитальной группировки нескольких КА [1].

Европейская Galileo является третьей ГНСС, цель которой – предоставление непрерывного, более гибкого и точного сервиса позиционирования с полным набором связанных параметров и услуг для всех диапазонов пользователей. Орбитальное построение ГАЛИЛЕО предполагает, что на орбите будет 27 КА (космический аппарат) на трех круговых орбитах высотой 23 229 км, периодом обращения 14 часов, наклоном  $56^\circ$ . По целевому назначению используются 24 КА, один КА в каждой орбитальной плоскости является резервным. Такая конфигурация группировки была выбрана исходя из гарантированного обеспечения требований по точности и доступности при минимальных затратах на коррекцию орбиты за время существования космического аппарата [2].

Навигационная спутниковая система BeiDou, создаваемая независимо в Китае, неуклонно движется к своему конечному пункту назначения – к 2020 году орбитальная группировка БЭЙДОУ будет состоять из 35 КА, из которых 5 КА Beidou-G должны находиться на геостационарной орбите (точки  $58,75^\circ$  в. д.,  $80^\circ$  в. д.,  $110,5^\circ$  в. д.,  $140^\circ$  в. д. и  $160^\circ$  в. д.), 27 КА Beidou-M – на средней круговой орбите (высота 21 500 км, период обращения 12 часов 53 минуты, наклонение  $55^\circ$ ) и 3 КА Beidou-IGSO – на геосинхронных наклонных высоких орбитах (три плоскости с пересечением подспутниковой точки трех орбит на широте  $118^\circ$  в. д., высотой орбиты 35 786 км, наклоном  $55^\circ$ ), (в трех плоскостях с высотой орбит 35 786 км и наклоном  $55^\circ$ ), подспутниковые точки которых движутся на поверхности Земли по одной трассе в форме восьмерки, ось симметрии которой находится на долготе  $118^\circ$  в.д. [3].

При выборе типов и параметров сигналов, используемых в спутниковых радионавигационных системах, учитывается целый комплекс требований и условий. Сигналы должны обеспечивать высокую точность измерения времени прихода (задержки) сигнала и его доплеровской частоты и высокую вероятность правильного декодирования навигационного сообщения. Также сигналы должны иметь низкий уровень взаимной корреляции для того, чтобы сигналы разных навигационных космических аппаратов надежно различались навигационной аппаратурой потребителей. Кроме того, сигналы ГНСС должны максимально эффективно использовать отведенную полосу частот при малом уровне внеполосного излучения, обладать высокой помехоустойчивостью.

Почти все существующие навигационные спутниковые системы, за исключением индийской системы NAVIC, используют для передачи сигналов диапазон L. Система NAVIC будет излучать сигналы дополнительно и в S диапазоне (табл. 1) [4].

Виды диапазонов и их частоты

Название диапазона	Частоты (согласно ITU-R V.431-6)
L	1.5 ГГц
S	2.5 ГГц
C	4 ГГц, 6 ГГц
X	Для спутниковой связи рекомендациями ITU-R частоты не определены. Для приложений радиолокации указан диапазон 8-12 ГГц
Ku	11 ГГц, 12 ГГц, 14 ГГц
K	20 ГГц
Ka	30 ГГц

### Имитационные помехи

Для создания имитационных помех достаточно иметь записанные сигналы, полученные приемом из пространства или другим путем, причем дешифрация таких сигналов может быть и необязательной. В системах радиосвязи, в которых передаются командные сигналы управления, имитационная помеха дезорганизует работу исполнительных устройств или исполнителей, так как принимается ложная информация при отсутствии излучения собственных корреспондентов. С целью борьбы с имитационными помехами меняют в соответствующее время структуру сигналов (код), передачу информации ведут имитационными сигналами, сообщают при излучении информации время излучения с последующей проверкой времени излучения с текущим временем приема по критерию превышения разницы указанных времен некоторой величины. Однако имитационная помеха может быть сформирована из принятого сигнала корреспондента с последующим излучением. В этом случае знание шифра кода оказывается ненужным. Поэтому для отличия сигналов собственного корреспондента от имитационной помехи на приемный пункт корреспондент сообщает время излучения, что позволяет отличать имитационную помеху, излученную позднее сигналов корреспондента. Но при передаче информации о времени излучения успех дела зависит от знания шифра кода противником. Если код расшифрован каким угодно способом, то противник имеет возможность излучать ложную информацию, сообщая время излучения. Кроме того, применение криптоустойчивых кодов увеличивает вес, габариты, энергопотребление аппаратуры связи, что нежелательно для военной аппаратуры подвижных систем связи. В связи с вышеизложенным возникает необходимость иметь способы защиты от имитационных помех, страхующие в случае раскрытия шифров кодов или позволяющие при необходимости обходиться обычными не криптоустойчивыми кодами [5].

### Методы формирования «спуфинг»-помехи

*Генераторный метод.* Генератор помехового сигнала формирует «спуфинг»-помеху, имеющую параметры, аналогичные параметрам сигналов СРНС, а затем использует передающую антенну для излучения помехового сигнала в направлении НАП СРНС. В настоящее время большинство вариантов кодовых структур сигналов СРНС, используемых для гражданских применений, общеизвестны, поэтому реализация устройства формирования СП на основе генераторного метода в большей степени применима именно в системах гражданского назначения. Сигналы же военного назначения в СРНС кодируются более длинными последовательностями; структуры этих последовательностей являются закрытыми, поэтому декодирование такого сигнала технически является сложной задачей. В связи с этим обстоятельством формирование СП для систем военного назначения генераторным методом представляется неоправданно сложным. Поэтому для создания СП системам военного назначения обычно используется ретрансляционный метод [6].

*Ретрансляционный метод.* При использовании ретрансляционного метода устройство формирования СП сначала получает аутентичный сигнал СРНС с помощью приемной антенны, а затем после добавления к сигналу определенной временной задержки и, возможно, дополнительного сдвига частоты усиливает его и передает помеховый сигнал с помощью передающей антенны на НАП. НАП СРНС после получения помехового сигнала вычисляет псевдодальность до соответствующего мнимого (имитируемого) спутника, поэтому позиционирование носителя НАП СРНС производится с ошибкой.

Оба рассмотренных метода различаются по степени сложности реализации. В первом случае используется одна приемно-передающая антенна для приема всех аутентичных спутниковых сигналов и повторной передачи искаженных сигналов. В этом случае, если задержка достаточно мала, мы можем предположить, что помеха синхронизирована с информационным сигналом от спутника СРНС, который она имитирует. Этот тип «спуфинг»-помехи может быть идентифицирован НАП СРНС и, следовательно, в этом случае может быть установлен факт наличия помехи. Второй метод использует одну антенну для приема навигационных сигналов от спутников, а другую – для передачи искаженных сигналов на НАП СРНС. Если для приема сигналов используется многолучевая антенна, то оказывается возможным вносить искажения в любой из принятых со спутников сигналов. В этом случае данные позиционирования носителя могут быть существенно искажены, при этом НАП СРНС не сможет определить факт помехового воздействия без использования специальных методов.

### Выводы

Проанализировав глобальные навигационные системы, диапазоны частот и понятие имитационных помех, были определены два метода формирования имитационных помех, принцип которых будут использованы в диссертационной работе.

### Библиографический список

1. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. URL: <https://www.glonassiac.ru/guide/gnss/glonass.php>. (дата обращения: 05.05.2020).
2. Глобальная навигационная спутниковая система Галилео. URL: <https://www.glonassiac.ru/guide/gnss/galileo.php>. (дата обращения: 04.05.2020).
3. Глобальная навигационная спутниковая система Бэйдуо. URL: <https://www.glonassiac.ru/guide/gnss/beidou.php>. (дата обращения: 04.05.2020).
4. Основные элементы спутниковой системы навигации. URL: <https://www.glonassiac.ru/guide/navfaq.php>. (дата обращения: 05.05.2020).
5. Способ защиты от имитационных помех в системах подвижной радиосвязи. URL: <http://patents.su/15-1840037-sposob-zashhity-ot-imitacionnykh-pomekh-v-sistemakh-podvizhnojj-radiosvyazi.html> (дата обращения: 05.05.2020).
6. Принципы обнаружения преднамеренных помех, воздействующих на аппаратуру потребителей спутниковых радионавигационных систем. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/may19/14/text.pdf>. (дата обращения: 04.05.2020).

## УДК 621.396.2

**М. А. Кулигин**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**В. А. Жиров** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**АНАЛИЗ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ И СИГНАЛЬНО-КODOVЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАДИОЛИНИИ СПУТНИКОВОГО РАДИОДОСТУПА**

В статье проводится анализ сигнально-кодovых конструкций и обзор существующих радиолиний.

**Введение**

В последние годы для предоставления пользователям высокоскоростного доступа к информации в мире создают и используют высокоскоростные спутниковые системы связи с использованием космических аппаратов, которые располагают на геостационарной орбите.

Для увеличения скорости передачи, необходим анализ современных тенденций в передающей аппаратуре высокоскоростной спутниковой связи.

**Пропускная способность**

Условно можно разделить на две группы факторы, из-за которых невозможно повысить эффективность спутниковой радиолинии. К первой группе можно отнести конструктивные особенности космических аппаратов, ко второй сигнально-кодovые конструкции, коэффициент усиления антенн, диапазон частот и т. д.

Для построения группировки космических аппаратов используется геостационарная орбита Земли, и чтобы обеспечить связь на территории России, требуется два космических аппарата. В связи с тем, что абонентские терминалы энергетически слабы, используют многолучевые антенны для восточного направления 24 луча по  $0,7^\circ$  и западного направления 47 лучей по  $0,5^\circ$  [1].

Передача информации осуществляется транспондерами в C-диапазоне (3,4–8 ГГц), Ku-диапазоне (10,7–18 ГГц), Ka – диапазоне (18,3–31 ГГц) [2].

Достоверность передачи характеризуется вероятностью ошибки на бит или пакет. В качестве примера приведем требования к сигнально-кодovым конструкциям, которые приведены в описании к модему CDM-760 от компании Comtech [3]. В табл. 1 приведены сигнально-кодovые конструкции, а также значение спектральной и энергетической эффективности.

Таблица 1

**Сигнально-кодovые конструкции**

Сигнально-кодovые конструкции	QPSK			8PSK			16APSK			32APSK		
	1/4	3/5	5/6	3/5	3/4	9/10	2/3	5/6	8/9	3/4	5/6	9/10
Спектральная эффективность, (бит/с)/Гц	0,48	1,16	1,62	1,74	2,18	2,62	2,58	3,22	3,44	3,62	4,03	4,36
Энергетическая эффективность, дБ	1,1	1,9	3,3	3,7	4,8	7,1	5,4	5,4	7,8	7,6	8,7	10,1

Из данных которые приведены в табл. 1 видно, что значение спектральной эффективности у кодов QPSK самое низкое, а самое высокое у кодов 32APSK. Это означает, что коды 32APSK более эффективнее используют частотный диапазон. Значение энергетической эффективности у кодов 32APSK самое высокое из всех, представленных в таблице, у кодов QPSK самое низкое. Из этих данных следует, что больше данных можно передавать с помощью кодов 32APSK.

Выделяют несколько направлений для повышения пропускной способности линии [4]: применение модуляции и высокоэффективное помехоустойчивое кодирование, обеспечение режима адаптивной модуляции и кодирования, сжатие заголовков сетевого и транспортного уровней и т. д. При использовании перечисленных методов увеличиваются массогабаритные характеристики и стоимость аппаратуры. При объединении всех методов, средств, подходов можно добиться наилучшей пропускной способности радиолинии.

### Существующие радиолинии

Многие фирмы в современных условиях выпускают большое количество малых специфичных спутников, отказываясь от производства многоцелевых космических аппаратов. Такие спутники имеют невысокую скорость передачи данных, но такое решение способствует повышению оперативности передачи информации.

Основным ограничительным фактором пропускной способности системы является пропускная способность каждого радиоканала. Для оценки радиоканалов в табл. 2 приведены параметры эксплуатирующейся аппаратуры.

Таблица 2

#### Характеристики спутников для передачи информации X-диапазона частот [5]

Название космического аппарата	Страна запуска	Год запуска	Макс. скорость передачи, Мбит/с	Высота орбиты, км
Ресурс-П 3	Россия	2016	300	475
Кондор-Э	Россия	2013	350	500
WorldView-2	США	2009	800	770
WorldView-3	США	2014	1200	617
Gaofen-3	Китай	2016	450	758
KOMPSAT-3A	Корея	2015	1000	528
ALOS-2	Япония	2014	800	628
IKONOS-2	США	1999	320	680

Исходя из данных в табл. 2 можно сделать вывод, что скорость передачи информации не зависит от высоты орбиты и года запуска космического аппарата. К лидерам высокоскоростной передачи данных можно отнести США (WorldView-3), Корею (KOMPSAT- 3A) и Японию (IKONOS-2).

В табл. 3 представлены параметры сигнально-кодовых конструкций.

Таблица 3

#### Методы модуляции и кодирования X-диапазона частот

Фирма/модель	Модуляция	Кодирование	Применение	Скорость передачи
SSTL XTx-400 [6]	BPSK/QPSK/8-PSK-TCM	Сверточный код 2/3 или 5/6 TCMR = 1/2, k = 7	KazEOSat-2, NovaSAR-S	от 10 до 50 Мбит/с
Digital Globe [7]	8-PSK	PC(255,239,17)	WorldView-3	1200 Мбит/с
L3CE T-722	OQPSK	RS (255,239,17)	Worldview-1/2	800 Мбит/с
Space Micro, $\mu$ XTX-100 [8]	QPSK, OQPSK, 8QPSK	7/8 LDPC или PC	NASA IRIS	до 50 Мбит/с

Из данных в табл. 3 следует, что X-диапазон обеспечивает передачу данных со скоростью то 10 Мбит/с до 1200 Мбит/с, передатчики используют многоканальную передачу.

В табл. 4 представлены параметры сигнально-кодовых конструкций, которые применяют в Ka-диапазоне частот.

Таблица 4

#### Методы модуляции и кодирования Ka-диапазон

Фирма/ модель	Модуляция	Кодирование	Применение
Space Micro, $\mu$ KaTx-300 [9]	QPSK, OQPSK, 8APSK (16APSK & 32QAM Optional)	LDPC 7/8, PC	NASA
HARRIS APSTAR [10]	OQPSK	сверточный код, $R = 1/2$ , $k=7$	Apstar-7

Как следует из табл. 4, в Ka-диапазоне частот широко применяются различные сигнальные конструкции, что способствует высокой пропускной способности, хотя из-за трудности в элементной базе существенного выигрыша по сравнению с X-диапазоном не достигается.

#### Выводы

Для решения проблемы скорости передач применяют сложные сигнально-кодовые конструкции в X-диапазоне. Также применяют Ka-диапазон, но его использование требует более сложной аппаратуры. Проанализировав сигнально-кодовые конструкции, можно сделать вывод, что с точки зрения спектральной и энергетической эффективности лучше использовать 32APSK коды. В системах связи используют различные виды относительной модуляции и треллис-модуляции. В качестве кодов широко применяют сверточные коды.

#### Библиографический список

1. Российская спутниковая система высокоскоростного доступа (PCC-BCD). URL: [https://www.rtdcomm.ru/national\\_projects/satellite\\_ka](https://www.rtdcomm.ru/national_projects/satellite_ka) (дата обращения: 03.05.2020).
2. Экспресс AM-5 зоны покрытия. URL: <https://касат.рф/article?id=582> (дата обращения: 03.05.2020).
3. CDM-760 Advanced High-Speed Trunking and Broadcast Modem. URL: <https://www.comtechefdata.com> (дата обращения: 03.05.2020).
4. Седунов Д. П., Привалов Д. Д. Повышение пропускной способности спутниковых радиолиний // Проблемы науки. 2016. № 6 (7). С. 9–11.
5. Earth Observation Portal. URL: <https://eoportal.org> (дата обращения: 03.05.2020).
6. X-Band-Transmitter. URL: <https://www.sstl.co.uk/Products/Subsystems/Communication/Receivers/Transmitter/XBand-Transmitter> (дата обращения: 03.05.2020).
7. DigitalGlobe Simulates Complete Satelliteto-Ground Communications Systems. URL: [http://www.mathworks.com/tagteam/78720\\_92176v00\\_DigitalGlobe\\_UserStory\\_final.pdf](http://www.mathworks.com/tagteam/78720_92176v00_DigitalGlobe_UserStory_final.pdf). (дата обращения: 03.05.2020).
8.  $\mu$ XTx-100 X-Band Transmitter. URL: <http://www.spacemicro.com/assets/datasheets/rf-and-micro-wave/uXTx-100.pdf> (дата обращения: 03.05.2020).
9.  $\mu$ KaTx-300 Ka-Band Transmitter. URL: <http://www.spacemicro.com/assets/datasheets/rf-and-micro-wave/uKaTx-300.pdf> (дата обращения: 03.05.2020).
10. Joseph Downey, Richard Reinhart, Tom Kacpura. Pre-flight Testing and Performance of a Ka-band Software Defined Radio. URL: [https://spaceflight systems.grc.nasa.gov/wp-content/uploads/Brfg-Pre-flight-Testing-andPerformance-of-a-Ka-band-Software-Defined-Radio\\_Downey\\_2012.pdf](https://spaceflight systems.grc.nasa.gov/wp-content/uploads/Brfg-Pre-flight-Testing-andPerformance-of-a-Ka-band-Software-Defined-Radio_Downey_2012.pdf) (дата обращения: 03.05.2020).

УДК 378.147

**В. А. Лебедева**

студентка кафедры медицинской радиоэлектроники

**П. И. Бегун** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## БИОМЕХАНИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ СТРУКТУР БЕДРЕННОЙ КОСТИ ПРИ ДЕФОРМИРУЮЩЕМ АРТРОЗЕ

В статье рассмотрен алгоритм построения компьютерной модели бедренной кости и тазового хряща. Проведено исследование состояния структур бедренной кости при деформирующем артрозе при различных значениях модуля упругости хряща и различных значениях радиуса контактного пятна.

### Введение

Коксартроз, представляющий собой поражение хрящевой ткани тазобедренного сустава, в общей структуре суставной патологии занимает второе место после гонартроза и встречается у каждого третьего пациента 45–65 лет и у 60–70 % больных старше 65 лет [1].

### Постановка проблемы

Несмотря на распространенность патологии, на сегодняшний день отсутствуют некоторые сведения, характеризующие бедренную кость при деформирующем коксартрозе, а именно величины напряжений и перемещений в суставе при изменении модуля упругости хряща, а также при различных радиусах контактного пятна между хрящом и вертлужной впадиной.

### Задача исследования

Задачей исследования является разработка методики и проведение биомеханического исследования состояния структур бедренной кости при деформирующем коксартрозе в зависимости от модуля упругости хрящевой ткани и площади контактного пятна.

### Построение компьютерной модели тазобедренного сустава

При построении модели необходимо учитывать свойства материала, геометрию и структуру биологического объекта, а также его закрепление и внешнюю нагрузку.

Построение компьютерной модели выполняется в несколько этапов:

1. *Создание сетки биообъекта.* Схематизация свойств материала костей и геометрии производится на основе компьютерных томограмм (КТ), которые импортируются в программу Mimics. С помощью инструментов программы можно создать и вручную отредактировать маску на всех срезах КТ, а затем создать 3D-модель исследуемой кости. Для подготовки модели к экспорту в формате STL и повышения качества поверхности производится ее предварительное редактирование в программе 3-Matic.

2. *Создание твердотельной модели бедренной кости с помощью пакета программ SolidWorks с помощью дополнения ScanTo3D.* После экспорта необходимо воспользоваться такими инструментами, как «Мастер подготовки сетки» и «Мастер поверхности». Первый инструмент позволяет упростить сетку и убрать посторонние объекты, а второй – создает из сетки твердое тело с настраиваемым количеством поверхностей.

3. *Создание тазового хряща.* В отличие от бедренной кости, анатомические особенности суставного хряща позволяют создать его, используя исключительно инструменты программы SolidWorks, схематизировав его до полусферы заданного радиуса.

4. *Объединение кости и хряща в единую сборку.*

5. *Проведение исследования с использованием дополнения Simulation.* Закрепление кости осуществляется в ее проксимальной части, а нагрузка прикладывается на площадку, расположенную на хряще в зоне контакта с вертлужной впадиной.

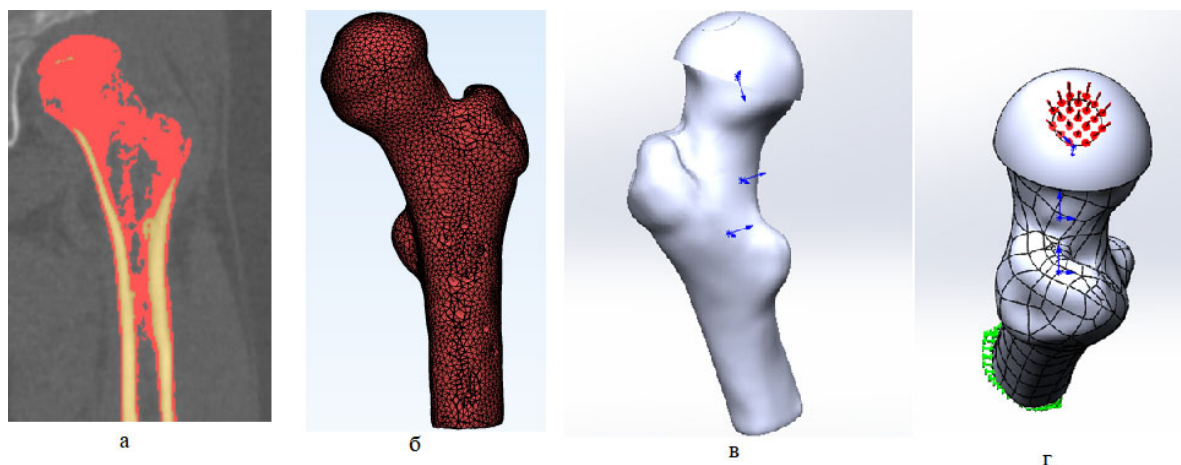


Рис. 1. Этапы создания модели: а – маска бедренной кости; б – сетка поверхности бедренной кости; в – геометрическая модель; г – компьютерная модель

Исследование выполняется для следующих исходных данных. Давление, действующее на площадку размером от 3,514 до 78,5 мм<sup>2</sup> под воздействием силы в 500 Н, передается со стороны таза на бедренную кость и составляет от 6,37 до 159,15 МПа. Диапазон изменения модуля упругости хряща в норме составляет от 5 до 51 МПа, при патологии от 51 до 200 МПа [2].

### Результаты

С увеличением модуля упругости уменьшаются напряжения и перемещения, действующие в окрестностях точки в зоне хряща (рис. 2). С увеличением радиуса пятна контакта значения напряжения и перемещения, действующие в окрестностях точки в зоне контакта хряща и тазовой кости, уменьшаются (рис. 3).

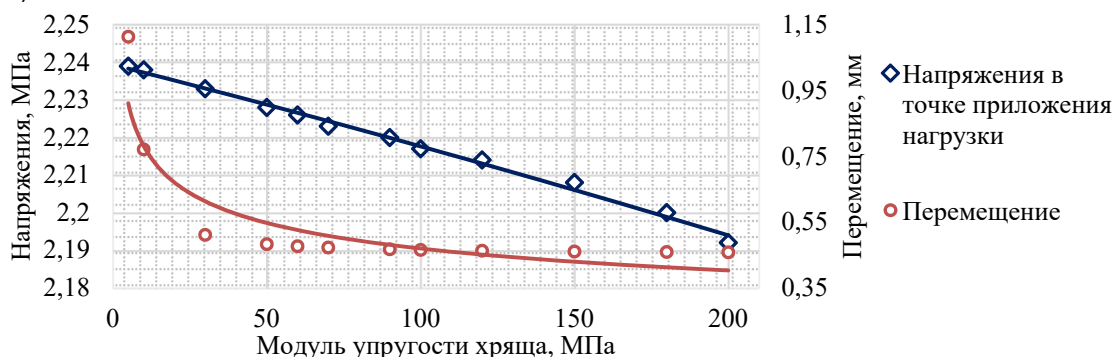


Рис. 2. График зависимости напряжения в точке приложения нагрузки и перемещения от модуля упругости хряща

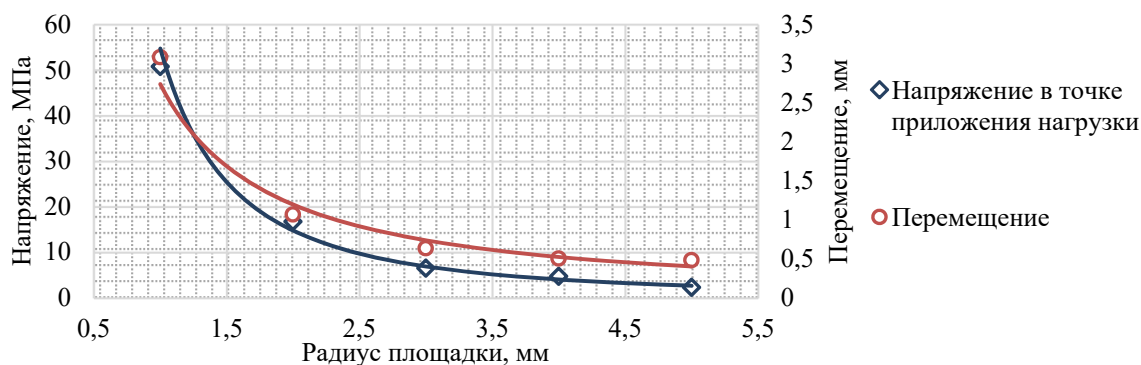


Рис. 3. График зависимости напряжения в точке приложения нагрузки и перемещения от радиуса пятна контакта



### **Выводы**

Был создан и реализован алгоритм построения компьютерной модели бедренной кости, и проведено исследование состояния структур бедренной кости при деформирующем артрозе. Для пациентов с коксартрозом разработанный алгоритм может быть использован при назначении допускаемых движений, связанных с образованием пятен контакта разной формы и площади.

### **Библиографический список**

1. *Димов И. Д.* Причины развития и патогенез коксартроза // FORCIPE. 2019. Приложение. С. 941–941.
2. *Кукин И. А.* Особенности прочностных характеристик губчатой кости при заболеваниях тазобедренного сустава // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 7. С. 328–333.

УДК 550.388.2

**Е. Е. Леоненко**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**Д. В. Благовещенский** – доктор физико-математических наук, профессор

### ЭФФЕКТ МНОГОЛУЧЕВОСТИ ПРИ СВЯЗИ С КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ В ОКОЛОЗЕМНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Рассмотрены основные способы борьбы с межсимвольной интерференцией радиосигнала при многолучевом распространении по трассе земля – космический аппарат. Проблема рассмотрена в отношении к изучению дисциплины «Проектирование, разработка и исследование РЭС», для специалистов направления 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы».

С момента изобретения первого телеграфа, а затем и первого радиоприемника радиосвязь на дальние расстояния сделала огромный скачок вперед, и на текущий момент времени даже обычный человек имеет возможность перебрасывать десятки мегабайт информации на другую сторону земного шара. В первую очередь такую пропускную способность позволяют обеспечить системы спутниковой связи. Но за вроде бы обыденными вещами скрываются труды сотен инженеров и ученых, направленных на решение проблемы связи с космическими аппаратами. Основными проблемами связи с космическими аппаратами являются: низкие мощности сигналов, большой диапазон направлений прихода сигнала и доплеровских сдвигов частоты, замирания в канале, а также эффект многолучевости. Конечно, все эти проблемы решаются комплексно, но в своей работе хотелось бы раскрыть, что же такое эффект многолучевости и основные способы борьбы с ним.

Отражения имеют место, когда электромагнитные волны достигают препятствий типа поверхности воды или конструкций здания. Сигналы спутников связи являются склонными к многолучевому отражению, особенно когда приемные антенны установлены в городах, на кораблях или вблизи большого количества металлических конструкций. Некоторые поверхности рядом с приемной антенной могут создавать отраженный сигнал, по геометрическим и электрическим характеристикам (по форме волны), повторяющий прямой сигнал. В этом случае отражение сигнала называют «зеркальным» в противоположность «разбросанному». Тип и размер отражающей поверхности определяет, какое отражение имеет место – зеркальное или разбросанное. Критерий, известный как «критерий роли», описывает зависимость типа отражающей поверхности от длины волны.

Во время приема сигнал с многолучевым распространением распространено явление межсимвольной интерференции. Межсимвольная интерференция (МСИ) – это искажения сигнала за счет откликов на более ранние символы, которые могут проявлять себя как помехи. МСИ зависит от вида АЧХ и ФЧХ фильтров в тракте передаче, структуры и параметров кодовой последовательности.

Возможности подавления межсимвольной интерференции в каналах с многолучевостью:

*Метод выделения одного луча.* Основан на выделении самого первого луча; данный способ можно осуществить использованием приемной антенны с узкой и автоматически регулируемой диаграммой направленности, так как разные лучи будут приходить под разными углами, такой тип приемной системы сможет выделить один из них. Также существуют способы выделения сигнала по времени прихода. Наиболее простым по идее является метод использования коротких импульсных сигналов, вся энергия которых сосредоточена в небольшой доле времени  $T$ , отведенного для передачи элемента. При этом длительность импульса  $t$  должна быть меньше величины относительного запаздывания двух соседних лучей  $\Delta t$  мин., а длительность элемента  $T$  – больше относительного запаздывания последнего луча  $\Delta t$  макс. [2].

Прием со стробированием импульсов. Сигнал в приемнике подвергается стробированию, то есть из посылки длительностью  $T$  вырезается та ее часть, где проявление переходных процессов от предыдущего символа минимально [2].

*Применение сигналов с пассивной паузой.* При передаче сигнала между информационными импульсами вводится защитный интервал длительностью больше, чем  $\Delta t_{мл}$ , где  $\Delta t_{мл}$  – время многолучевости (разность времени распространения по максимальному и минимальному путям). В этом случае влияние лучей смежных информационных символов исключается [2].

*Применение многопозиционных сигналов.* Использование многопозиционной манипуляции с основанием кода  $m > 2$  позволяет уменьшить техническую скорость передачи  $B$  по сравнению с информационной скоростью  $V$  в  $\log_2 m$  раз. (Например, при четырехпозиционной манипуляции  $\log_2 4 = 2 = 0,5 V B$ , то есть длительность элементарных посылок, излучаемых передатчиком, увеличивается в два раза.) [2].

Оптимальный метод приема требует разработки алгоритмов разделения лучей, их фазирования, взвешивания по максимуму отношения сигнал-шум (масштабирования) и квазикогерентного весового сложения.

*Фильтр Найквиста.* Некоторые полосовые системы, такие как беспроводные, являются, по сути, каналами с замираниями, которые проявляют себя как нежелательные фильтры, также искажающие сигнал. Если принимающий фильтр настраивается на компенсацию искажения, вызванного как передатчиком, так и каналом, он часто называется выравнивающим или принимающим [1].

*Применение эквалайзеров.* В реальных радиоканалах излученный сигнал может претерпевать искажения, проявляющиеся как влияние некоторого линейного фильтра ФИСК с комплексной частотной характеристикой УИСК ( $\omega$ ) и соответствующим импульсным откликом ИИСК ( $t$ ). При наличии таких искажений в общем случае выполнение условия отсутствия МСИ в отсчетных точках может быть обеспечено путем включения на входе приемного устройства дополнительной фильтра ФКОМП компенсирующего искажения, вносимые реальным каналом [1].

*Помехоустойчивое кодирование.* В силу случайного характера интерференционных явлений в условиях многолучевого распространения полностью устранить их или компенсировать невозможно. Однако разработаны методы, существенно снижающие их негативное проявление. К числу таких методов относится применение избыточного кодирования с целью обнаружения и коррекции некоторого количества ошибочных символов [1].

#### Библиографический список

1. Бакулин М. Г., Крейнделин В. Б., Панкратов Д. Ю. Технологии в системах радиосвязи на пути к 5G. М.: Горячая линия – Телеком, 2019. 280 с.
2. Мартышевская Д. А. Повышение помехоустойчивости высокоскоростной передачи цифровых сигналов с помощью подавления межсимвольной интерференции.: ВлГУ, 2017. 141с.

УДК 621.391.833.24

**В. А. Ложкина**

студентка кафедры медицинской радиоэлектроники

**С. И. Малинин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### РАЗРАБОТКА ПОДОПТИМАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ПРИЕМА СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ МЕЖСИМВОЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Синтезировано подоптимальное правило приема цифровых сигналов, реализующее схему с обратной связью по решению, которая представляет собой комбинацию линейного трансверсального фильтра и нелинейного выравнителя в цепи обратной связи. Проведено сравнение полученного алгоритма с алгоритмом, синтезированным по СКО-критерию с точки зрения объема вычислительных затрат для расчета весовых коэффициентов. Показано преимущество модифицированного алгоритма ОМП по сравнению с СКО-критерием по данному параметру.

В [1] рассмотрен прием при наличии межсимвольной интерференции, осуществляемый по правилу модифицированного обобщенного критерия максимального правдоподобия (ОМП) [2], когда оценка информационных параметров «мешающих» элементов сигнала слева и справа от основного элемента осуществляется по максимуму функции правдоподобия сигнала на входе приемника.

В процессе приема накапливаются дополнительные сведения об информационных параметрах элементов сигнала, предшествующих основному элементу. Эти сведения могут быть использованы для повышения помехоустойчивости приема, что приводит к схемам с обратной связью. В данной работе рассмотрены вопросы синтеза и анализа возможных вариантов таких решающих схем.

Рассмотрим вначале схемы приема сигналов, использующих обратную связь по решению [3]. Предположим, что все информационные параметры элементов сигнала, предшествующих принимаемому в данный момент элементу, приняты верно, то есть они точно известны. Тогда сигнал на входе приемного устройства удобно записать в виде [1]:

$$Z_r(t) = \theta_r Z_o(t) + \sum_{k=1}^n \theta_{rk} Z_k(t) + \sum_{k=-1}^{-n} \theta_k Z_k(t) + \sum_{\substack{k=-\infty \\ k \neq -n, n}}^{\infty} \theta_k Z_k(t), \quad (1)$$

где  $\theta_r$  – информационный параметр, подлежащий определению в данный момент;  $\theta_{rk}$  – информационные параметры элементов сигнала, следующих за основным элементом и подлежащих компенсации;  $\theta_k$  – информационные параметры элементов сигнала, предшествующих основному элементу и также подлежащих компенсации. Информационные параметры  $\theta_k$ , входящие в последнюю сумму, принадлежат элементам сигнала, не подлежащим компенсации;  $n(t)$  – белый шум с нулевым средним и корреляционной функцией

$$\overline{n_1(t_1)n(t_2)} = \frac{\nu^2}{2} \delta(t_2 - t_1).$$

Для противоположных сигналов все информационные параметры принимают значения  $\pm 1$ . Если  $n$  велико, то последней суммой в выражении (1) можно пренебречь. Тогда (1) переписывается в виде:

$$Z_r(t) = \theta_r Z_o(t) + \sum_{k=1}^n \theta_{rk} Z_k(t) + \sum_{k=-1}^{-n} \theta_k Z_k(t).$$

Обозначим все  $n$  известных информационных параметров элементов сигнала, предшествующих основному элементу,  $\{\dot{\theta}_k\}$ . Запишем логарифм функции правдоподобия относительно информационного параметра  $\theta_r$  и параметров  $\{\theta_{rk}\}$ , подлежащих оценке по максимуму функции правдоподобия:

$$\ln L(Z'(t) | \theta_r, \bar{\theta}_r) = \int_{-nT}^{nT} \left[ \left( Z'(t) \cos \omega t - \frac{1}{2} \mu U \right) \left( \theta_r Z_o(t) + \bar{\theta}_r^T \bar{Z}(t) + \bar{\theta}^T \bar{Z}(t) \right) - \frac{1}{4} \mu U \left( \theta_r Z_o(t) + \bar{\theta}_r^T \bar{Z}(t) + \bar{\theta}^T \bar{Z}(t) \right) \right], \quad (2)$$

где  $\bar{\theta}_r^T$  – вектор-строка, размера  $n$ , информационных параметров элементов сигнала, следующих за основным элементом;  $\bar{\theta}^T$  – вектор-строка, размера  $n$ , информационных параметров элементов сигнала, предшествующих основному элементу;  $\bar{Z}(t), \bar{Z}(t)$  – векторы столбцы, размера  $n$ , элементов сигнала, следующих за основным элементом и предшествующих ему.

Решая уравнение правдоподобия относительно  $\bar{\theta}_r$ :

$$\frac{\partial}{\partial \bar{\theta}_r} L(Z'(t) | \theta_r, \bar{\theta}_r) = 0,$$

находим оценку для информационных параметров элементов сигнала, следующих за основным элементом

$$\bar{\theta}_r = \frac{2}{\mu U} X^{-1} \bar{X}' - \theta_r X^{-1} \bar{X}_0 - X^{-1} \dot{X} \bar{\theta}, \quad (3)$$

где  $\bar{X}'$  – вектор-столбец, размера  $n$ , величин:

$$x'_p = \int_{-nT}^{nT} \left( Z'(t) \cos \omega t - \frac{1}{2} \mu U \right) Z_p(t) dt, \quad p = 1, \dots, n;$$

$\bar{X}_0$  – вектор-столбец, размера  $n$ , величин:

$$x_{p0} = \int_{-nT}^{nT} Z_p(t) Z_p(t) dt, \quad p = 1, \dots, n;$$

$X, \dot{X}$  – матрицы, размера  $n \times n$ , величин:

$$x_{kp} = \int_{-nT}^{nT} Z_k(t) Z_p(t) dt, \quad p = 1, \dots, n, \quad k = 1, \dots, n, \quad k = -1, \dots, -n.$$

В соответствии с обобщенным критерием максимального отношения правдоподобия имеем:

$$\ln L(Z'(t) | \theta_l, \bar{\theta}_l) > \ln L(Z'(t) | \theta_r, \bar{\theta}_r). \quad (4)$$

Подставляя в выражение (4) оценку (3) с учетом (2) при  $\theta_l = +1$  и  $\theta_l = -1$ , после несложных преобразований получаем правило принятия решения [4]:

$$\eta = x'_0 - \bar{X}_0^T X^{-1} \bar{X}' - \frac{\mu U}{2} \left( \bar{X}_0^T - \bar{X}_0^T X^{-1} \dot{X} \right) \bar{\theta} \stackrel{>}{<} 0, \quad (5)$$

где

$$x'_0 = \int_{-nT}^{nT} \left( Z'(t) \cos \omega t - \frac{1}{2} \mu U \right) Z_0(t) dt;$$

$\bar{X}_0^T$  – вектор-столбец, размера  $n$ , величин:

$$x_{p0} = \int_{-nT}^{nT} Z_p(t) Z_p(t) dt, \quad p = -n, \dots, -1.$$

Неравенство (5) можно переписать в следующем виде:

$$\eta = x'_o - \sum_{k=1}^n c_k x'_k - \frac{\mu U}{2} \sum_{k=-1}^{-n} b_k \dot{\theta}_k \begin{matrix} > 0, \\ < 0, \end{matrix} \quad (6)$$

где коэффициенты  $\{c_k\}$  являются элементами вектора-строки  $\vec{c}^T$ , размера  $n$ ,

$$\vec{c}^T = \vec{X}_o^T X^{-1}, \quad (7)$$

а коэффициенты  $\{b_k\}$  – элементы вектора-строки  $\vec{b}^T$ , размера  $n$ ,

$$\vec{b}^T = \vec{X}_o^T - \vec{X}_o^T X^{-1} \dot{X}. \quad (8)$$

Правило (6) с учетом (7), (8) можно использовать в так называемых схемах с обратной связью по решению [3]. Схема представляет собой комбинацию линейного трансверсального фильтра с коэффициентами  $\{c_k\}$  и нелинейного выравнителя с коэффициентами  $\{b_k\}$  в цепи обратной связи. Блок-схема, реализующая данный алгоритм, изображена на рис. 1. На выходе принимаются решения о принятых информационных параметрах  $\{\dot{\theta}_k\}$  и полученные решения через цепь обратной связи с соответствующими коэффициентами  $\{b_k\}$  вычитаются из выходного сигнала.

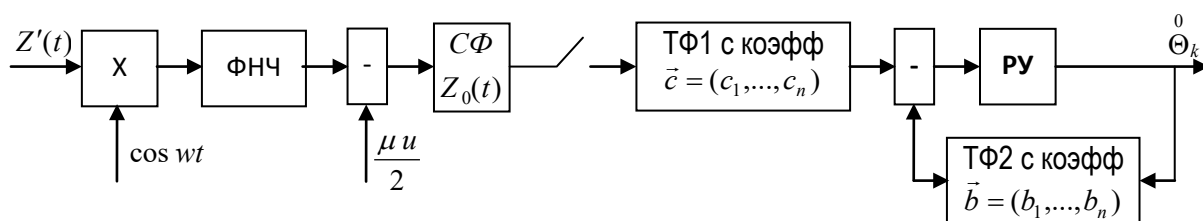


Рис. 1. Структурная схема устройства приема, использующего обратную связь по решению

Из выражений (7), (8) следует, что если известны значения автокорреляционной функции элементарной посылки на интервале  $-(n-1)T \div 2nT$ , то есть известны матрицы  $X$ ,  $\dot{X}$  и векторы  $\vec{X}_o$ ,  $\vec{X}_c$ , то для вычисления вектора весовых коэффициентов  $\vec{c}$  требуется лишь обращение матрицы  $X$ , размера  $n \times n$  и умножение обратной матрицы  $X^{-1}$  на вектор  $\vec{X}_o$ , размера  $n$ . Для вычисления вектора весовых коэффициентов  $\vec{b}$  требуется умножение матрицы  $\dot{X}$ , размера  $n \times n$ , на вектор  $\vec{X}_c$ , размера  $n$ , и сложение полученного вектора с вектором  $\vec{X}_o$ .

Для схемы с обратной связью по решению, синтезированной на базе СКО-критерия, векторы весовых коэффициентов  $\vec{c}$  и  $\vec{b}$  определяются следующими выражениями [3]:

$$\vec{c} = (A - BB^T)^{-1} \vec{V},$$

$$\vec{b} = B^T \vec{c},$$

где  $A = \overline{X' X'^T}$  – матрица размера  $(n+1) \times (n+1)$ ;  $B = \overline{\vec{X}' \vec{\theta}^T}$  – матрица размера  $(n+1) \times n$ ;  $\vec{V} = \overline{\theta_r \vec{X}'}$  – вектор размера  $n+1$ .

Для вычисления каждого элемента матрицы  $A$  требуется такое же количество операций и знание спектральной плотности шума, как и в случае без обратной связи. Объем вычислений, необходимый для определения всех элементов матрицы  $A$ , соизмерим с объемом вычислений, необходимых для обращения матрицы. Далее для вычисления вектора  $\vec{c}$  нужно произвести перемножение матриц  $BB^T$ , вычитание матрицы  $BB^T$ , размера  $(n+1) \times (n+1)$  из матрицы  $A$  того же размера, обращение полученной

матрицы и умножение обратной матрицы на вектор  $\vec{V}$ . Для вычисления вектора  $\vec{b}$  необходимо произвести умножение матрицы  $B^T$  на вектор  $\vec{c}$ .

На рис. 2 приведены графики зависимости отношения числа элементарных операций умножения и сложения  $N_{\text{СКО}}$ , необходимых для расчета весовых коэффициентов схемы рис. 1 по СКО-критерию к числу аналогичных операций  $N_{\text{ОМП}}$  для модифицированного обобщенного критерия максимального правдоподобия от числа отводов  $n$  в ТФ1 и ТФ2, при различных значениях числа учитываемых «мешающих» элементов сигнала  $m$ .

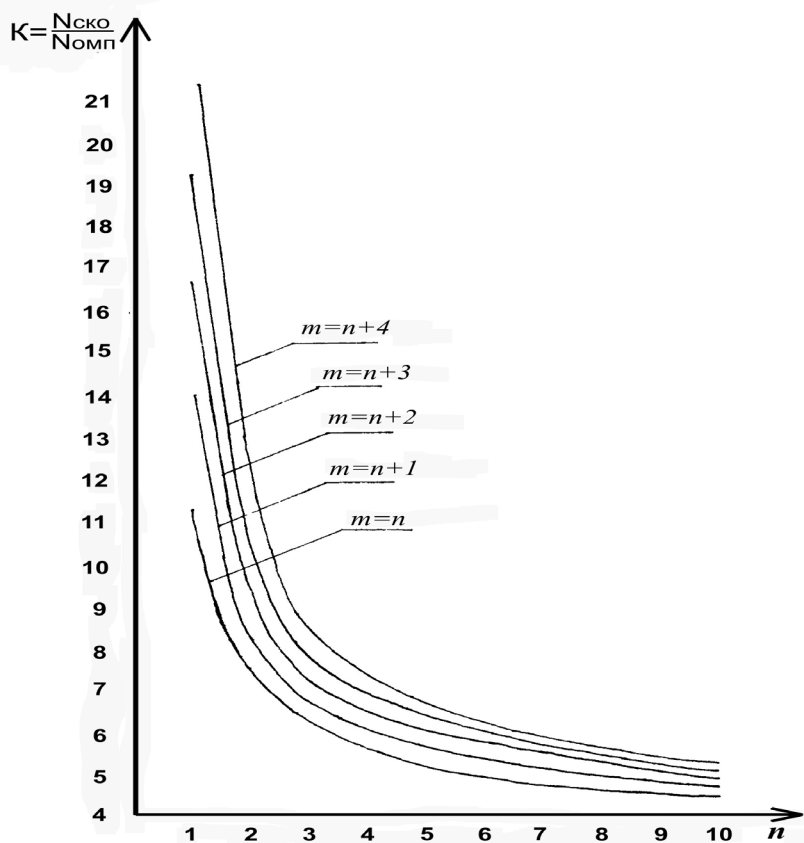


Рис. 2. График зависимости отношения числа элементарных операций для критериев СКО и ОМП от числа отводов ТФ

Из рассмотрения графиков следует, что для простейшего случая  $n=1$  и при учете  $m=5$  «мешающих» элементов сигнала слева и справа от основного элемента, создающих межсимвольные искажения, число элементарных операций умножения и сложения  $N_{\text{СКО}}$  более чем в 20 раз превосходит  $N_{\text{ОМП}}$ . При  $m=n=1$  отношение снижается до 11, а при достаточно больших значениях  $n$ ,  $m>10$  оно стремится к 4.

Проведенные вычисления показывают, что как для схемы без обратной связи, так и для схемы с обратной связью по решению при небольшом числе отводов фильтров  $n$ , что имеет место в простых схемах, расчет весовых коэффициентов при использовании модифицированного обобщенного правила максимального правдоподобия выполняется с существенно меньшими вычислительными затратами по сравнению с СКО критерием. Это обстоятельство позволяет значительно уменьшить время адаптации приемного устройства и производить прием сигналов в реальном масштабе времени.

#### Библиографический список

1. Выболдин Ю. К., Малинин С. И. Разработка подоптимальных алгоритмов приема сигналов при наличии межсимвольных искажений // Компоненты и технологии. 2012. № 6.
2. Финк Л. М. Теория передачи дискретных сообщений. М.: Сов. радио, 1970.
3. Бельфиоре К. А., Парк Д. Х. Компенсация посредством решаемой обратной связи // ТИИЭР. 1979. Т. 67. № 8.

УДК 621.317.31

**И. В. Мажник**

магистрант кафедры медицинской радиоэлектроники

**В. Ф. Михайлов** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**АДАПТИВНАЯ КОРРЕКЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ OFDM-СИГНАЛОВ**

Представлен алгоритм по расчету предкоррекции нелинейных искажений. Выполненные исследования позволяют полагать, что предлагаемый алгоритм является эффективным и экономичным способом цифровой коррекции нелинейности передающего тракта и может быть достаточно легко реализован средствами микросхемотехники.

**Введение**

Повышение помехоустойчивости и эффективности передачи OFDM-сигналов занимает одно из ведущих положений в технике передачи информации. Синтез систем передачи и обработки информации с адаптивным предискажением и корректированием сигналов решается оптимизацией и корректировкой формы сигнала. При этом представляется перспективным компенсировать нелинейность динамической характеристики в части, стоящей перед нелинейным трактом. Для обеспечения такой компенсации сигнал перед поступлением на вход нелинейного тракта должен быть обработан в устройстве, имеющем динамическую характеристику, обратную характеристике нелинейного тракта. Методы цифровой обработки сигналов позволяют с высокой эффективностью реализовывать способы, в которых нелинейность тракта компенсируется в предшествующей ему части.

**Математическая модель предкоррекции**

На рис. 1 тестовый OFDM-сигнал поступает на нелинейный тракт, далее с помощью быстрого преобразования Фурье находим коэффициенты искажения амплитуд и фаз. Затем методом последовательных приближений корректируем сигнал:

$$\hat{A}_z(n) = \frac{2\hat{A}_z(n-1)}{1+|K_n|} \exp(j \operatorname{atan}2(\operatorname{imag}(K_n), \operatorname{real}(K_n))),$$

где  $K_n = \frac{\hat{A}_y}{\hat{A}_x}$  – отношение искаженных амплитуд и фаз к исходным;  $\hat{A}_z$  – откорректированные амплитуды и фазы;  $n$  – шаг приближения. На первом шаге  $\hat{A}_z(n-1) = \hat{A}_x$ .

Если время предкоррекции  $t_n$  меньше длительности сигнала  $t_c$ , повторяем действия для улучшения результата, если нет, – сигнал уходит к передатчику.

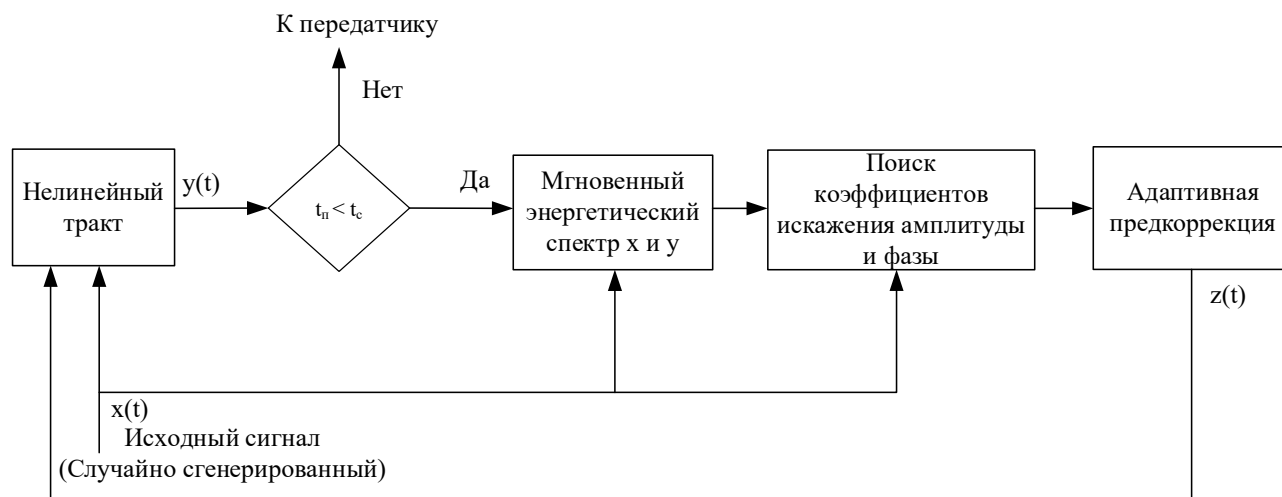


Рис. 1. Алгоритм предкоррекции OFDM-сигнала



Большинство методов предкоррекции можно разделить на три категории: нейронная сеть [2], таблица поиска и математическая модель. Нейронные сети обычно чувствительны к данным обучения и из-за их сложности они не используются широко в методах компенсации, которые требуют компенсации динамических эффектов. Таблицы поиска находятся на ранних стадиях исследований. Таблицы поиска имеют большое количество записей, что делает их громоздкими и усиливает требования к вычислительным ресурсам [3]. В работе для предкоррекции была применена математическая модель.

В связи с тем, что OFDM-сигналы весьма чувствительны к нелинейности радиопередающего тракта, которые приводят к появлению межканальных помех и паразитным искажениям сигналов на выходе передатчика, возникает необходимость адаптивной предкоррекции OFDM-сигнала, учитывая:

- минимальную длительность переходного процесса в плане достижения требуемого уровня компенсации искажений;
- адаптивную подстройку системы к возможным изменениям параметров нелинейного тракта;
- что алгоритм предкоррекции должен удовлетворять сигналам с фазовой модуляцией высокой позиционности.

Для решения задачи адаптивной коррекции межканальных искажений, возникающих в нелинейных трактах систем радиосвязи при передаче OFDM-сигналов, будем считать, что модель нелинейности заранее известна и имеет вид [1]:

$$y = x + ax^3,$$

где  $a$  – коэффициент нелинейности. Сигнал  $x$  на входе нелинейного тракта и  $y$  на выходе.

Исходные данные для расчета предискажения OFDM-сигнала с относительной фазовой модуляцией длительностью 16 мс, содержащий 48 поднесущих, которые расположены через 62,5 Гц. На рис. 2–5 представлены результаты расчета математической модели.

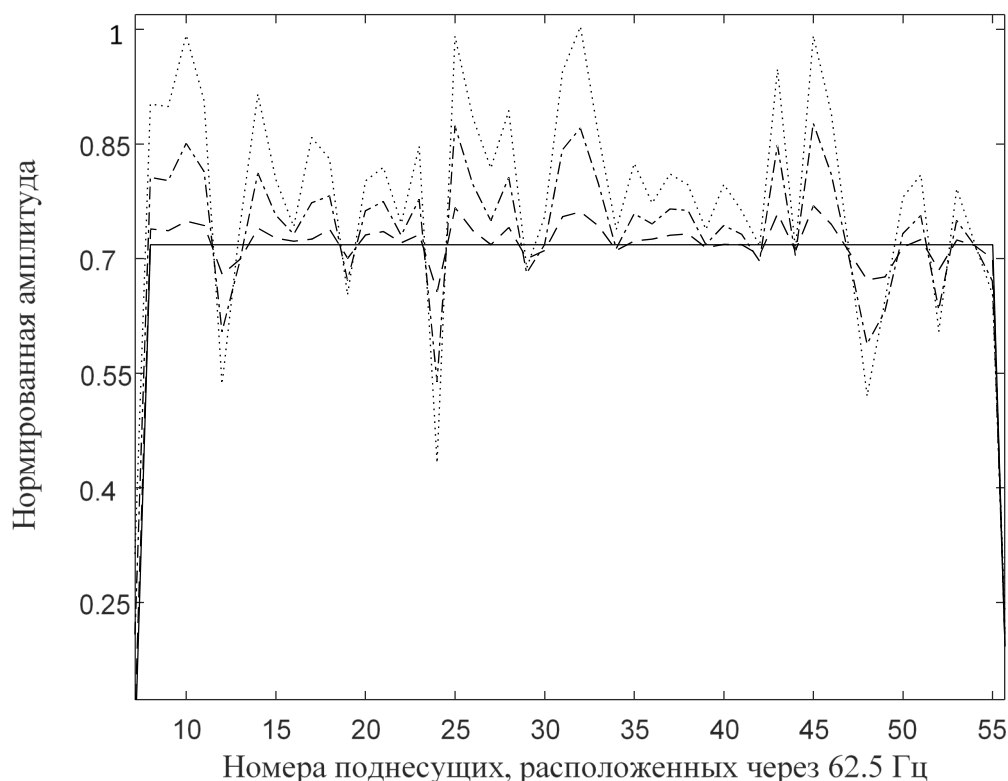


Рис. 2. Спектр OFDM-сигнала (—) – спектр исходного OFDM-сигнала, (---) – спектр при искажении с коэффициентом нелинейности  $a = -30$  дБ, (- · - · -) – спектр при искажении с коэффициентом нелинейности  $a = -25$  дБ, (····) – спектр при искажении с коэффициентом нелинейности  $a = -23$  дБ

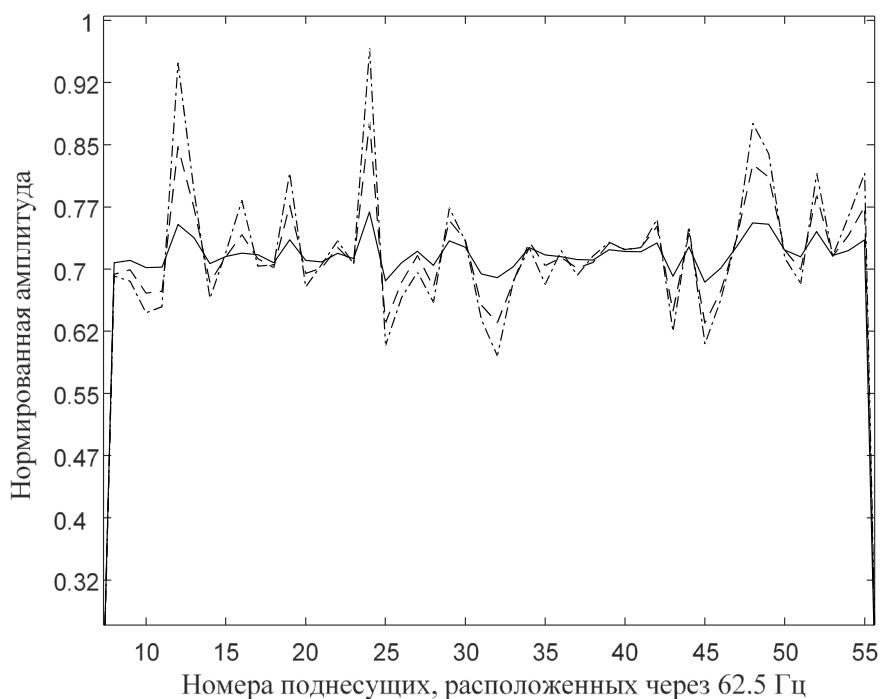


Рис. 3. Спектр предискаженного OFDM-сигнала после трех циклов (—) – спектр при искажении с коэффициентом нелинейности  $a = -30$  дБ, (---) – спектр при искажении с коэффициентом нелинейности  $a = -25$  дБ, (- · - · -) – спектр при искажении с коэффициентом нелинейности  $a = -23$  дБ

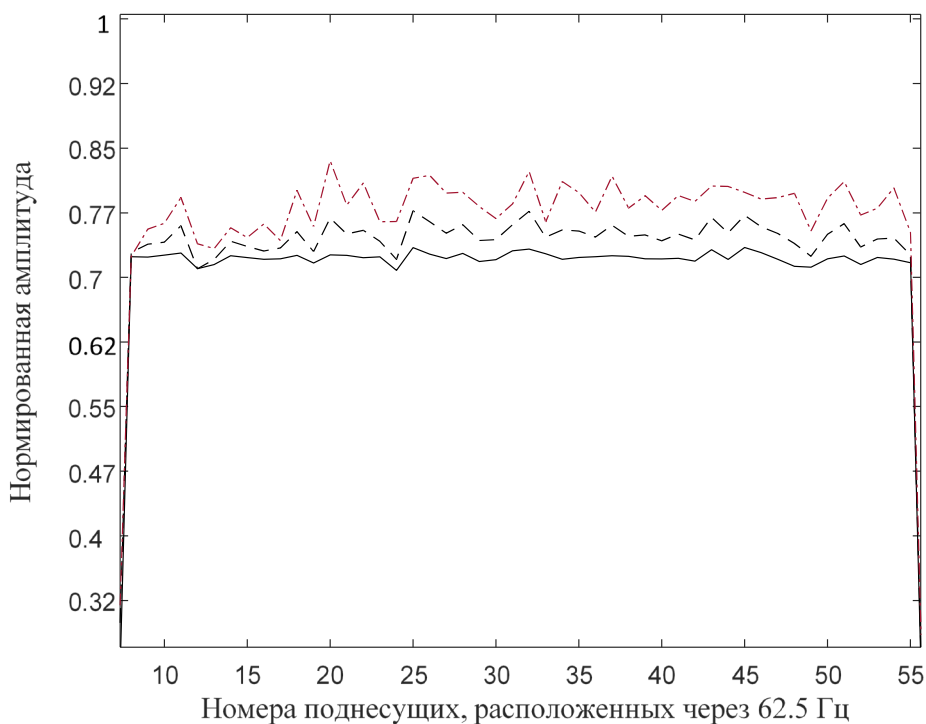


Рис. 4. Спектр откорректированного OFDM-сигнала после трех циклов (—) – спектр при искажении с коэффициентом нелинейности  $a = -30$  дБ, (---) – спектр при искажении с коэффициентом нелинейности  $a = -25$  дБ, (- · - · -) – спектр при искажении с коэффициентом нелинейности  $a = -23$  дБ

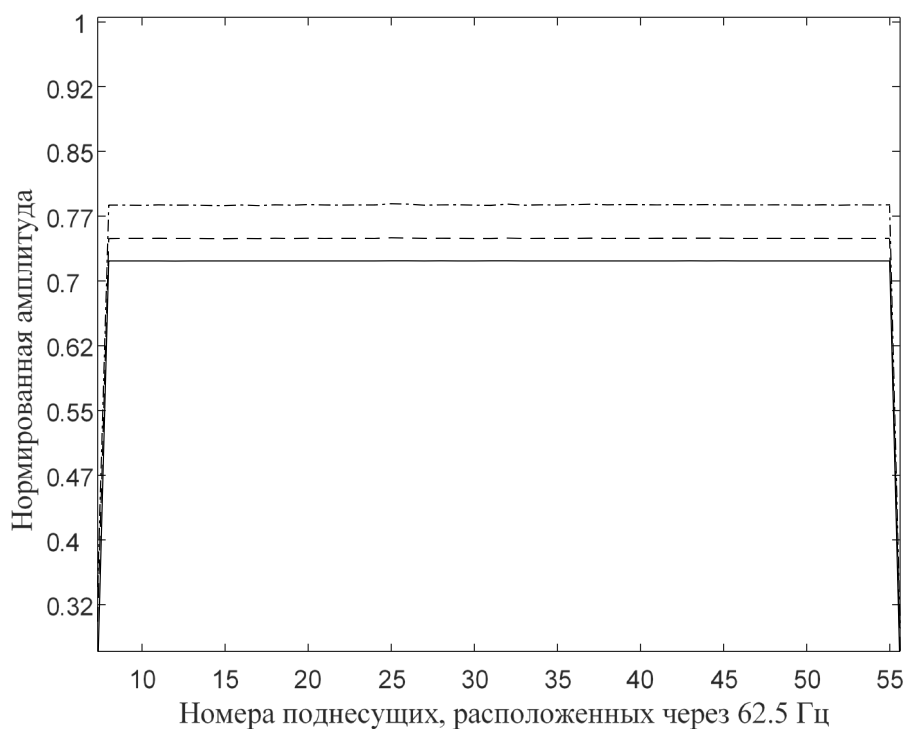


Рис. 5. Спектр откорректированного OFDM-сигнала после десяти циклов (—) – спектр при искажении с коэффициентом нелинейности  $a = -30$  дБ, (---) – спектр при искажении с коэффициентом нелинейности  $a = -25$  дБ, (- · - · -) – спектр при искажении с коэффициентом нелинейности  $a = -23$  дБ

### Заключение

Проведенный вычислительный эксперимент показал, что среднеквадратичное отклонение амплитуд и фаз, вызванный нелинейностью передающего тракта, применяя адаптивный алгоритм предкоррекции – снижается в 3–4 раза после трех циклов. При невысоких вычислительных затратах алгоритм позволяет с удовлетворительной точностью провести предкоррекцию. Из анализа расчетов следует, что математическая модель обеспечивает прохождение OFDM-сигнала через нелинейный тракт с наименьшим искажением передаваемой информации.

### Библиографический список

1. Егоров В. В. Адаптивная коррекция нелинейных искажений при синтезе и обработке OFDM-сигналов // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. 2016. Т. 6. № 2. С. 308–311.
2. Yang J., Gao F., Yiang J. Neural Network Predistortion Technique for Nonlinear RF Amplifiers // International Conference on Computer Science and Software Engineering. 2008. N 4. P. 769–772.
3. Muhonen K., Kavehrad M., Krishnamoorthy R. Look-up table techniques for adaptive digital predistortion: A development and comparison // Transactions on Vehicular Technology. 2000. N 49. P. 1995–2002.

УДК 621.396.42

**Г. А. Пайгусова**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**А. Н. Мингалев** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### АДАПТИВНЫЙ ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СИГНАЛЬНО-КОДОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ ПО НЕСТАЦИОНАРНЫМ КАНАЛАМ СВЯЗИ

Рассмотрен классический подход к построению и функционированию адаптивных систем передачи данных по нестационарным каналам связи, при котором применяется пошаговый алгоритм функционирования адаптации. При данном подходе поиск оптимальных параметров системы занимает довольно длительное время, что негативно сказывается на процесс передачи данных. Разработан способ одномоментного выбора оптимальных параметров системы передачи данных, позволяющий достичь максимально возможную скорость передачи данных и обеспечить заданный высокий уровень достоверности принимаемых сообщений.

Тенденции развития современной техники заключаются в постоянном увеличении объема передаваемой информации, что приводит к повышению требований к скорости передачи данных. Развитие математического аппарата привело к существенным достижениям в области сжатия информации и ее криптографической защиты и, как следствие, к их массовому применению. При этом современные алгоритмы сжатия и шифрования информации являются крайне чувствительными к наличию ошибок в обрабатываемых данных, возникших в процессе передачи сообщений по каналам связи. В результате, для систем передачи данных повышаются также требования к достоверности принимаемых сообщений. Поэтому при проектировании современных систем телекоммуникаций крайне актуальной с практической точки зрения задачей является задача достижения максимально возможной скорости передачи данных при условии обеспечения высокого заданного уровня достоверности принимаемых сообщений.

На сегодняшний день практически вся информация передается исключительно в цифровом виде, поэтому основными критериями достоверности сообщения являются вероятность ошибки на бит (BER – bit error rate)  $p_{ош/бит}$  и вероятность ошибки на блок данных (BLER – block error rate)  $p_{ош/блок}$ . Значительная часть современных алгоритмов сжатия и шифрования информации предполагает блочную обработку данных, что привело к тому, что на сегодняшний день большая часть систем передачи данных осуществляют передачу именно блоков данных, и основным критерием достоверности сообщения для них является вероятность ошибки на блок BLER. В данной статье рассматриваются именно такие системы. Необходимо отметить, что в случае блочной обработки данных вероятности битовой и блочной ошибки принято фиксировать на различных этапах обработки данных. BER определяется на выходе демодулятора, а BLER – на выходе декодера помехоустойчивого кода. В статье используется именно данный устоявшийся на практике подход к определению битовой и блочной ошибок.

Любая система передачи данных характеризуется набором параметров сигнальной конструкции и параметров кода. В качестве набора параметров сигнальной конструкции могут рассматриваться вид модуляции, параметры (кратность) модуляции, длительность элементарного сигнала, длительность защитного интервала, количество поднесущих и т. д. Представим набор параметров сигнальной конструкции в векторном виде:

$$\bar{y} = (y_1, y_2, \dots, y_n),$$

где  $y_k$  – один из параметров сигнала;  $k \in [1, n]$ ,  $n$  – количество предусмотренных в системе параметров сигнальной конструкции.

Каждый из параметров сигнальной конструкции  $y_k$  может принимать одно из множества допустимых значений. Совокупность всех возможных комбинаций значений отдельных параметров определяет все возможные состояния сигнальной части системы:

$$Y = \{\bar{y}_i\},$$

где  $\bar{y}_i$  – одна из возможных комбинаций значений параметров сигнальной конструкции,  $i \in [1, N]$ ,  $N$  – количество возможных комбинаций значений параметров сигнальной конструкции.

Каждая комбинация параметров сигнальной конструкции  $\bar{y}_i$  однозначно определяет техническую скорость передачи данных  $V_{техн.}$ . Таким образом, каждому состоянию системы однозначно соответствует конкретное значение технической скорости передачи. Необходимо отметить, что обратное утверждение в общем случае неверно. В системе может быть предусмотрено несколько различных состояний, определяемых различными наборами параметров сигнала, которые соответствуют одной и той же технической скорости передачи данных. Такая избыточность оправдана тем, что эти состояния системы могут отличаться по величине битовой ошибки BER в различных сигнально-помеховых условиях. Например, пусть состояния системы  $\bar{y}_i$  и  $\bar{y}_j$  при прочих равных параметрах отличаются только тем, что в состоянии  $\bar{y}_i$  предусмотрено использование 24 поднесущих многочастотного сигнала с 4-позиционной модуляцией на каждой из них, а в состоянии  $\bar{y}_j$  – 48 поднесущих с 2-позиционной модуляцией. Тогда при одной и той же мощности помехи в рабочей полосе состояние  $\bar{y}_i$  будет обеспечивать меньшую BER при работе в условиях доплеровского сдвига частот, а также сопутствующего ему сжатию или расширению спектра сигнала за счет наличия в спектре свободных поднесущих. А состояние  $\bar{y}_j$  будет обеспечивать меньшую BER при работе в условиях наличия мощной узкополосной помехи на одной или нескольких поднесущих.

В адаптивной системе передачи данных целесообразно предусмотреть возможность использования различных помехоустойчивых кодов, отличающихся своей избыточностью и исправляющей способностью. Это позволит системе устойчиво функционировать независимо от текущей вероятности ошибки на бит BER. Тогда появляется возможность из совокупности имеющихся в системе помехоустойчивых кодов выбирать код, который при обработке демодулированных бит с текущей BER сможет обеспечить требуемый уровень вероятности блочной ошибки BLER. Если в системе присутствует несколько таких кодов, то выбирается тот, который обладает меньшей избыточностью. Это позволяет достичь большей информационной скорости  $V_{инф.}$ , так как она однозначно определяется совокупностью технической скорости передачи и избыточностью помехоустойчивого кода:

$$V_{инф.} = V_{техн.} \cdot R,$$

где  $R = k/n$  – кодовая скорость,  $k$  и  $n$  – количество бит на входе и выходе кодера;  $1/R$  – избыточность помехоустойчивого кода.

В классическом подходе к функционированию адаптивных систем передачи данных по нестационарным каналам связи процесс адаптации состоит в том, что фиксируется текущее состояние системы  $\bar{y}_i$ , определяющее техническую скорость передачи. Затем оценивается текущая вероятность битовой ошибки BER и определяется помехоустойчивый код, обеспечивающий для данной BER требуемый уровень BLER и при этом обладающий наименьшей избыточностью. Если исправляющая способность найденного кода существенно превышает текущую BER, то выбирается другое состояние сигнальной конструкции  $\bar{y}_k$ , соответствующее большей технической скорости. На передающую сторону сообщается выбранное состояние сигнальной конструкции. При этом, как правило, первый блок данных на новой скорости передается с использованием помехоустойчивого кода с наибольшей избыточностью. По результатам анализа качества приема данного блока производится адаптация кодовой конструкции. Если же кодов, обеспечивающих заданный уровень BLER, в системе нет, тогда происходит понижение технической скорости.

Основным недостатком такого подхода построению адаптивных систем является пошаговый алгоритм функционирования адаптации. В этом случае при первоначальном вхождении в связь, при переходе на новую частоту передачи и при резком изменении сигнально-помеховых условий на используемой частоте процесс поиска оптимальных параметров системы будет достаточно длительным. В это время система будет либо работать с меньшей информационной скоростью передачи, чем потенциально достижимая, либо не будет обеспечивать заданный уровень BLER. И то, и другое, с учетом необходимости переспроса искаженных блоков данных, приводит к снижению информационной скорости передачи. К тому же, сигнально-помеховые условия могут изменяться довольно быстро, в этом

случае длительный процесс адаптации приведет к тому, что система никогда не будет находиться в оптимальном состоянии. Вторым существенным недостатком такого подхода является то, что он не позволяет делать обоснованный выбор оптимального состояния сигнальной конструкции в том случае, когда несколько различных состояний соответствуют одной и той же технической скорости передачи.

В данной работе предлагается способ одномоментного выбора оптимальных параметров системы передачи данных, то есть совокупности состояния сигнальной конструкции системы, а также вида и/или параметров помехоустойчивого кода. В этом способе по результатам анализа одного блока данных оптимальная комбинация будет определяться сразу, а не после нескольких шагов адаптации.

Пусть в системе предусмотрено  $M$  различных помехоустойчивых кодов (для простоты изложения будем считать различными кодами, в том числе и один и тот же помехоустойчивый код с разными параметрами). Тогда по аналогии с сигнальной конструкцией определим состояние кодовой конструкции как вид используемого кода. Совокупность всех возможных состояний кодовой конструкции:

$$X = \{x_j\},$$

где  $x_j$  – код, предусмотренный в системе передачи данных,  $j \in [1, M]$ .

Тогда общее состояние системы передачи данных можно определить как комбинацию состояний сигнальной и кодовой конструкций:

$$s_k = (\bar{y}_i, x_j), k \in [1, N \cdot M].$$

Каждое из таких состояний определяет уже информационную скорость системы передачи данных, так как включает в себя и сигнальную, и кодовую конструкции.

Совокупность всех возможных состояний системы:

$$S = \{s_j\} = X \times Y.$$

Напомним, что целевой функцией системы является достижение максимальной информационной скорости при условии достижения заданного уровня достоверности. С точки зрения целевой функции некоторые из возможных пар  $(\bar{y}_i, x_j)$  будут при любых возможных условиях заведомо хуже других пар. Такие пары целесообразно исключить из рассмотрения, тогда  $S \in X \times Y$ . Неисключение таких пар не приведет к нарушению работы алгоритма, результаты его работы останутся теми же, однако будут производиться лишние вычисления.

Назовем состояние системы  $s'_k = (\bar{y}_i, x_j)$  достижимым в данный момент времени, если вероятность ошибки на бит BER, возникающая на выходе демодулятора сигнальной конструкции  $\bar{y}_i$ , такова, что используемый код  $x_j$  способен обеспечить требуемый уровень вероятности ошибки на блок BLER.

В этом случае процесс адаптации будет заключаться в определении совокупности достижимых в данный момент времени состояний системы  $\{s'_k\}$  и последующем выборе среди них оптимального состояния  $s_{opt}$ , которое обеспечивает максимальную достижимую скорость передачи. При таком подходе адаптация, то есть изменение параметров системы с целью достижения максимально возможной в текущих сигнально-помеховых условиях информационной скорости всегда будет производиться за один шаг.

Для обеспечения возможности функционирования представленного способа адаптации системы передачи данных необходимо наличие данных о вероятности ошибки на бит BER для каждого из возможных состояний сигнальной конструкции  $\bar{y}_i$ . При этом оценку BER для всей совокупности состояний  $\{\bar{y}_i\}$  необходимо производить по результатам анализа одного блока данных, переданных с одними конкретными параметрами сигнальной конструкции  $\bar{y}_i$ . Ситуация осложняется тем, что такая оценка должна производиться не по тестовому, а по информационному блоку данных.

В работе [1] показан оригинальный способ определения по информационному блоку данных, переданному с использованием относительной фазовой модуляции, вероятности ошибки на бит для сигнальной конструкции с кратностью относительной фазовой модуляции, отличающейся от той, которая использовалась для передачи анализируемого блока данных. Однако этот способ позволяет эффективно оценивать вероятность только в том случае, когда оценка производится для кратностей модуля-

ции более высокого порядка, чем использованная для передачи. Иначе говоря, такой способ может быть применен в том случае, когда появляется возможность использования более высоких скоростей. Для оценки качества более низкоскоростных режимов он непригоден. Поиск и разработка указанных способов является следующим этапом развития данной работы.

В заключение необходимо отметить, что предложенный способ адаптации системы передачи данных при работе в нестационарных каналах связи является эффективным и позволяет за один шаг определять оптимальные в текущих условиях параметры системы. Кроме того, он позволяет объективно сравнивать по заданному критерию эффективности различные сигнальные конструкции, обеспечивающие одинаковую техническую скорость.

#### **Библиографический список**

1. *Егоров В. В., Тимофеев А. Е., Щеглова Е. Ф.* Оценка показателей достоверности передачи дискретной информации в нестационарных каналах связи // Сб. докладов всеросс. науч. конф. «Управление и информационные технологии». СПб., 2005. Т. 2. С. 56–59.

УДК 616.126.421

**Э. С. Пучкова**

студентка кафедры медицинской радиоэлектроники

**П. И. Бегун** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ МИТРАЛЬНОГО КЛАПАНА СЕРДЦА ПРИ ДИЛАТАЦИИ

В программе SolidWorks 2016 построена компьютерная модель стенозированного митрального клапана. При помощи программы SolidWorks Simulation проведено биомеханическое исследование состояния структур митрального клапана. Получены зависимости величины необходимого давления  $p$  для разрушения комиссур от модуля упругости, высоты, толщины створок и комиссур, а также от радиуса фиброзного кольца.

### Актуальность

Сердечно-клапанные патологии занимают одно из важных мест в структуре сердечно-сосудистых заболеваний. Среди них первое место занимает ишемическая болезнь сердца, второе – артериальная гипертензия, третье место – стеноз клапанов [1]. Разработка и внедрение методики предоперационного прогнозирования состояния структур в митральном клапане после коррекции во врачебную практику для исключения неблагоприятных и нерезультативных воздействий является актуальной задачей.

Целью работы является проведение биомеханического исследования состояния структур митрального клапана при проведении баллонной вальвулотомии.

### Материалы и методы

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: 1) проведен анализ геометрических параметров и механических свойств структур митрального клапана по литературным источникам; 2) построена компьютерная модель стенозированного митрального клапана; 3) проведен биомеханический анализ состояния структур митрального клапанов при проведении чрескожной баллонной митральной вальвулотомии.

При построении модели в [2] стенозированный клапан представлен осесимметричным усеченным конусом. В проведенной работе учтена его неосесимметричность (рис. 1) и введены следующие допущения: 1) материалы структур митрального клапана обладают условием сплошности, однородности, изотропности; 2) начальные напряжения в структурах отсутствуют; 3) фиброзное кольцо жестко связано с атриовентрикулярной пластиной; 4) давление равномерно распределено по створкам митрального клапана; 5) материалы структур клапана идеально упруги; 6) допускаемые напряжения комиссур  $[\sigma]_к = 1,83$  МПа.

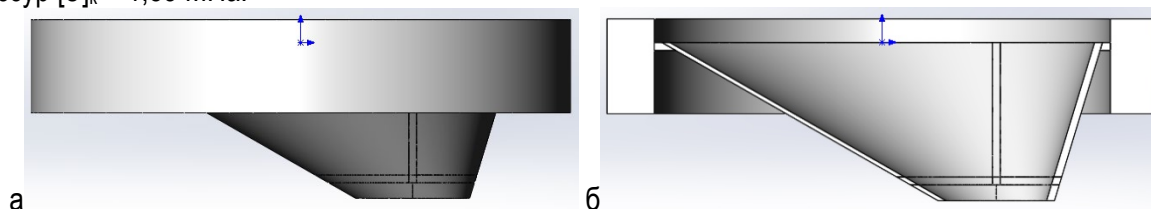


Рис. 1. Компьютерная модель стенозированного митрального клапана (а), в разрезе спереди (б)

Для вычисления напряженно-деформированного состояния в дилатированных структурах такой сложной формы, как структуры митрального клапана, целесообразно использовать численный метод – метод конечных элементов. При выборе числа конечных элементов необходимо учитывать, что, с одной стороны, их количество связано с громоздкостью модели и вычислительными возможностями компьютера, а с другой – с точностью вычислений.



На рис. 2 представлена зависимость расхождения значений напряжений в дилатируемой створке митрального клапана от заданного числа конечных элементов.

Число введенных конечных элементов до 50 тысяч существенно влияет на результат. Дальнейшее увеличение числа конечных элементов на результатах вычислений сказывается незначительно. Поэтому для достижения необходимой точности при минимальных затратах времени на вычисления напряжений и перемещений в структурах митрального клапана целесообразно задавать разбиение на 100 тысяч конечных элементов.

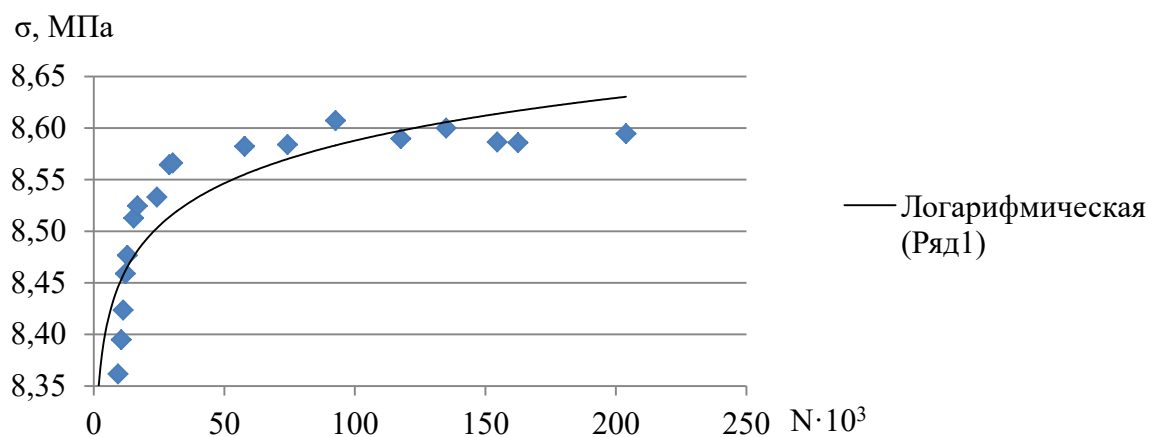


Рис. 2. Зависимость экстремального значения напряжения в структурах митрального клапана от числа конечных элементов

### Результаты

Размеры исходного (до вариации параметров) митрального клапана приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры митрального клапана (до вариации)

Параметр	Обозначение	Величина
Внутренний радиус входного отверстия митрального клапана, мм	$R_{ме}$	27
Внутренний радиус фиброзного кольца, мм	$R_{фкв}$	28
Внешний радиус фиброзной пластины, мм	$R_{плн}$	35
Высота створок клапана, мм	$H_c$	20
Высота комиссур, мм	$H_k$	18
Толщина фиброзного кольца, мм	$h_{фк}$	1
Ширина фиброзного кольца, мм	$t_{фк}$	1
Толщина створок, мм	$t_n, t_z$	1
Ширина комиссур, мм	$h_k$	1
Осевое смещение, мм	$l$	14,5
Модуль нормальной упругости створок, МПа	$E_c$	20
Модуль нормальной упругости комиссур, МПа	$E_k$	30
Модуль нормальной упругости фиброзного кольца, МПа	$E_{фк}$	30
Модуль нормальной упругости фиброзной пластины, МПа	$E_{пл}$	40
Коэффициенты Пуассона створок и комиссур, фиброзного кольца	$\nu_c, \nu_k, \nu_{фк}$	0,4
Коэффициенты Пуассона фиброзной пластины	$\nu_{пл}$	0,45

На рисунках приведены результаты проведенных исследований влияния модулей упругости створок и комиссур (рис. 3, а, б), их высоты и толщины (рис. 4, а, б) и радиуса фиброзного кольца (рис. 5) на величину необходимого давления  $p$  для разрушения комиссур.

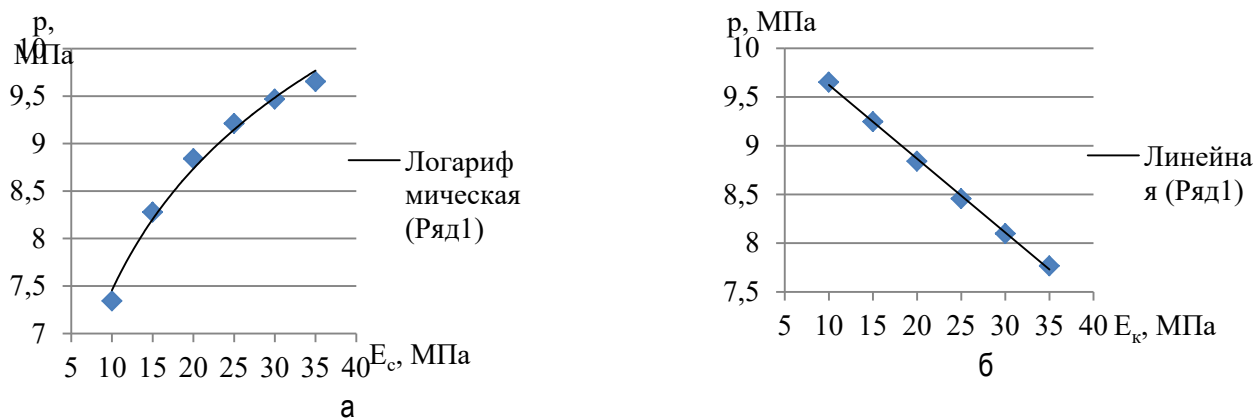


Рис. 3. Влияние модулей упругости створок (а) и комиссур (б) на величину необходимого давления  $p$  для разрушения комиссур

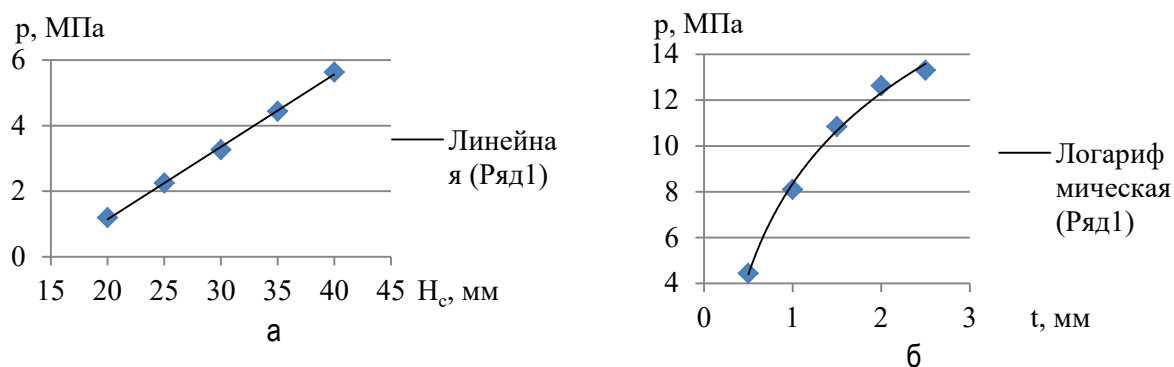


Рис. 4. Влияние высоты (а) и толщины (б) створок и комиссур на величину необходимого давления  $p$  для разрушения комиссур

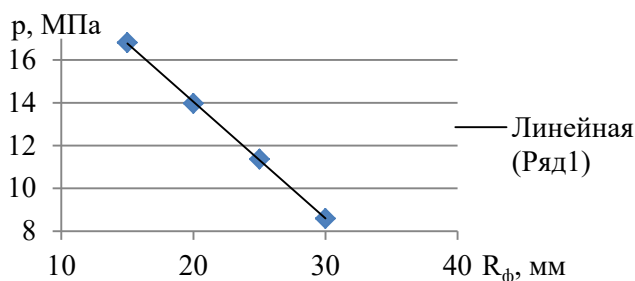


Рис. 5. Влияние радиуса фиброзного кольца на величину необходимого давления  $p$  для разрушения комиссур

## Выводы

Надежность применения компьютерных моделей для исследования перемещений и напряжений, возникающих при хирургических операциях в дилатируемых структурах митрального клапана, подтверждена сопоставлением результатов вычислений с клиническими данными.

При дилатации митрального клапана со створками, имеющими большую высоту  $H_c$ , толщину и модуль нормальной упругости створок величина необходимого давления  $p$  для разрушения комиссур увеличивается. С увеличением модуля нормальной упругости комиссур и условного радиуса фиброзного кольца величина необходимого давления  $p$  для разрушения комиссур уменьшается.

## Библиографический список

1. Несукай Е. Г. Приобретенные пороки сердца. Руководство по кардиологии. Морион, 2008. С. 941–962.
2. Безун П. И., Орликов А. В., Салман А. К. Биомеханика интервенционных хирургических операций на клапанном аппарате сердца // Биотехнические системы в медицине и биологии. СПб.: Политехника, 2002. С. 43–47.

УДК 621.391.8

**С. А. Пылев**

магистрант кафедры медицинской радиоэлектроники

**В. В. Егоров** – доктор технических наук – научный руководитель

### О ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ И ВИДОМ СИГНАЛОВ, ПОДНЕСУЩИХ OFDM-СИГНАЛОВ

Рассмотрены способы управления мощностью и позиционности OFDM-сигнала для достижения повышения достоверности сообщения при сохранении постоянной информационной скорости. Для управления мощностью использован метод множителей Лагранжа, для управления позиционностью информационных сигналов в отдельных субканалах использован метод динамического программирования.

#### Управление мощностью и видом сигналов, поднесущих ofdm-сигналов

Сигналы с ортогональным частотным разделением (OFDM) получили широкое распространение в каналах с многолучевостью, в частности, в КВ-радиоканале [1, 2]. Из негативных влияний многолучевости основным можно принять межсимвольные искажения, для борьбы с которыми в основном используют процедуру введения защитного интервала [3]. Также многолучевость приводит к таким искажениям как искажение передаточной функции канала связи, которые значительно снижают достоверность принятых сообщений без принятия дополнительных мер. Для примера рассмотрим идеальный двухлучевой канал, характеризуемый импульсной характеристикой вида:

$$h(t) = \delta(t) + a\delta(t - \Delta t), \quad (1)$$

где  $\delta(t)$  – дельта функция,  $\Delta t$  – задержка между лучами,  $a$  – амплитуда второго луча относительно первого.

Приведем аналитические зависимости характеристик такого канала связи от задержки между лучами и амплитуды второго луча. АЧХ канала характеризуется выражением:

$$A(\omega) = \sqrt{1 - 2a \cos \omega \Delta t + a^2}; \quad (2)$$

ФЧХ:

$$\varphi(\omega) = a \tan \frac{a \sin \omega \Delta t}{1 + a \cos \omega \Delta t}; \quad (3)$$

Вид приведенных зависимостей, построенных для канала связи с относительной амплитудой второго луча  $a = 0,5$  с задержкой между лучами  $\Delta t = 1$  мс представлены на рис. 1, 2.

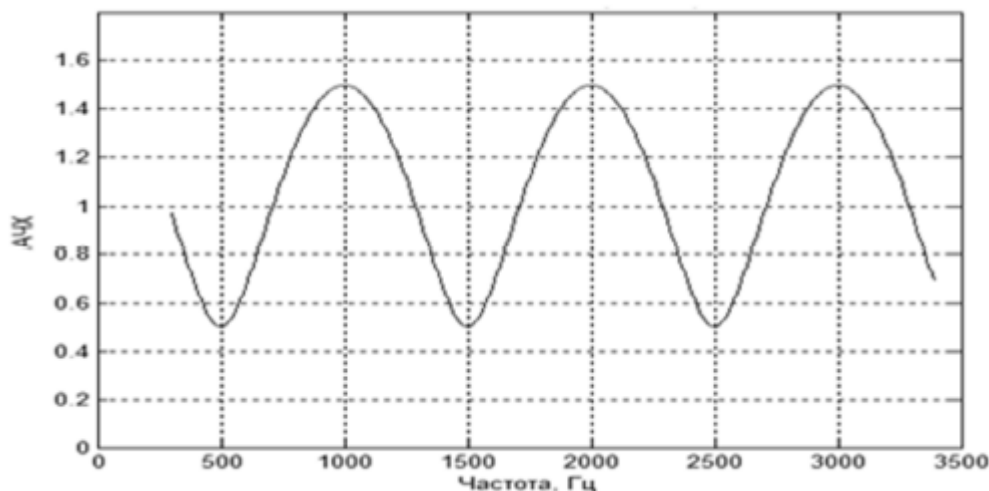


Рис. 1.

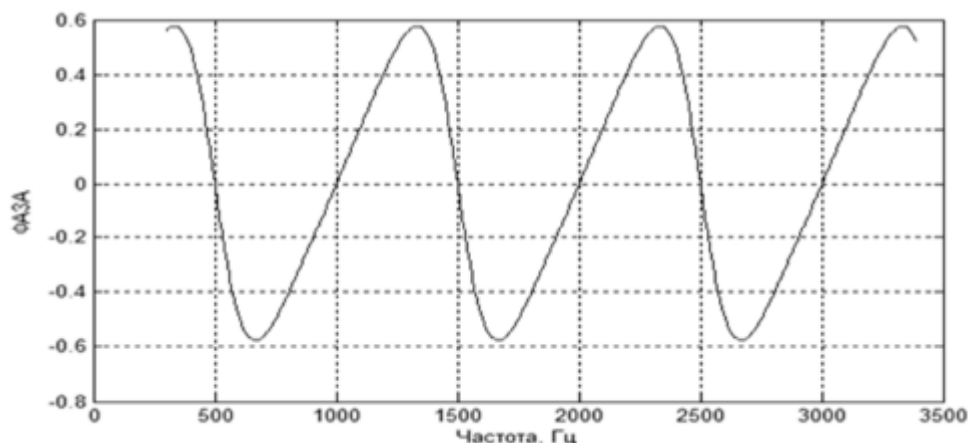


Рис. 2.

Анализ этих выражений показывает, что отношение сигнал-помеха на отдельных субчастотах сильно различается, и, как следствие, достоверность приема символов в отдельных субканалах также резко отличается. К тому же задержка на различных субчастотах так же различается, поэтому для обеспечения ортогональности OFDM-сигнала необходимо использовать защитный интервал, который превышает значение задержки между лучами  $\Delta t$ . В работе авторов [4] показано, что адаптивное управление позиционностью сигнала позволяет повысить достоверность передачи. При этом в случае адаптивного управления позиционностью энергетические возможности OFDM-сигнала используются не полностью. Поэтому для того, чтобы сохранить заданную скорость передачи и повысить достоверность передачи сообщений, целесообразно помимо адаптивного управления видом сигналов использовать управление мощностью субканалов при сохранении средней мощности излучаемого сигнала.

Как известно, пропускную способность канала связи с использованием сигналов OFDM можно представить в виде следующего выражения [3]:

$$C' = \sum_{k=1}^m \log_2 \left[ 1 + \frac{P_k A_k^2}{N_k} \right],$$

где  $m$  – количество используемых субканалов;  $P_k$ ,  $A_k$  и  $N_k$  – мощность сигнала, коэффициент передачи по амплитуде и мощность шума для субканала с индексом  $k$ .

Задача оптимального перераспределения мощности формулируется как задача достижения максимальной пропускной способности при ограничении на суммарную мощность сигналов. Суммарная мощность сигналов во всех субканалах не должна превышать заданную мощность радиопередающего устройства, что определяет следующее ограничение:

$$\sum_{k=1}^m P_k = P_{\Sigma},$$

где  $P_{\Sigma}$  – мощность радиопередающего устройства.

Используя для решения задачи метод множителей Лагранжа получим

$$P_k = \frac{1}{\lambda} \left( \frac{A_k^2 / N_k}{A_k^2 / N_k + 1} \right) = \frac{P_{\Sigma}}{\sum_{k=1}^m \frac{A_k^2 / N_k}{A_k^2 / N_k + 1}} \cdot \frac{A_k^2 / N_k}{A_k^2 / N_k + 1}. \quad (4)$$

Значение отношения сигнал/шум –  $A_k^2 / N_k$  в каждом частотном субканале определяется методом изложенном в [5], сущность которого состоит в том что мы вычисляем амплитуду спектральной составляющей на искомой частоте. Найдя амплитуды сигналов на соседних посылах и сформировано отношение суммы к разности амплитуд соседних сигналов –  $x$  удается определить плотность распределения величины  $x$ , с помощью которой определяется отношение сигнал/шум.

$$W(x;h^2) = \frac{1}{2}W_y^0(x;h^2) + W_y^\pi(x;h^2), \quad (5)$$

где

$$W_y^0(x;h^2) = \frac{d(F_y(x;h^2))}{dx} = \frac{x(2x^2 + 2(1+2h^2))}{(1+x^2)^3} \exp\left(\frac{-2h^2x^2}{1+x^2}\right), \quad (6)$$

$$W_y^\pi(x;h^2) = \frac{x(2+2x^2(1+2h^2))}{(1+x^2)^3} \exp\left(\frac{-2h^2}{1+x^2}\right). \quad (7)$$

Оценка  $h^2$  определяется методом максимального правдоподобия.

Полученное выражение (4) определяет оптимальное распределение мощности радиопередающего устройства по субканалам OFDM-сигнала. Однако, если учесть, что количество разрешенных позиций информационного сигнала дискретно то оптимальное перераспределение мощности на субканалах не позволяет достичь пропускной способности. Для того чтобы приблизится к максимальной пропускной способности, необходимо также произвести перераспределение передаваемых бит по субканалам. При этом также необходимо уточнить вероятность ошибки на бит на каждом из субканалов с учетом перераспределенной мощности сигнала в субканалах. Значение вероятности ошибки на бит определяется методом указанным в [6] на основе анализа статистики распределения синдромов кода. Исходя из данного метода чтобы определить вероятность ошибки на бит используем следующее уравнение:

$$P_i = \sum_{m=0}^n p_m \sum_{r=0}^l \left( C_m^r C_{n-m}^{l-r} p^{m-2r+l} (1-p)^{n-m+2r-l} \right),$$

где  $p_m$  – количество кодовых слов веса  $m$ ;  $p$  – вероятность ошибки на бит,  $n$  – количество бит в кодовой комбинации,  $P_i$  – наблюдаемая частота появления синдрома, соответствующего  $l$  – ошибкам.

После уточнения вероятности ошибки на бит следующим этапом является определение оптимальной позиционности сигналов в каждом из субканалов OFDM-сигнала. Для обеспечения в многоканальной системе постоянной скорости передачи необходимо выполнение условия:

$$\sum_{k=1}^m x_k = n,$$

где  $n$  – общее количество бит, передаваемых во всех субканалах,  $x_k$  – количество бит, передаваемых в  $k$ -м субканале;  $m$  – количество субканалов.

Тогда задача управления сводится к поиску экстремума функции, представляющей собой математическое ожидание количества искаженных бит при передаче  $n$  бит с помощью OFDM-сигнала за счет оптимального распределения передаваемых бит между субканалами:

$$\min \sum_{k=1}^m \rho_{ou}^{(k)}(x_k) \cdot x_k,$$

где  $\rho_{ou}^{(k)}(x_k)$  – вероятность ошибки на бит в  $k$ -м субканале при передаче  $x_k$  бит.

Вероятность ошибки на бит в субканале определяется в процессе функционирования системы передачи данных [6, 7].

Решение задачи оптимизации методом прямого перебора при сравнительно высоких значениях количества субчастот и передаваемых на них бит приводит к значительным вычислительными затратам. Поэтому предлагается искать экстремум приведенной функции методом динамического программирования [8].

Таким образом, использование предложенного способа оптимального выбора вида модуляции в каждом частотном субканале OFDM-сигнала может дать значительный выигрыш в достоверности системы передачи данных.

Управления мощностью и видом сигнала в отдельных субканалах OFDM-сигнала сводится к решению следующих задач:

- определение значения сигнал-помеха без использования тестовых сигналов;
- оптимальное перераспределение мощности путем решения задачи нелинейного программирования методом множителей Лагранжа;
- уточнение вероятности ошибки на бит без использования тестовых сигналов или введения дополнительной избыточности;
- оптимальное перераспределение количества передаваемых в субканалах бит методом динамического программирования.

### Библиографический список

1. Rohling H. OFDM: concepts for future communication systems. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. 252 p.
2. Бакулин М. Г. Технология OFDM. М.: Горячая линия – Телеком, 2016. 351 с.
3. Прокис Д. Цифровая связь. М.: Радио и связь, 2000. 800 с.
4. Егоров В. В. Адаптивное управление мощностью и видом модуляции в субканалах OFDM-сигналов // Материалы XIII Всеросс. конф., посвященной памяти референта МСНТ Н. Н. Ершовой. М.: РАН, 2016. 181 с.
5. Егоров В. В. Оценка отношения сигнал/шум при использовании сигналов с фазовой модуляцией // Телекоммуникации. 2013. № 5. С. 29–34.
6. Егоров В. В. Оценка вероятности ошибки на бит по результатам декодирования кодовых слов // Журнал радиоэлектроники. 2014. № 4. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/apr14/4/text.pdf> (дата обращения: 07.03.2020).
7. Егоров В. В. Прогнозирование достоверности приема ОФМ сигналов для потенциально возможных режимов работы // Журнал радиоэлектроники. 2014. № 4. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/apr14/5/text.pdf> (дата обращения: 07.03.2020).
8. Динер И. Я. Исследование операций. Л.: Военно-морская академия, 1969. 606 с.

УДК 621.371.3

**Г. М. Резунов**

магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий и систем связи

**В. В. Егоров** – доктор технических наук – научный руководитель

## О ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ПРИ АДАПТИВНОЙ КОРРЕКЦИИ МЕЖСИМВОЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ

В данной работе рассмотрен один из методов адаптивной коррекции, заключающийся в использовании защитных интервалов. Метод использования защитных интервалов позволяет повысить помехоустойчивость передачи данных и вероятность доставки информационного пакета.

### Использование защитных интервалов при адаптивной коррекции межсимвольных искажений

Дальность распространения радиоволн в коротковолновом (КВ) диапазоне, в том числе за пределы прямой видимости, обеспечивается за счет их отражения от ионосферы, а это порождает основные особенности КВ радиосвязи: нестационарность характеристик канала связи (замирания) и распространение по нескольким путям (многолучевость).



Рис. 1. Пример многолучевого распространения радиоволн

Следствием многолучевого распространения является межсимвольная интерференция (МСИ), то есть наложение соседних символов друг на друга. Для борьбы с МСИ в известных авиационных последовательных или одночастотных КВ модемах передачи данных применяют методы адаптивной коррекции сигналов [2], сущность которой заключается в построении корректирующего фильтра (КФ) или эквалайзера, компенсирующего искажения сигнала, внесенные радиоканалом.

В условиях растущих требований к помехоустойчивости, разработка и развитие принципов и методов адаптивной коррекции является актуальной задачей.

Процедура адаптивной коррекции состоит из следующих задач: расчет импульсной характеристики (ИХ) канала связи; расчет ИХ корректирующего фильтра (КФ); коррекция (фильтрация) принимаемого информационного сигнала с помощью КФ.

Расчет ИХ канала связи сводится к решению интегрального уравнения типа свертки:

$$\int_0^{T_1} s_0(t - \tau) h_k(\tau) d\tau = u_0(t), t \in [0; T_2], \quad (1)$$

где  $s_0(t)$  – передаваемый тестовый сигнал;  $h_k(\tau)$  – ИХ канала связи;  $u_0(t)$  – принимаемый искаженный тестовый сигнал.

Приведенное уравнение (1) относится к линейному интегральному уравнению типа свертки первого рода или уравнению Фредгольма первого рода, в котором одна из подынтегральных функций, в данном случае  $h_k(\tau)$ , является неизвестной.

В каналах с быстрыми замираниями лучший эффект дает подход, заключающийся в адаптивной коррекции сигналов на приемной стороне. В этом случае не предъявляется требований к наличию обратного канала, а для расчета ИХ КФ в информационный поток осуществляется периодическая вставка известных тестовых символов или тестовых сигналов. Структура такого сигнала показана на рис. 2.

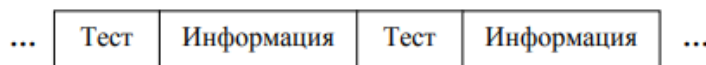


Рис. 2. Структура передаваемого сигнала

Рассмотрим данный подход на примере алгоритма Кловского-Николаева. Он включает в себя: расчет ИХ канала связи  $\hat{h}_k(t)$ , по отклику на испытательный импульс; формирование ожидаемых опорных сигналов  $s_p(t)$  с использованием ИХ, соответствующих  $m^{Q+1}$  комбинациям элементов сообщения, где  $Q$  – интервал анализа, определяемый количеством символов, причем  $Q \geq L$  ( $L$  – память канала),  $m$  – количество возможных вариантов каждого символа; вычитание сигнала МСИ от предшествовавших символов.

$$\hat{u}_k(t) = u(t) - \hat{u}_{МСИ}(t), \quad (2)$$

где  $u(t)$  – принимаемый сигнал на интервале  $[-QT \text{ симв.}; (Q+1)T \text{ симв.}]$  ( $T \text{ симв.}$  – длительность символа);  $\hat{u}_{МСИ}(t)$  – сигнал МСИ, иначе говоря, последствие от предыдущих символов, получаемое в форме:

$$\hat{u}_{МСИ}(t) = \int \hat{s}_{МСИ}(\tau) \hat{h}_k(t - \tau) d\tau, \quad (3)$$

где  $\hat{s}_{МСИ}(\tau)$  – модулированный сигнал, соответствующий предыдущим  $Q$  символам. Далее осуществляется сравнение разностного сигнала  $\hat{u}(t)$  с вариантами ожидаемого опорного сигнала  $s_p(t)$ , соответствующим всевозможным комбинациям на интервале  $Q+1$  и выбор комбинации  $\{a_k, \dots, a_{k+Q}\}$ , ближайшей к разностному сигналу, в соответствии с правилом максимального правдоподобия.

Существенный недостаток такого метода проявляется в том, что возникшая ошибка демодуляции распространяется через цепь обратной связи, что приводит к появлению пачки ошибок, а помехоустойчивость значительно снижается.

В системах OFDM с целью подавления МСИ используются защитные интервалы (ЗИ). Использование ЗИ между тестовым и информационным сигналами позволит избавиться от наложения неизвестных информационных символов на тестовые, что в результате позволит более точно рассчитать ИХ канала и соответствующую ИХ КФ и, как следствие, повысить помехоустойчивость.

На рис. 3 показана структура сигнала последовательного модема при наличии ЗИ. Между тестовым и информационным сигналами длительностью  $L_{\text{тест}}$  и  $L_{\text{инф}}$  соответственно присутствует ЗИ длительностью  $L_{\text{ЗИ}}$ . Длительность  $L_{\text{тест}}$  и  $L_{\text{инф}}$  составляет несколько символов, например, в авиационном стандарте ARINC 635  $L_{\text{тест}} = 15$ ,  $L_{\text{инф}} = 30$  [4]. Длительность ЗИ  $L_{\text{ЗИ}}$  удобно взять кратной длительности нескольких символов, при этом  $L_{\text{ЗИ}}$  должна быть больше задержки между лучами  $\Delta L$ .

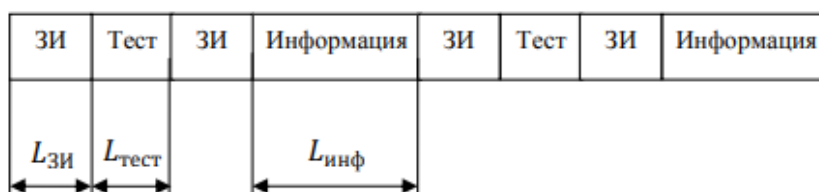


Рис. 3. Структура сигнала с ЗИ



Рассмотрим возможные варианты ЗИ между тестовым и информационным сигналами. Первым вариантом ЗИ является упомянутая выше пассивная пауза, то есть интервал длительностью  $L_{ЗИ}$ , на котором отсутствует передача полезного сигнала. На приеме на этом интервале будут иметь место «хвосты» тестового и информационного сигналов и аддитивный шум. Расчет ИХ канала может проводиться как на интервале тестового сигнала  $L_{тест}$ , так и на интервале  $L_{Т+ЗИ} = L_{тест} + 2L_{ЗИ}$ . Удвоенное значение  $L_{ЗИ}$  используется потому, что ЗИ расположен перед и после тестового сигнала. Еще одним из возможных видов ЗИ может быть отрезок гармонического колебания. При этом несущая частота этого колебания может быть как равной частоте несущей, так и расположена вблизи крайней частоты выделенной полосы. В этом случае расчет ИХ канала предполагается проводить на длительности тестового сигнала  $L_{тест}$ . При этом как в случае пассивной паузы, так и в случае гармонического колебания принимаемый тестовый сигнал на длительности  $L_{тест}$  или  $L_{Т+ЗИ}$  может быть дополнен нулями до  $N \geq 2L_{тест}$  [4].

При проведении сравнительных анализов влияния вида ЗИ на точность расчета ИХ канала было выявлено, что использование ЗИ позволяет повысить точность расчета ИХ канала, причем даже при длительности ЗИ меньше интервала многолучевости. При этом минимальное уклонение получилось при ЗИ, представляющем собой циклическое повторение.

Таким образом, применение ЗИ позволяет повысить точность расчета ИХ канала и ИХ КФ и, как следствие, увеличить помехоустойчивость. При этом должны быть учтены вид ЗИ и длительность принимаемого тестового сигнала ( $L_{тест}$  или  $L_{Т+ЗИ}$ ) с точки зрения сохранения «хвостов» тестового сигнала. Рассмотренные выше варианты ЗИ обеспечивают повышение точности расчета ИХ канала и ИХ КФ, при этом на длительности  $L_{тест}$  принимаемого тестового сигнала отсутствуют «хвосты» неизвестного информационного сигнала при  $\Delta L < L_{ЗИ}$ , либо их влияние не столь значительно. Однако, в процессе коррекции, то есть при обработке принимаемого информационного сигнала, «хвосты» тестового сигнала и «хвосты» ЗИ будут накладываться на информационный сигнал. Исключением является лишь применение пассивной паузы в качестве ЗИ. В этом случае при достаточной длительности ЗИ, то есть при  $\Delta L < L_{ЗИ}$  отсутствует мешающее влияние «хвостов» тестового и информационного сигналов друг на друга. Иными словами, пассивная пауза является ЗИ как для тестового сигнала, так и для информационного. Существенным недостатком такого вида ЗИ является влияние автоматической регулировки усиления (АРУ) приемника. Так, при отсутствии многолучевости на месте пассивных пауз будет присутствовать только шум, уровень которого будет увеличен АРУ приемника до уровня сигнала, в результате чего уменьшится отношение сигнал-шум (ОСШ) и точность расчета ИХ канала и ИХ КФ.

Для использования преимуществ пассивной паузы и устранения указанных недостатков разработан способ адаптивной коррекции с компенсацией ЗИ. Способ предполагает вставку ЗИ между тестовыми и информационными сигналами таким образом, чтобы ЗИ до и после  $i$ -го теста были противоположны по фазе ЗИ до и после  $(i+1)$ -го теста [3]. На рис. 4 показана структура передаваемого сигнала с противоположными ЗИ.

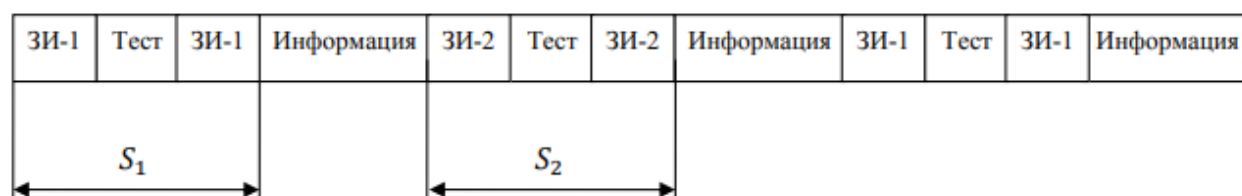


Рис. 4. Структура сигнала с противоположными ЗИ

В качестве ЗИ в таком случае можно использовать, например, символы «0» и «1». Тогда при сложении сигналов  $S_1$  и  $S_2$ , показанных на рис. 3, ЗИ будут скомпенсированы, а амплитуда тестового сигнала удвоится. При этом мощность тестового сигнала на выходе сумматора увеличится в 4 раза, а дисперсия шума на всей длительности  $L_{Т+ЗИ}$  вырастет лишь в два раза, в результате чего ОСШ увеличится в 2 раза. На рис. 5 показана блок-схема устройства, реализующего способ компенсации ЗИ.

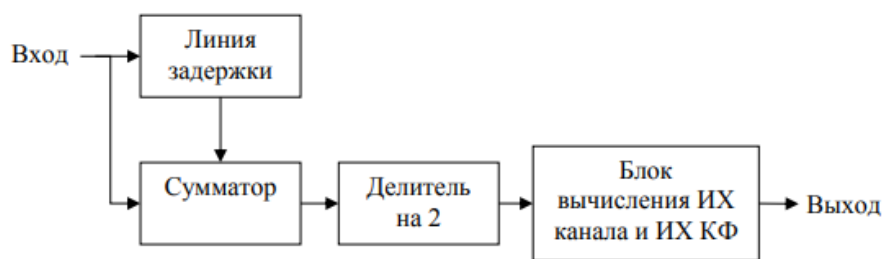


Рис. 5. Схема устройства компенсации ЗИ

Для расчета ИХ канала и ИХ корректора возьмем полученный на выходе сумматора тестовый сигнал на длительности  $L_{T+ЗИ}$ , дополнив его нулями до  $N > 2L_{T+ЗИ}$ . На выходе такого устройства получим рассчитанные ИХ канала и ИХ КФ.

Таким образом, применение ЗИ позволяет повысить точность расчета ИХ канала и, соответственно, ИХ КФ, однако при этом должен быть учтен вид ЗИ и соответствующий интервал, на котором осуществляется ДПФ. Учет этих особенностей позволяет в значительной степени повысить точность расчета ИХ и, как следствие, помехоустойчивости модема.

### Библиографический список

1. Николаев Б. И. Последовательная передача дискретных сообщений по непрерывным каналам с памятью. М.: Радио и связь, 1988. 264 с.
2. Маслаков М. Л. Новые методы адаптивной коррекции сигналов в авиационном модеме передачи данных коротковолнового диапазона // Труды МАИ. 2018. № 98. С. 26.
3. Патент. RU № 2573270. МПК H04L 1/20. Способ адаптивной коррекции с компенсацией защитных интервалов; авторы: В. В. Егоров, А. А. Катанович, С. А. Лобов, М. Л. Маслаков, А. Н. Мингалев, М. С. Смаль, А. Е. Тимофеев; опублик. 20.01.2016. Бюл. № 2. 6 с.
4. ARINC Specification 635-2. HF Data Link Protocol. – Feb., 1998.

УДК 617.76

**А. А. Сафронова, П. А. Пашкова**

студентки кафедры медицинской радиоэлектроники

**П. И. Бегун** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## АЛГОРИТМ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТОЯНИЯ СТРУКТУР ПОЯСНИЧНОГО И ГРУДНОГО ОТДЕЛОВ ПОЗВОНОЧНИКА ПОСЛЕ КОРРЕКЦИИ

Рассмотрен алгоритм биомеханических исследований позвоночного отдела, позволяющий определить напряженно-деформированное состояние в среде *Mimics* и *SolidWorks* при различных нагрузках, возникающих в позвоночнике после операции.

### Введение

Патологии у новорожденных детей составляют 3,2 % [1], при этом со сколиозом рождаются 0,001–0,002 % детей. Нарушения формирования позвонка – наиболее распространенная аномалия развития позвоночного столба. Под нарушением воспринимается срастание нескольких позвонков или недоразвитый позвонок – «полупозвонок», проблема данных патологий заключается в сложном прогнозировании формирования характера заболеваний. При хирургическом вмешательстве существуют разные способы проведения операции, при неудачном исходе (разрушение металлической конструкции или разрушение костной ткани), необходима повторная операция, что увеличивает риск осложнений [2]. Для подбора оптимального решения в каждом конкретном случае, необходимо учитывать индивидуальные особенности биомеханических характеристик пациента и его анатомических особенностей строения позвоночного столба.

Цель данной работы заключается в построении алгоритма биомеханических исследований в программных пакетах *Mimics* и *SolidWorks*, алгоритм позволит оценить зависимость напряженно-деформированного состояния позвоночника от его биомеханических свойств при прилагаемых нагрузках после операции. Данный метод позволит определить критические нагрузки на позвоночник с установленным эндофиксатором.

### Материалы и методы

На данном этапе работы были использованы снимки компьютерной томографии (КТ) ребенка трех лет после операции поясничного отдела позвоночника. С помощью программы *Mimics* были созданы «маски», снятые с позвонков, затем созданы твердые тела в программе *SolidWorks*, для проведения исследований напряженно-деформированного состояния.

### Результаты

На рис. 1 отображены КТ позвоночного столба до коррекции и после.

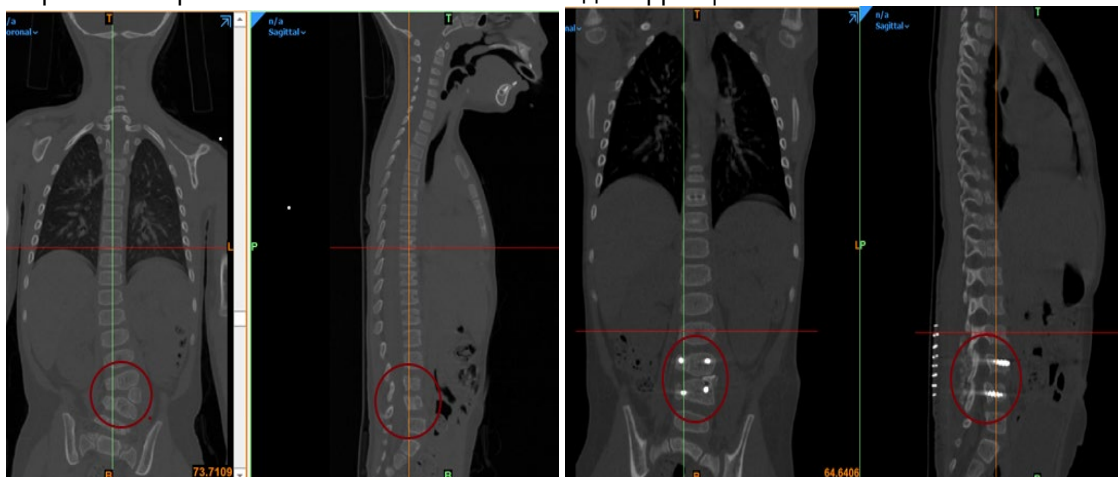


Рис. 1. КТ позвоночного столба до коррекции (слева) и после (справа), пациент К 3 года

На рис. 2 представлен интерфейс программы *Mimics* с выделенными «масками».

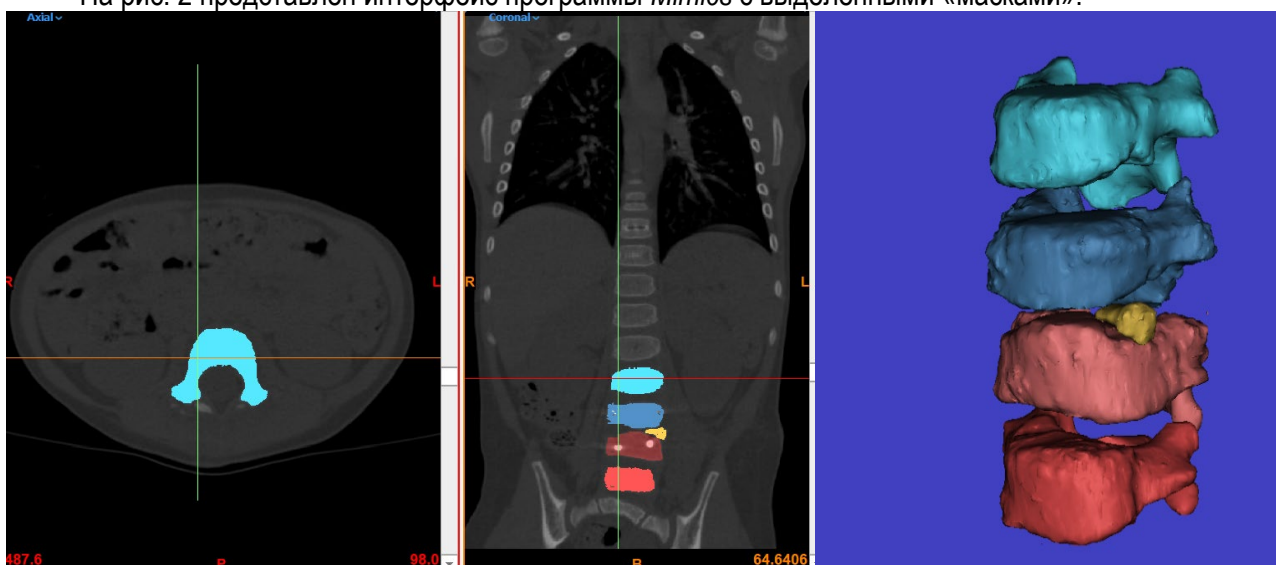


Рис. 2. Интерфейс программы *Mimics* с выделенными «масками»

Для создания твердого тела необходимо сохранить детали в формате *STL*, в дальнейшем в *SolidWorks* происходит создание твердого тела каждого позвонка с последующим сопряжением в единую конструкцию. Связки, спинальный эндокорректор воссоздаются на основе снимка КТ и в соответствии с анатомией человека. На рис. 3 представлена сборка участка позвоночника.

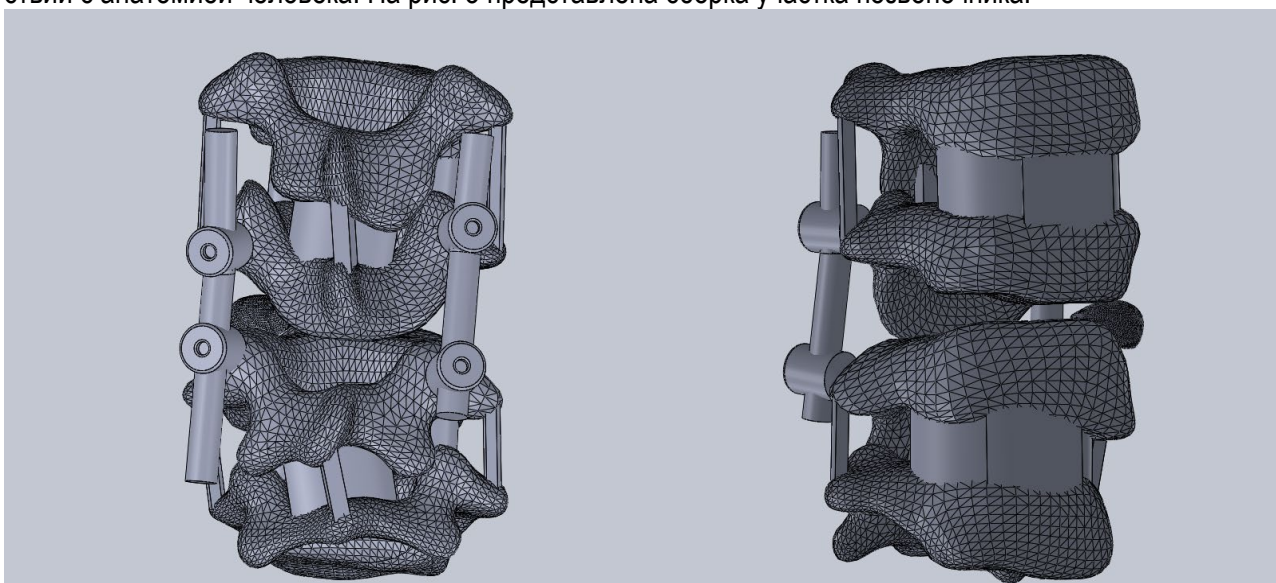


Рис. 3. Интерфейс программы *SolidWorks* со сборкой участка позвоночника

В зависимости от движения пациента после операции (поворот головы, поднятие руки, ноги, поворот на бок и т. д.) необходимы различные исследования в зависимости от прикладываемых нагрузок по отдельности и в совокупности. Определение нагрузки на позвоночник при установленном эндофиксаторе позволяет провести исследования в программе *SolidWorks* с различными биомеханическими характеристиками костей. Значения нагрузок будут взяты из публичной базы данных Института биомеханики и регенерации опорно-двигательного аппарата им. Джулиуса Вольфа. На рис. 4 представлена зависимость возникающей нагрузки на позвоночник пациента от движения нижних конечностей при установленном эндофиксаторе. В данном случае необходим расчет нагрузок с учетом веса пациента. Вес пациента, изображенного на рис. 4 составляет 68,3 кг. Максимальная нагрузка 262 N, значит, для пациента К возраст, которого 3 года, вес 12,1 кг максимальная нагрузка будет составлять 46,45 N.

Особое внимание стоит уделить биомеханическим свойствам тканей, так как средний возраст пациента составляет 3 года. Поскольку в отечественной и зарубежной литературе имеются данные о взрослых пациентах, необходимо будет провести дополнительные исследования для выявления данных характеристик. Известно, что, биомеханические свойства костей ребенка обладают более высокой эластичностью. За счет большего содержания коллагена, с возрастом эластичность уменьшается, поэтому возраст пациента имеет определяющий характер в проведениях исследований.

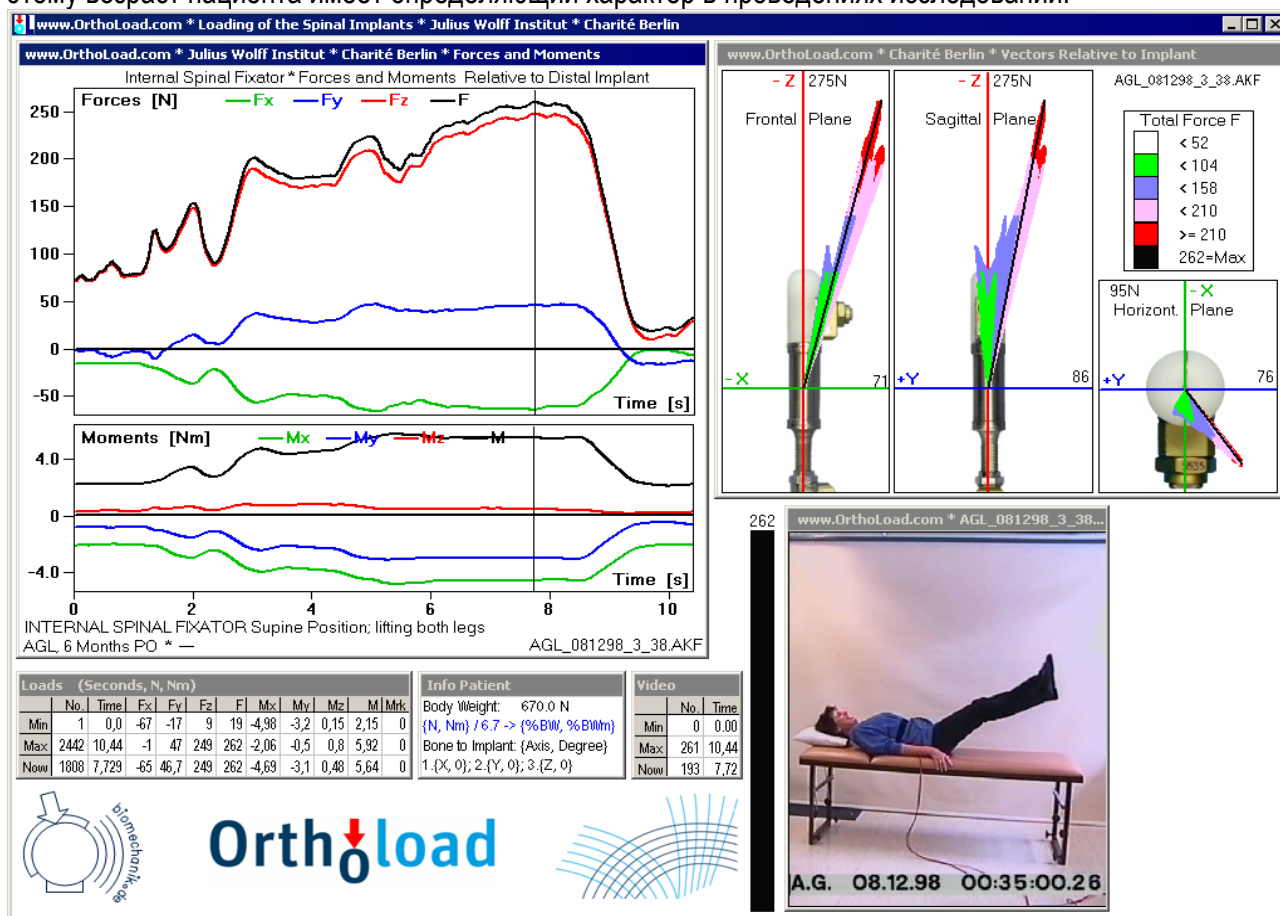


Рис. 4. Зависимость возникающей нагрузки на позвоночник пациента от движения нижних конечностей при установленном эндофиксаторе

### Заключение

В работе был представлен алгоритм для проведения исследований напряженно-деформированного состояния при патологических изменениях. Алгоритм можно использовать при проведении других исследований, как например сросшийся участок позвонков и подбор оптимального решения коррекции в зависимости от напряжений, которые приходятся на металлическую конструкцию. Данные исследования помогают выявить риск неблагоприятного исхода операций и по возможности сведения его к минимуму.

### Библиографический список

1. Картавенко К. А. Хирургическое лечение детей с врожденной деформацией позвоночника при полупозвонках поясничного отдела. URL: <https://www.dissercat.com/content/khirurgicheskoe-lechenie-detei-s-vrozhdennoi-deformatsiei-pozvonochnika-pri-polupozvonkakh-p> (дата обращения: 30.03.2020).
2. Виссарионов С. В. Хирургическое лечение врожденных пороков развития позвоночника у детей // Травматология и ортопедия России. 2008. № 3. С. 77–78.
3. Бегун П. И. Биомеханическое моделирование объектов протезирования: учеб. пособие. СПб.: Политехника, 2011. 464 с.

УДК 378.147

**Ю. Д. Семенова**

студентка кафедры медицинской радиоэлектроники

**П. И. Бегун** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## БИОМЕХАНИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ДЛИННЫХ ТРУБЧАТЫХ КОСТЕЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ПОСЛЕ ТЯЖЕЛЫХ СОЧЕТАННЫХ ТРАВМ

В статье представлена методика создания компьютерной трехмерной модели чрескостного остеосинтеза бедренной кости стержневым аппаратом внешней фиксации. Проведено исследование максимально допустимых нагрузок на разных стадиях формирования костной мозоли.

### Введение

Одной из актуальных проблем современной медицины является учащение случаев получения травм, сопровождающихся переломами диафизов длинных трубчатых костей [1]. Тактикой лечения диафизарных переломов в составе множественных или сочетанных травм может быть выбран метод чрескостного остеосинтеза аппаратом внешней фиксации (АВФ).

### Постановка проблемы

На сегодняшний день данных, характеризующих допустимые функциональные нагрузки на разных этапах восстановления бедренной кости, нет. На основе существующих исследований [2] с помощью компьютерного моделирования можно конкретизировать значения этих нагрузок.

### Задачи исследования

Задачей исследования является разработка компьютерной модели для определения максимально допустимых нагрузок на разных стадиях формирования костного регенерата в условиях нейтрального чрескостного остеосинтеза стержневым АВФ с одноплоскостной компоновкой на примере диафизарного поперечного перелома бедренной кости.

### Построение модели и проведение исследования

Компьютерная геометрическая модель бедренной кости строится на основе данных компьютерной томографии (КТ) в пакете прикладных программ Mimics Medical и 3-matic Medical.

1. Первым шагом в программе Mimics является создание маски, которая служит основой для построения твердотельной модели кости. После загрузки данных КТ создается маска с настраиваемой рентгеновской плотностью. Создается 3D-модель исследуемой кости, поверхность которой последовательно редактируется командами «Smooth», «Uniform remesh» и «Create volume mesh». Такие манипуляции позволяют значительно улучшить качество составляющих поверхность треугольников (рис. 1 в, г). Последним этапом работы в Mimics является сохранение результатов в формате STL.

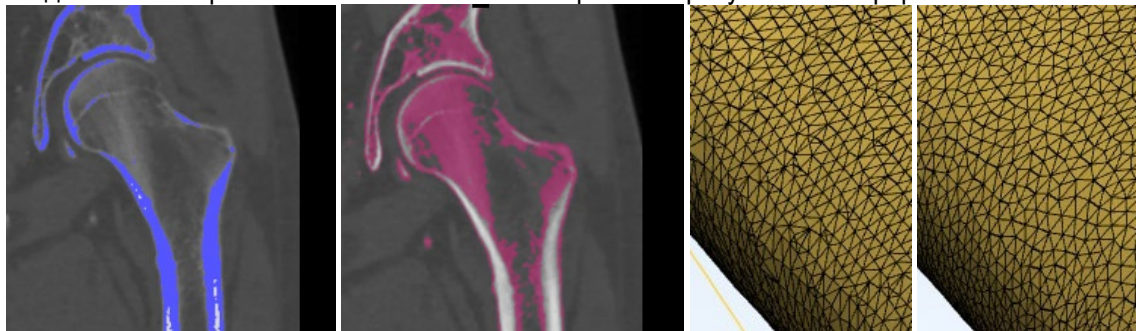


Рис. 1. Этапы работы в Mimics и 3-matic: а – кортикальная ткань; б – спонгиозная ткань; в – поверхность до обработки; г – после

2. Вторым шагом является создание твердотельной 3D-модели кости в пакете программ SolidWorks с дополнением ScanTo3D. После открытия STL файла с помощью функции «Мастер подготовки сетки» можно повторно отредактировать импортированную сетку: удалить посторонние объекты, упростить и сгладить. Далее необходимо запустить «Мастер поверхности» с управляемым процессом создания. Программа предложит отрегулировать количество поверхностей, из которых будет состоять твердое тело. После разбиения с необходимым качеством и устранения ошибок компьютерная геометрическая модель бедренной кости готова (рис. 2 а).

3. Третий шаг – создание отдельных элементов АВФ, которые затем объединяются в сборку (рис. 2 б).

4. Четвертым шагом является объединение модели кости и АВФ, а также выделение области костного регенерата.

5. Полученная система АВФ-кость готова к последующему анализу. Моделирование производится при помощи дополнения Simulation. Тип исследования – статический анализ. Бедренная кость закрепляется в области коленного сустава, а нагрузка прикладывается к ее головке. Когда все необходимые аспекты для исследования определены, необходимо запустить исследование командой «Создать сетку и запустить».

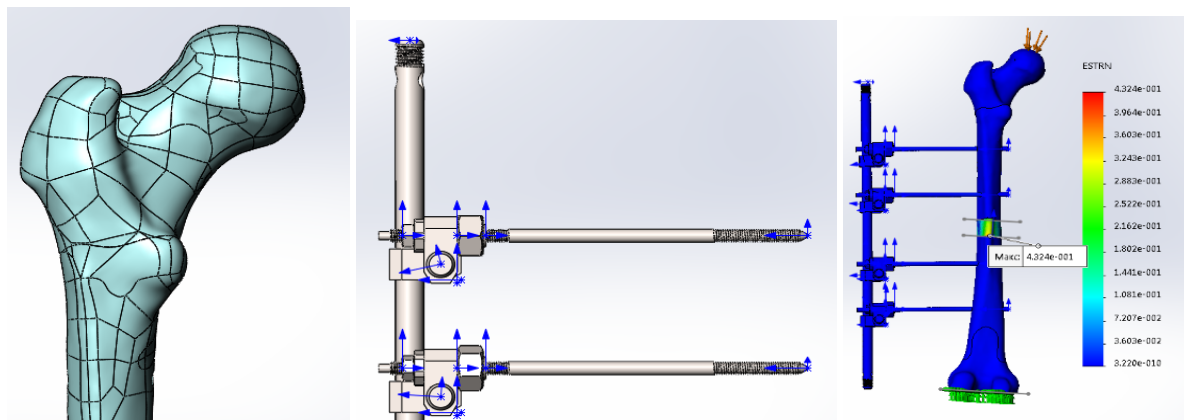


Рис. 2. Этапы работы в SolidWorks: а – головка бедренной кости; б – сборка АВФ; в – результаты моделирования

### Результаты

Рассчитаны значения максимальных деформаций (рис. 2 в) в области костного регенерата при разных значения его модуля упругости. Это позволяет определять максимально допустимые нагрузки, при которых значения деформаций не будут превышать допусковые для регенерата  $\epsilon=0,02$  (рис. 3).

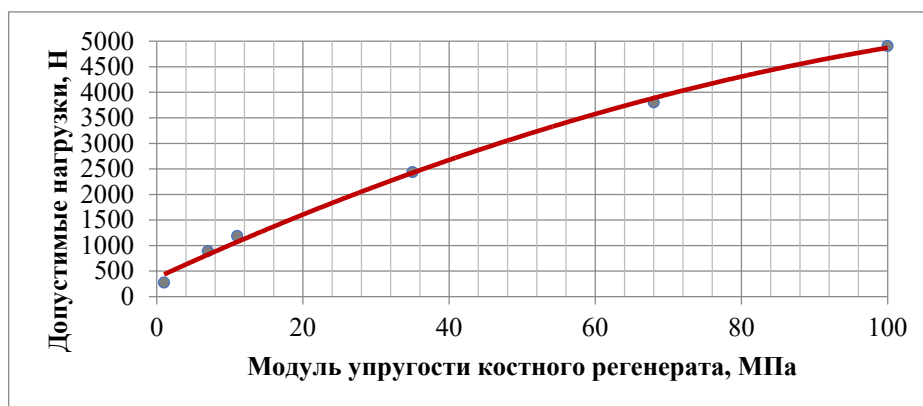


Рис. 3. График зависимости допустимых нагрузок от модуля упругости костного регенерата

### Выводы

Разработана методика и проведены исследования максимально допустимых нагрузок на разных стадиях формирования костного регенерата при чрескостном остеосинтезе бедренной кости стержне-

вым аппаратом внешней фиксации. Методика позволяет рекомендовать допускаемые нагрузки на разных стадиях восстановления кости.

#### **Библиографический список**

1. *Мирошниченко М. Н.* Сравнительный анализ методов проведения остеосинтеза при переломах диафиза трубчатых костей // *Здоровье и образование в XXI веке.* 2016. № 1.
2. *Bergmann G., Bender A., Dymke J.* Standardized Loads Acting in Hip Implants // *PLoS ONE.* 2016. № 11 (5).



УДК 621.391.8

**Т. В. Тарасов**

магистрант кафедры медицинской радиоэлектроники

**В. В. Егоров** – доктор технических наук – научный руководитель**ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОЛУЧЕВОСТИ В НЕСТАЦИОНАРНОМ КАНАЛЕ СВЯЗИ**

Представляет интерес подход к оценке импульсной характеристики радиоканала, основанный на идентификации канала связи по принятому обучающему сигналу и версии передаваемого тестового сигнала, сгенерированного на приемной стороне [1–3], поскольку при этом удается найти наилучшее приближение не в метрике  $L_2$ , а в метрике  $C$ , что более адекватно конечной цели исследования радиоканала, заключающегося в нахождении импульсной характеристики канала путём решения интегрального уравнения типа свертки [4]:

$$\int_0^{\infty} x(t - \tau)h(\tau)d\tau = y(t), \quad (1)$$

где  $x(t)$  – входное воздействие;  $h(t)$  – искомая импульсная характеристика канала связи;  $y(t)$  – отклик канала на входное воздействие.

Принципиальное отличие такого подхода заключается в том, что в уравнении, используемом для определения импульсной характеристики канала, выходной сигнал, представляющий собой смесь отклика канала на тестовый сигнал и помехи, находится в правой части интегрального уравнения. Задача определения импульсной характеристики канала осложняется тем, что идентификация КВ канала по известному переданному сигналу и сигналу на выходе относится к классу так называемых некорректных задач, поскольку уравнения этого класса являются неустойчивыми к малым возмущениям правой части [5]. Так как в канале связи присутствует шум, полученное решение в отдельные моменты времени может сколь угодно сильно отличаться от истинного [6].

Особый интерес для практики представляет поиск решения уравнения (1) на таких классах функций,  $z$ -преобразование которых не имеет полюсов вне единичной окружности, поскольку такое решение можно реализовать в виде рекурсивного фильтра, что приведет к значительному уменьшению объема вычислений при фильтрации сигнала. Так, возникает задача отыскания приближенного решения в заранее заданном классе функций, имеющих производные первого порядка, интегрируемые с квадратом на области определения [7, 8].

Поскольку входное воздействие представляет собой сигнал ограниченной длительности, уравнение (1) можно записать в виде:

$$\int_a^b x(t - s)h(s)ds = y_{\delta}(t),$$

с конечным промежутком интегрирования  $[a, b]$ , в котором ядро  $x(t, s) = x(t - s)$  непрерывно по совокупности переменных  $[t, s]$  в замкнутой области  $\{a \leq s \leq b\}$ ,  $\{c \leq t \leq d\}$ ;  $h(t)$  – импульсная характеристика;  $y_{\delta}(t)$  – зашумленный выходной сигнал.

Запишем уравнение в операторной форме [9]:

$$Ah = y.$$

Приближенное решение ищется в классе функций, для которых среднеквадратическое расстояние  $\rho_{L_2}(Ah, y_{\delta})$  не превосходит заранее заданной величины, то есть в множестве возможных решений уравнения, сопоставимых по точности с исходными данными, что реализуется путем задания на функциях  $h(s)$  сглаживающих функционалов вида:

$$\Omega(h) = \left( \int_a^b h^2(s) + \left( \frac{dh}{ds} \right)^2 \right) ds.$$

В качестве искомого приближенного решения берётся функция  $h_\delta(s)$ , на которой достигается точная нижняя граница функционала  $\Omega(h)$ . Для решения этой задачи необходимо найти функцию  $h_\alpha(s)$ , минимизирующую сглаживающий функционал:

$$M^\alpha(h, y_\delta) = \rho_{L_2}^2(Ah, y_\delta) + \alpha\Omega(h),$$

где  $\alpha$  – параметр регуляризации, обычно выбираемый методом невязки.

Это условие выполняется, если

$$A^*Ah + \alpha Lh = A^*y_\delta,$$

где  $A^*$  – оператор, сопряженный оператору  $A$ .

$$Lh = h - \frac{d}{ds} \left( p \frac{dh}{ds} \right).$$

Рассмотрим разностный аналог на сетке с шагом  $\Delta t$ . Для этого разобьём промежуток  $[a, b]$  на  $n$  частей.  $s_i = a + (i-1)\Delta t$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $\Delta t = (b-a)/n$ .

Тогда уравнение примет вид:

$$\sum_{j=1}^n B_{ij}h_j + \alpha h_i + \alpha \frac{2h_i - h_{i-1} - h_{i+1}}{\Delta t^2} = g_i,$$

где матрица  $B$  определяется выражением:

$$B = A^*A \cdot \Delta t,$$

а вектор  $g$  задается соотношением:

$$g = A^*y_\delta.$$

Систему уравнений относительно вектора  $h$  с компонентами  $(h_1, h_2, \dots, h_n)$  можно записать в виде:

$$B_\alpha h = Bh + \alpha Ch = g,$$

где  $g$  – вектор с компонентами  $(g_1, g_2, \dots, g_n)$ ;  $\alpha C$  – симметричная матрица вида:

$$\begin{bmatrix} \alpha \left( 1 + \frac{1}{\Delta t^2} \right) & -\frac{\alpha}{\Delta t^2} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -\frac{\alpha}{\Delta t^2} & \alpha \left( 1 + \frac{1}{\Delta t^2} \right) & -\frac{\alpha}{\Delta t^2} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{\alpha}{\Delta t^2} & \alpha \left( 1 + \frac{1}{\Delta t^2} \right) & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \alpha \left( 1 + \frac{1}{\Delta t^2} \right) & -\frac{\alpha}{\Delta t^2} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -\frac{\alpha}{\Delta t^2} & \alpha \left( 1 + \frac{1}{\Delta t^2} \right) \end{bmatrix}$$

Тогда задача сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений. Полученная матрица – вещественная, симметричная и положительно определенная, поэтому для ее решения можно применить экономичный метод квадратного корня, сущность которого состоит в разложении матрицы системы в виде произведения треугольной матрицы на транспонированную к ней [10]. Решение системы линейных алгебраических уравнений сводится к последовательному решению двух систем с треугольными матрицами, которые легко решаются методом прогонки, в результате чего находится импульсная характеристика канала [11]. Полученное решение зависит от параметра регуляризации  $\alpha$ . На рис. 1 приведен пример вычисленной таким образом импульсной характеристики для случая, когда истинное  $h(t)$  имеет вид:

$$10^4 e^{-10^4 t} + 0,5 \cdot 10^4 e^{-10^4(t-1,2 \cdot 10^{-3})},$$

а в качестве тестового воздействия использовалась псевдослучайная последовательность из 15 элементов суммарной длительностью 8 1/3 мс.

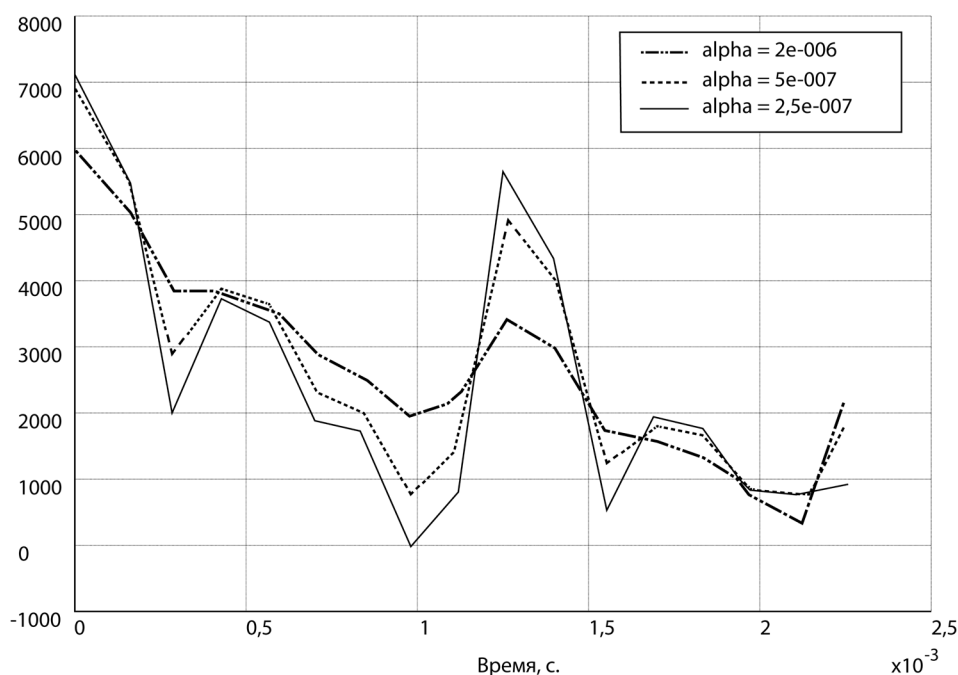


Рис. 1. Импульсная характеристика канала связи, вычисленная при различных значениях параметра регуляризации

Анализ полученных графиков показывает, что решение в значительной степени зависит от выбора параметра регуляризации. Так, в рассматриваемом случае в качестве оптимального значения можно считать  $\alpha = 2,5 \cdot 10^{-7}$ , поскольку для него решение в наименьшей степени отличается от теоретического.

### Библиографический список

1. Виленчик Л. С., Катулев А. Н., Колганов С. К. Идентификация каналов передачи информации. М.: Радио и связь, 1996. 100 с.
2. Егоров В. В., Мингалев А. Н. Адаптивная коррекция сигналов на основе методов решения некорректных задач // Сб. трудов 11-й Междунар. конф. «Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA-2009». 2009. С. 181–184.
3. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. М.: Наука, 1991. 432 с.
4. Гахов Ф. Д., Черский Ю. И. Уравнение типа свертки. М.: Наука, 1987. 296 с.
5. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1986. 285 с.
6. Грешилов А. А. Некорректные задачи цифровой обработки информации и сигналов. М.: Логос, 2009. 358 с.
7. Егоров В. В., Коржов А. Ю., Мингалев А. Н. Коррекция межсимвольных искажений методами адаптивной фильтрации и обратного моделирования // Электросвязь. 2005. № 5. С. 35–37.
8. Манжиров А. В., Полянин А. Д. Справочник по интегральным уравнениям: методы решения. М.: Факториал Пресс, 2000. 384 с.
9. Цлаф Л. Я. Вариационное исчисление и интегральные уравнения. М.: Наука, 1970. 192 с.
10. Голяницкий И. А. Математические модели и методы в радиосвязи. М.: Эко-трендз, 2005. 440 с.
11. Марчук Г. И. Методы вычислительной математики. СПб.: Лань, 2009. 608 с.

УДК 621.391.833.24

**Е. В. Ткачева**

студентка кафедры медицинской радиоэлектроники

**С. И. Малинин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### РАЗРАБОТКА ПОДОПТИМАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ПРИЕМА СИГНАЛОВ ПРИ НАЛИЧИИ МЕЖСИМВОЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ

По обобщенному критерию максимального правдоподобия синтезирован алгоритм приема цифровых сигналов при наличии межсимвольных искажений, который предполагает использование двух фильтров, один из которых согласован с формой элементарной посылки, а другой является трансверсальным фильтром с отводами через интервал  $T$ . Проведено сравнение полученного алгоритма с алгоритмом, синтезированным по СКО-критерию с точки зрения объема вычислительных затрат для расчета весовых коэффициентов. Показано преимущество модифицированного алгоритма ОМП по сравнению с СКО-критерием по данному параметру.

Одной из основных задач, возникающих при высокоскоростной передаче дискретных сообщений по радиоканалам с ограниченной полосой пропускания, является повышение эффективности использования полосы частот при сохранении достаточно высокой помехоустойчивости приема. Эта задача вызвана крайней загруженностью выделенных частотных диапазонов и техническими трудностями в освоении новых диапазонов. Особое внимание в связи с этим посвящено использованию специальных сигналов, энергия которых локализована в заданной частотно – временной области [1]. Использование таких сигналов, а именно зависимых сигналов, позволяет удовлетворить двум взаимно противоречивым требованиям – сократить до требуемого предела полосу частот, занимаемую сигналом, и в то же время сохранить, по возможности, высокую помехоустойчивость приема. Значительное снижение граничного значения удельных затрат полосы частот зависимых сигналов длительностью  $T$  объясняется тем, что их можно рассматривать, как независимые на интервале  $2T$ . При этом допускается перекрытие элементов сигнала по времени. В работе [2] разработаны подоптимальные алгоритмы, позволяющие существенно упростить схему, реализующую правило приема, при сохранении достаточно высокой помехоустойчивости в отсутствие межсимвольных искажений (МСИ).

При наличии МСИ применение таких алгоритмов, использующих лишь фильтрацию, согласованную с формой сигнала, не дает ожидаемого результата. Однако существенный выигрыш можно получить, применяя специальные методы подавления МСИ. При синтезе таких алгоритмов в общем случае изначально не будем накладывать ограничения на форму сигнала.

Пусть на вход приемника поступает сигнал

$$Z'(t) = \mu S_{rc}(t) + n(t), \quad (1)$$

где

$$S_{rc}(t) = UZ_r(t) \cos \omega t - \quad (2)$$

синфазная составляющая полезного сигнала;  $\mu$  – коэффициент передачи канала;  $n(t)$  – аддитивный белый шум с нулевым средним и дисперсией  $\overline{n(t_1)n(t_2)} = \frac{\nu^2}{2} \delta(t_1 - t_2)$ ;  $\nu^2$  – односторонняя спектральная плотность средней мощности шума. Квадратурная составляющая здесь опущена, так как начальная фаза не влияет на общность результатов.

В выражении (2)

$$Z_r(t) = Z_r(t, \theta_r, \bar{\theta}_r) = \theta_r Z_o(t) + \sum_{\substack{k=-\infty \\ k \neq 0}}^{\infty} \theta_{rk} Z_k(t), \quad (3)$$

где  $Z_r(t, \theta_r, \bar{\theta}_r)$  – низкочастотная огибающая входного сигнала, наблюдаемая на временном интервале длительностью  $0 \leq t \leq T$  без учета шумовой составляющей;  $Z_0(t)$  – форма полезного сигнала;  $\theta_r$  – информационный параметр, подлежащий определению в данный момент времени и принимающий значения  $\theta_r = \pm 1$ ,  $r=1,2$ ;  $\theta_{rk}$  – информационный параметр «мешающего» сигнала  $Z_k(t) = Z_0(t - kT)$ , влияющего на прием сигнала  $Z_0(t)$ ;  $\bar{\theta}_r$  – вектор информационных параметров  $\theta_{rk}$  «мешающих» сигналов.

Первое слагаемое в выражении (3) представляет собой полезный сигнал, о знаке параметра  $\theta_r$  которого необходимо принять решение. Функция под знаком суммы  $Z_k(t)$  описывает позицию сигнала, передаваемого на временном интервале с номером  $k$ , сдвинутым относительно момента приема полезного сигнала на интервал  $kT$ . Сумма отражает наличие МСИ на приеме.

Прежде всего, необходимо определить количество «мешающих» сигналов слева и справа от интервала, на котором принимается решение, вносящих наибольшие искажения и подлежащих компенсации. Это количество  $n$  зависит от вида функции  $Z_0(t)$  и может быть определено на базе анализа приемной схемы в конкретных условиях. Не определяя пока значения  $n$ , можно переписать (3) в виде:

$$Z_r(t) = \theta_r Z_0(t) + \sum_{\substack{k=-n \\ k \neq 0}}^n \theta_{rk} Z_k(t) + \sum_{\substack{k=-\infty \\ k \neq -n, n}}^{\infty} \theta_k Z_k(t), \quad (4)$$

где первая сумма в (4) отображает влияние сигналов, создающих наиболее сильные МСИ, подлежащие компенсации, а вторая сумма – влияние оставшихся сигналов, которые компенсации не подлежат. При выводе правила приема будем предполагать, что  $n$  достаточно велико, и использовать сигнал вида:

$$Z_r(t) = \theta_r Z_0(t) + \sum_{\substack{k=-n \\ k \neq 0}}^n \theta_{rk} Z_k(t). \quad (5)$$

Запишем логарифм функции правдоподобия для рассматриваемых сигналов

$$\ln L(Z'(t) | \theta_r) \sim - \int_{-nT}^{nT} [Z'(t) - \mu S_{rc}(t)]^2 dt, \quad (6)$$

где  $Z'(t)$  определяется выражением (1), а  $S_{rc}(t)$  – выражением (2).

Знак  $\sim$  указывает на равенство с точностью до постоянных множителей и слагаемых, независимых от информационных параметров. Подставляя (2) с учетом (5) в (6), после некоторых преобразований и отбрасывания слагаемых и множителей, независимых от информационных параметров, получим:

$$\ln L(Z'(t) | \theta_r, \bar{\theta}_r) \sim \int_{-nT}^{nT} \left[ \left( Z'(t) \cos \omega t - \frac{1}{2} \mu U \right) (\theta_r Z_0(t) + \bar{\theta}_r^T Z(t)) - \frac{1}{4} \mu U (\theta_r Z_0(t) + \bar{\theta}_r^T Z(t))^2 \right] dt, \quad (7)$$

где  $\bar{\theta}_r^T$  – транспонированный вектор-столбец информационных параметров  $\theta_{rk}$ , размера  $2n$ ;  $Z(t)$  – вектор-столбец функций  $Z_k(t)$ , размера  $2n$ .

Обобщенный критерий максимума отношения правдоподобия запишется в виде:

$$\ln L(Z'(t) | \theta_l, \bar{\theta}_l) > \ln L(Z'(t) | \theta_r, \bar{\theta}_r), \quad (8)$$

$$l, r = 1, 2, \quad l \neq r.$$

Здесь  $\bar{\theta}_r$  – вектор-столбец максимально правдоподобных оценок параметров  $\theta_{rk}$  получаемый как решение уравнения:

$$\frac{\partial}{\partial \bar{\theta}_r} \ln L(Z'(t) | \theta_r, \bar{\theta}_r) = 0. \quad (9)$$

Подставляя (7) в (9), и, решая линейное векторное уравнение, находим:

$$\bar{\hat{\theta}}_r = \frac{2}{\mu U} X^{-1} \bar{X}' - \theta_r X^{-1} \bar{X}_0, \quad (10)$$

где  $X$  – квадратная матрица размера  $2n \times 2n$  с элементами

$$x_{kp} = \int_{-nT}^{nT} Z_k(t) Z_p(t) dt, \quad k, p = -n, \dots, -1, 1, \dots, n; \quad (11)$$

$\bar{X}'$  – вектор-столбец, размера  $2n$ , величин:

$$x'_k = \int_{-nT}^{nT} \left( Z'(t) \cos \omega t - \frac{1}{2} \mu U \right) Z_k(t) dt, \quad k = -n, \dots, -1, 1, \dots, n; \quad (12)$$

$\bar{X}$  – вектор-столбец, размера  $2n$ , величин:

$$x_{ok} = \int_{-nT}^{nT} Z_o(t) Z_k(t) dt, \quad k = -n, \dots, -1, 1, \dots, n; \quad (13)$$

Подставляя в (7) вместо вектора  $\bar{\theta}_r^T$  его оценку максимального правдоподобия (10) и, используя неравенство (8) при  $\theta_l = +1$  и  $\theta_r = -1$ , после преобразований получаем следующее правило решения о приеме сигнала первой позиции ( $\theta_l = +1$ )

$$\eta = x'_o - \bar{X}_o^T X^{-1} \bar{X}' > 0 \quad (14)$$

или

$$\eta = \int_{-nT}^{nT} \left( Z'(t) \cos \omega t - \frac{1}{2} \mu U \right) Z_o(t) dt - \sum_{\substack{k=-n \\ k \neq 0}}^n C_k \int_{-nT}^{nT} \left( Z'(t) \cos \omega t - \frac{1}{2} \mu U \right) Z_k(t) dt > 0, \quad (15)$$

где вектор-столбец весовых коэффициентов  $\|C_k\|$  равен

$$\bar{C} = X^{-1} \bar{X}_0. \quad (16)$$

При выводе этих выражений учтено, что при симметричной невырожденной матрице  $X$ , обратная матрица  $X^{-1}$  также симметрична и

$$(X^{-1})^T = X^{-1}.$$

Из (15) следует, что алгоритм приема двоичных сигналов, кроме традиционной корреляционной обработки на длительности полезной элементарной посылки, использует результаты обработки на  $n$  предыдущих и  $n$  последующих элементах сигнала для снижения влияния МСИ. Отметим, что реализация полученного алгоритма, также как и известные линейные схемы обработки, предполагает использование двух фильтров, один из которых согласован с формой элементарной посылки, а другой является трансверсальным фильтром с отводами через интервал  $T$ .

Из выражения (16) следует, что вектор весовых коэффициентов содержит квадратную матрицу размера  $2n \times 2n$ , обратную матрице  $X$ , элементами которой являются величины  $x_{kp}$ , определяемые выражением (11) и представляющие собой значения автокорреляционной функции элементарной по-

сылки с временными сдвигами  $(p-k)T$ ,  $k, p = -n, \dots, -1, 1, \dots, n$ . Элементы вектора-столбца  $\vec{X}_0$  размера  $2n$ , определяются выражением (13) и представляют собой также значения автокорреляционной функции элементарной посылки с временными сдвигами  $kT$ ,  $k = -n, \dots, -1, 1, \dots, n$ .

Если известны значения автокорреляционной функции элементарной посылки на интервале  $-2nT \dots 2nT$ , то есть известны матрица  $X$  и вектор  $\vec{X}_0$ , то для вычисления вектора весовых коэффициентов  $\vec{C}$  (16) необходимо произвести лишь обращение матрицы  $X$  и умножение обратной матрицы  $X^{-1}$  на вектор  $\vec{X}_0$ .

Сравним количество вычислительных затрат необходимых для расчета весовых коэффициентов трансверсального фильтра схемы, реализующей полученный алгоритм, и схемы, синтезированной на базе СКО-критерия. Алгоритм, синтезированный на базе СКО-критерия, приводит к аналогичной схеме, но с другими весовыми коэффициентами. Хотя вектор весовых коэффициентов в этом случае определяется из соотношения, напоминающего по форме соотношение (16),  $\vec{C} = A^{-1}\vec{V}$ , однако он содержит квадратную матрицу размера  $(2n+1)(2n+1)$ , обратную матрицу  $A$  автокорреляции выборочных значений напряжений на выходе согласованного фильтра, взятых через тактовый интервал  $T$ , элементы которой определяются выражением:

$$a_{ip} = \overline{x'_i x'_p} = \sum_{k=-m}^m x_{ki} x_{kp} + \frac{v^2}{2} x_{ip}, \quad i, p = -n, \dots, n,$$

где величина  $x'_i$  определяются из выражения (12), а величины  $x_{kp}$  из выражения (11);  $v^2$  – спектральная плотность средней мощности шума. Число  $m$  в пределах суммирования определяет количество учитываемых элементов суммы  $m \geq n$ , создающих межсимвольную интерференцию. Элементы вектора-столбца  $\vec{V}$ , размера  $(2n+1)$ , определяются выражением

$$v_p = \overline{\theta_r x'_p} = x_{op}, \quad p = -n, \dots, n.$$

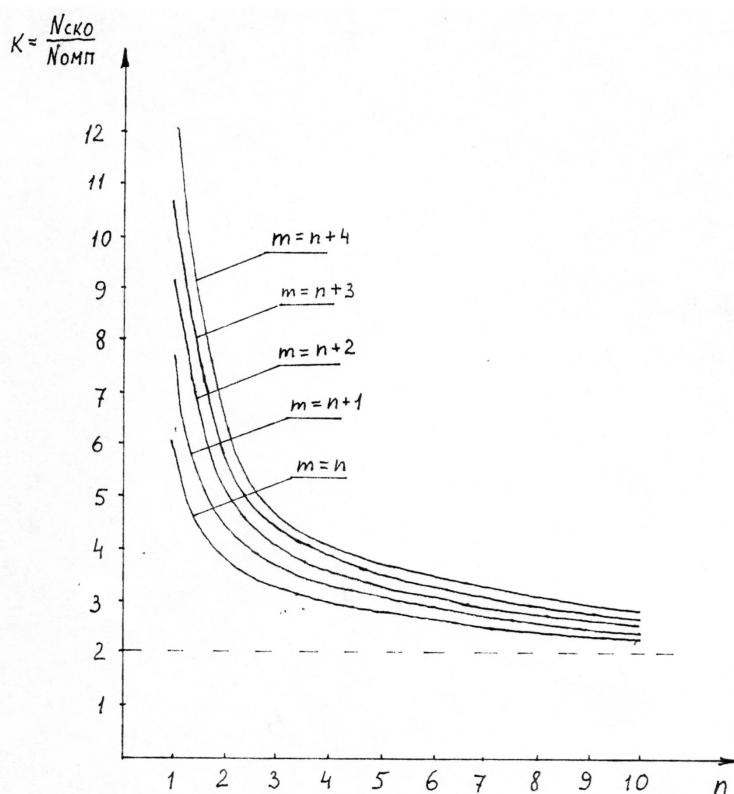


Рис. 1 Сравнение алгоритмов СКО и ОМП по вычислительным затратам

Из этих выражений следует, что кроме обращения матрицы  $A$ , размер которой на единицу больше размера матрицы  $X$  и умножения обратной матрицы  $A^{-1}$  на вектор  $\bar{V}$ , размер которого также на единицу больше размера вектора  $\bar{X}_0$ , предварительно необходимо вычислить каждый элемент  $a_{ij}$  матрицы  $A$ . Для вычисления всех элементов матрицы  $A$  необходимо знание значений автокорреляционной функции элементарной посылки на интервале  $-(m+n)T \dots (n+M)T$ , а также знание спектральной плотности средней мощности шума, которая не всегда известна. Объем вычислений, необходимый для определения всех элементов матрицы  $A$  соизмерим с объемом вычислений, необходимых для ее обращения.

На рис. 1 приведены графики зависимости отношения числа элементарных операций умножения и сложения  $N_{\text{ско}}$ , необходимых для расчета весовых коэффициентов трансверсального фильтра по СКО критерию к числу аналогичных операций  $N_{\text{омп}}$ , необходимых для использования модифицированного обобщенного критерия максимального правдоподобия, от числа отводов трансверсального фильтра  $n$ . Графики на рис.1 построены при различных значениях числа учитываемых «мешающих» элементах сигнала  $m$ . Из графиков следует, что для простейшего трансверсального фильтра с тремя отводами и при учете  $m = 5$  «мешающих» элементов сигнала слева и справа от основного элемента, создающих межсимвольные искажения, число элементарных операций умножения и сложения  $N_{\text{ско}}$  более чем на порядок превосходит  $N_{\text{омп}}$ . При  $m = 1$  это отношение снижается до 6, однако при этом снижается и точность расчета весовых коэффициентов, что приводит к возрастанию вероятности ошибок приема сигналов по СКО – критерию. При стремлении  $n$  и соответственно  $m$  к бесконечности отношение  $K = N_{\text{ско}} / N_{\text{омп}}$  стремится к двум. Однако в этом случае вычислительные затраты для расчета весовых коэффициентов по любому из рассматриваемых алгоритмов становятся непомерно большими.

### Библиографический список

1. Макаров С. Б., Цикин И. А. Передача дискретных сообщений по радиоканалам с ограниченной полосой пропускания. М.: Радио и связь, 1988. 304 с.
2. Выболдин Ю. К., Малинин С. И. Алгоритмы подоптимального приема зависимых сигналов в канале с неограниченной полосой // Научная сессия ГУАП. Ч. II. СПб., 2017.



УДК 621.391

**К. И. Циглин**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**С. А. Якушенко** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ РАДИОЛИНИЙ ЗАГОРИЗОНТНОЙ СВЯЗИ

В статье проводится анализ помехоустойчивости технического устройства (системы), а также принцип и особенности тропосферной связи.

### Введение

В последние десятилетия в связи с созданием во всем мире глобальной информационной структуры наблюдается бурное развитие средств и методов связи, среди которых особое место занимают системы спутниковой и тропосферной радиосвязи. Несмотря на огромные достижения в области спутниковых систем радиосвязи, тропосферная радиосвязь в настоящее время продолжает играть важную роль при передаче информации как гражданскими ведомствами, так и силовыми структурами. По сравнению со спутниковой связью, тропосферная связь обладает рядом преимуществ, основными из которых являются меньшие экономические затраты и более высокая помехозащищенность. Однако и в этом направлении развития средств радиосвязи также имеются свои ограничения. Прежде всего, это многолучевое распространение и обусловленное им замирание сигнала, а также ограниченность скорости передачи информации из-за частотного и временного рассеяния. Кроме того, для тропосферных систем характерна зависимость уровня сигнала от времени суток и года, от метеорологических и климатических условий. Это создает серьезные трудности, для преодоления которых необходимо использовать как известные подходы (пространственное и частотное разнесение и пр.), так и разрабатывать новые методы.

### Помехоустойчивость

Помехоустойчивость технического устройства (системы) – способность устройства (системы) выполнять свои функции при наличии помех. Помехоустойчивость оценивают интенсивностью помех, при которых нарушение функций устройства еще не превышает допустимых пределов. Чем сильнее помеха, при которой устройство остается работоспособным, тем выше его помехоустойчивость. Многообразие устройств и решаемых ими задач, с одной стороны, и видов помех – с другой, приводят к необходимости специализированного подхода при рассмотрении помехоустойчивость в каждом конкретном случае.

Кроме того, помехоустойчивость можно оценивать вероятностями ложной тревоги и пропуска цели, помехами при передаче дискретных данных и т. п.

Помехоустойчивость обеспечивается применением технических способов и средств защиты от помех, которыми являются:

- 1) получение необходимого отношения сигнал/помеха в приемнике;
- 2) накопление сигналов в р/приемном устройстве;
- 3) предотвращение перегрузки приемных устройств;
- 4) селекция и фильтрация сигналов;
- 5) помехоустойчивое кодирование и др. [1].

### Тропосферная радиосвязь

Тропосферная радиосвязь – радиосвязь, использующая рассеяние и отражение радиоволн в нижней области тропосферы. Рассеяние и отражение можно назвать также одним словом переизлучение.

При тропосферной радиосвязи используется механизм дальнего тропосферного распространения радиоволн (ДТР УКВ). Дальнее тропосферное распространение радиоволн – распростране-

ние радиоволн в тропосфере на расстояние, превышающее расстояние прямой видимости, вследствие их отражения и рассеяния, обусловленных неоднородностями коэффициента преломления воздуха [2].

Тропосферная линия (ТРЛ) – радиорелейная линия связи, в которой используется рассеяние и отражение радиоволн в нижней области тропосферы при взаимном расположении радиорелейных станций за пределами прямой видимости.

Тропосферой называется нижний слой атмосферы, расположенный непосредственно над поверхностью земли. Высота тропосферы в полярных широтах 8–10 км, в умеренных широтах 10–12 км, в тропиках 16–18 км. В тропосфере содержится почти вся масса воздуха. В пределах тропосферы температура уменьшается в среднем на 6–6,50 С° на 1 км. Верхняя граница тропосферы – тропопауза, где градиент температуры  $\approx 0$  С°.

### Особенности тропосферной связи

Тропосферная связь имеет специфические особенности, обусловленные непосредственно явлением ДТР.

– Ввиду весьма низкой эффективности рассеяния и отражения энергии радиоволн неоднородностями тропосферы потери на участке распространения весьма велики и очень быстро растут с увеличением расстояния и укорочения длины волны. Например, в диапазоне 1 ГГц и при интервале  $R = 300$  км потери на тропосферной линии достигают 200...250 дБ, оказываясь практически такими же, как на линии спутниковой связи протяженностью в несколько десятков тысяч километров. Следовательно, тропосферная связь требует значительных энергетических затрат – применения мощных передатчиков, высокочувствительных приемников и антенн с большим коэффициентом усиления [3].

– На уровень сигнала ДТР влияет рельеф местности, простирающейся на некотором расстоянии перед антеннами в направлении на корреспондента. Находящиеся здесь возвышенности (лес, крупные строения) могут оказывать вредное экранирующее действие. Лучше всего тропосферные станции располагать на высотах, перед которыми в сторону корреспондента имеется открытая местность.

– Устойчивость тропосферной связи сильно зависит от метеорологических условий и, следовательно, от климатических особенностей района, по которому проходит трасса. При теплом и влажном морском климате тропосферная связь осуществляется с меньшими энергетическими затратами, чем при холодном и сухом континентальном.

– Поскольку явление ДТР характеризуется направленностью потока переизлученной электромагнитной энергии, для обеспечения максимального уровня сигнала на выходе приемной антенны недостаточно просто "скрестить" в тропосфере диаграммы направленности антенн. Необходимо сделать это на минимальной высоте и в вертикальной плоскости, проходящей через точки размещения антенн передающей и приемной станций.

– Антенны в ДТР не реализуют полностью того усиления, которым они обладают в условиях свободного пространства. Поэтому при определении необходимых параметров приемника и антенны в каждом случае приходится принимать отдельное решение.

– Сигнал ДТР не стабилен во времени. Средний уровень его подвержен сезонным колебаниям, причем зимой они ниже, чем летом. Среднеминутные значения сигнала ДТР претерпевают медленные случайные замирания, описываемые логарифмически нормальным законом.

– Мгновенные значения сигнала ДТР непрерывно и быстро флуктуируют по релейскому закону. Для борьбы с этим явлением в тропосферной связи применяют разнесенный прием, что существенно усложняет и удорожает аппаратуру станций.

– Многолучевая структура радиосигнала при ДТР, для которой характерна неравномерность запаздывания отдельных составляющих, приводит к сильному искажению амплитудно- и фазочастотной характеристик. В результате сужается полоса пропускания и искажается передаваемый сигнал. Уменьшению этого нежелательного эффекта и существенному улучшению.

## Математические модели замирания сигналов

### Причины замирания сигналов

На радиолиниях УКВ-сигналы подвержены изменениям метеорологических условий, что и вызывает их замирания. Наблюдения показывают, что возможны как медленные, так и быстрые замирания напряженности поля в точке приема. Медленные замирания отличаются по сезонам года и по времени суток. Накладывающиеся на них замирания с длительностью порядка минуты, секунд и долей секунд относят к быстрым замираниям.

Непосредственными причинами замираний могут быть: ослабление в гидрометеорах на частотах свыше примерно 6 ГГц; изменения вертикального градиента показателя преломления – рефракционные замирания; слоистые неоднородности в тропосфере. Глубина замираний характеризуется распределением мгновенных значений множителя ослабления, то есть процентом времени, в течение которого множитель ослабления больше данного значения.

При работе на частотах свыше 6 ГГц процент времени замираний сигнала вследствие ослабления в гидрометеорах может быть определен по известному статистическому распределению интенсивности осадков в районе расположения радиолинии с учетом частотной зависимости затухания радиоволн в гидрометеорах.

Длительность быстрых замираний изменяется от сотых долей секунды до нескольких секунд. В течение 5...10 мин. случайный процесс изменения уровня принимаемого сигнала приближенно можно считать стационарным. Для этого интервала времени на основе статистических данных можно определить медианное значение множителя ослабления  $V_m$ , то есть такое значение  $V$ , которое превышает (или не превышает) в течение 50 % указанного времени наблюдения. Распределение мгновенных значений множителя ослабления  $V$  при быстрых замираниях удовлетворительно аппроксимируется законом Релея.

Медленные замирания связаны с изменением метеорологических условий на трассе. С учетом медленных замираний процесс изменения уровня сигнала в целом является нестационарным. Математической моделью медленных замираний принято считать распределение случайных величин  $V_m$  относительно медианного значения, определенного за длительный срок, например за месяц или год. Чаще используется медианное значение ( $V_{m^*m}$ ), которое рассчитывается на основе статистических данных об изменении  $v_m$  в течение одного месяца наблюдения. Результаты измерений показали, что для зимних (по условиям распространения худших) месяцев распределение  $V_m$  подчиняется логарифмически нормальному закону [4].

### Библиографический список

1. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. 2 изд. М., 1971.
2. Тропосферная связь. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Тропосферная\\_радиосвязь](https://ru.wikipedia.org/wiki/Тропосферная_радиосвязь) (дата обращения: 05.05.2020).
3. Распространение радиоволн. URL: <http://www.electrosad.ru/Electronics/SFRadiohob>. (дата обращения: 05.05.2020).
4. Благовещенский Д. В. Радиосвязь и электромагнитные помехи: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2002.
5. Долуханов М. П. Распространение радиоволн. М.: Связь, 1972.
6. Гусятинский И. А. Дальняя тропосферная радиосвязь. М.: Связь, 1972.

УДК 616-085

**О. А. Читайкина**

студентка кафедры медицинской радиоэлектроники

**К. Н. Тимофеев** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

В статье описан программно-аппаратный комплекс с биологической обратной связью, реализованной через нейроинтерфейс. Он актуален тем, что предлагает простое и недорогое решение, пригодное для частного использования и обладающее гораздо большей функциональностью по сравнению с аналогами, предлагающими в основном биофидбек на основе кожно-гальванической реакции, кардиограммы, миограммы и др. Рассмотрен ряд современных методов проведения мониторинга и терапии с применением комплекса в зависимости от типа заболевания.

Применение биологической обратной связи является эффективным немедикаментозным видом терапии и мониторинга пациентов с неврологическими отклонениями.

В сфере медицинской радиоэлектроники актуален вопрос мониторинга состояния пациентов с неврологическими расстройствами, такими как клиническая депрессия, синдром дефицита внимания с гиперактивностью (СДВГ), хронический стресс и др. Применение биологической обратной связи (neurofeedback) зарекомендовало себя как эффективный немедикаментозный вид терапии, но она также может быть успешно применена и при оценке эффективности лечения пациента [1].

В соответствии с Приказом Министерства здравоохранения РФ №1705н от 29 декабря 2012 года тренажеры с биологической обратной связью (БОС) вошли в стандарт оснащения центров и отделений медицинской реабилитации пациентов с соматическими заболеваниями, нарушениями функций опорно-двигательного аппарата, центральной и периферической нервной системы [2].

Коррекционные БОС-тренинги разделяются на два класса: биофидбек и нейрофидбек [3].

Нейрофидбэк (*Neurofeedback*) – регуляция ритмов мозга по параметрам ЭЭГ (альфа, бета, тета, различные диапазоны и их соотношения). Процедуры эффективны при коррекции нарушений, которые связаны с биохимическими механизмами регуляции биоэлектрической активности мозга: депрессии, синдром дефицита внимания с гиперактивностью (СДВГ), аутизм, эпилепсия, постинсультные нарушения, головные боли.

Биофидбэк (*Biofeedback*) – регуляция параметров периферической нервной системы. Такие тренинги эффективны для психологических нарушений стрессового генеза: патологическая тревожность, фобии, панические атаки, гипертония стрессового генеза, нарушения сна, заикание, психологические травмы и т. п.

На рынке не первый год существуют готовые решения для бос-терапии: «Реакор-Т», «Энцефалан», «Бослаб», «Кинезис». В основном эти приборы рассчитаны на клиники, медицинские центры. Нередко такие комплексы требуют высокой квалификации для их использования, также они недостаточно эргономичны. Так, вышеуказанный БОС-комплекс «Кинезис» был снят с производства из-за выпуска его беспроводного аналога «Колибри», что свидетельствует о тенденции перехода к интернету медицинских вещей, или IoMT [5]. Адаптированные под частное использование версии таких БОС-комплексов нередко очень ограничены функционально, а также используют один-два канала биологической информации и, следовательно, сильно уступают в качестве проводимых тренингов.

Предлагаемый программно-аппаратный комплекс объединяет в себе достоинства профессиональных систем для работы с биообратной связью и доступность, эргономичность индивидуальных бос-комплексов. Это достигается за счет использования нейроинтерфейса, который позволяет провести более точную оценку состояния пациента за счет неограниченности в программном обеспечении доступных каналов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) и поддержке любого типа оборудования. Также нейроинтерфейс позволяет убрать из программно-аппаратного комплекса некоторые шумы, присутствующие в проводных аналогах.

Структурная схема программно-аппаратного комплекса с биологической обратной связью, реализуемой через нейроинтерфейс, подключенный к персональному компьютеру, приведена на рис. 1.

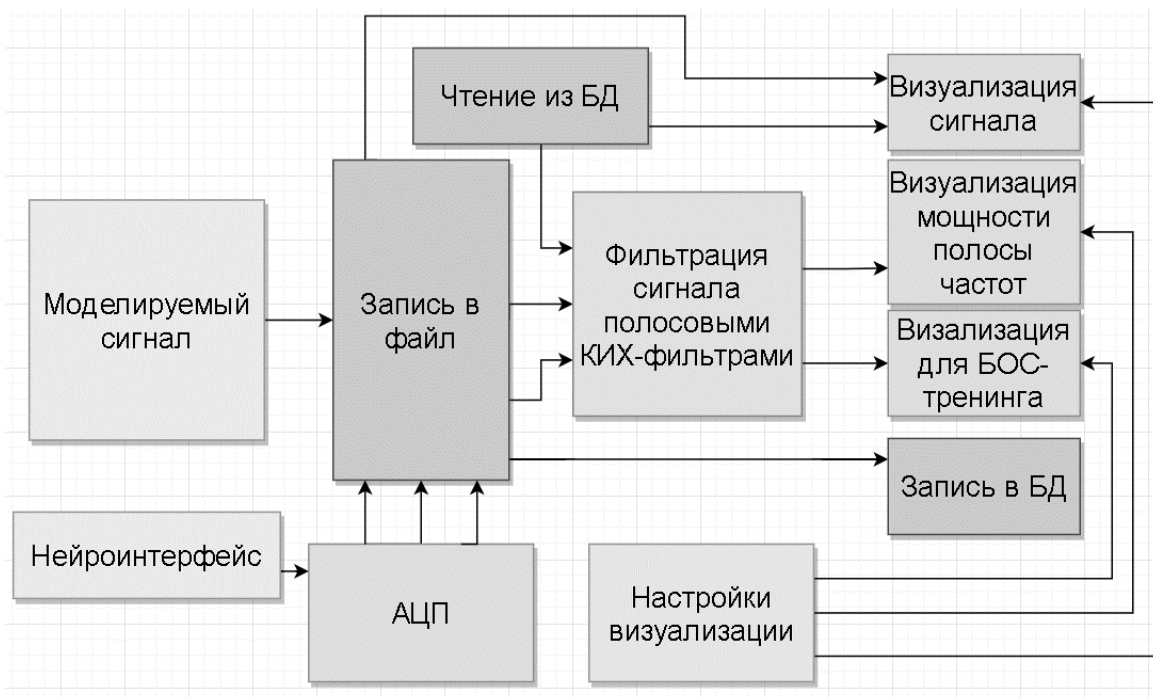


Рис. 1. Структурная схема программно-аппаратного комплекса

Особенностью ПО для программно-аппаратного комплекса является его независимость от типа нейроинтерфейса, производителя, количества имеющихся электродов, так как в обработку принимаются «сырые» сигналы с датчиков, которые впоследствии фильтруются и обрабатываются для визуализации. Имеется возможность моделирования сигнала для оценки составленного тренинга. В программе имеется удобный интерфейс для врача, который хочет оценить текущее состояние пациента. Предусмотрена работа с базой данных и, следовательно, сбор статистики успешности лечения пациента. Данный функционал необходим для покрытия всех потребностей в компетентном проведении терапии и мониторинга пациентов, имеющих ЭЭГ-корреляты определенных неврологических отклонений.

Рассмотрим современные методы проведения мониторинга и терапии с применением комплекса в зависимости от типа заболевания.

Известно, что большое количество медленных волн в мозге является отклонением [4]. Если проблема подтверждается квалифицированным специалистом и не является особенностью нормальной работы мозга пациента, можно применить бос-комплекс двумя способами:

1) в программе имеется удобный интерфейс для врача, который хочет оценить текущее состояние пациента. Врач выбирает визуализацию медленноволнового диапазона в определенной области головы пациента и запускает тренинг, замеряет время, за которое пациент справится (либо не справится) с подавлением этих частот. Это может быть оформлено, например, как исчезновение помех на картинке, которая демонстрируется пациенту на мониторе. Далее врач назначает пациенту медикаментозное лечение и осуществляет проверки эффективности лечения посредством такого же теста через несколько дней. При успешном лечении пациент начнет демонстрировать лучшие показатели, быстрее справляться с подавлением медленноволновых частот;

2) при неэффективности либо нежелательности медикаментозного лечения БОС-тренинг сам может выступать в качестве терапии. В таком случае пациенту проводят тренинги несколько раз в неделю, не менее 10–20 сеансов. При такой терапии мозг сам учится регулировать свои ритмы, навык переходит в осознаваемый, и пациент начинает справляться с заданием быстрее. Данный подход весьма популярен для детей, так как является абсолютно безопасным.

Второй пример – лечение депрессии. Нередко при таком диагнозе у пациента наблюдается дисбаланс альфа-ритма между полушариями [4]. При выравнивании альфа-ритма между полушариями состояние пациента улучшается, часто наступает выздоровление. В данном случае применение прибора аналогично первому примеру. Визуализировать такой дисбаланс можно, например, через шарик, который пациент должен переместить в центр экрана, когда альфа-ритм будет одинаков в обоих полу-

шариях, иначе шарик будет отклоняться влево-вправо в зависимости от места преобладания альфа-ритма.

### Библиографический список

1. Doing Neurofeedback: An Introduction: Richard Soutar, Robert Longo. An ISNR Research Foundation Publication, 2020.
2. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 29 декабря 2012 г. № 1705н «О Порядке организации медицинской реабилитации», «Законы, кодексы и нормативно-правовые акты в Российской Федерации». URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minzdrava-rossii-ot-29122012-n-1705n/> (дата обращения: 05.08.2019).
3. A Symphony in the Brain: The Evolution of the New Brain Wave Biofeedback: Jim Robbins. Crove Press, 2000.
4. Neural Interface: Frontiers and Applications: Xiaoxiang Zheng. Springer, 2019.
5. Интернет медицинских вещей: первые шаги по систематизации / Г. С. Лебедев, И. А. Шадеркин, И. В. Фомина и др. // Журнал телемедицины и электронного здравоохранения. М., 2017.

УДК 550.388.2

**Д. И. Шилов**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**Д. В. Благовещенский** – доктор физико-математических наук, профессор – научный руководитель

### ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ БУРЬ НА РАБОТУ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ

Рассмотрена проблема использования радиоэлектронных средств и связи во время активного воздействия магнитной бури.

С технологическим прогрессом человечества и с развитием все более мощной технической наземной и космической инфраструктуры общества все острее дают о себе знать факторы космической погоды, нарушающие ее нормальное функционирование и создающие серьезные риски при осуществлении космической деятельности. Ионосферные неоднородности, порожденные магнитной бурей, интерферируют с высокочастотной радиосвязью и навигационными сигналами от спутников GPS, нарушая их работу.

Основные источники космической погоды связаны с солнечной активностью. Воздействующими агентами солнечной активности, и, соответственно, источниками космической погоды являются электромагнитное излучение Солнца, энергичные частицы и потоки солнечной плазмы с магнитным полем, которые вызывают в ОКП (околосолнечном пространстве) многообразие физических явлений в разных геосферах (магнитосфере, ионосфере и атмосфере Земли), оказывающих влияние на космическую технику и космические технологии (рис. 1).

Солнечные космические лучи, которые генерируются в солнечных протонных событиях – мощных солнечных вспышках, возникают спорадически и имеют большую интенсивность, которая может на много порядков величин превышать фоновые значения потоков галактических космических лучей, а также они имеют достаточно высокие энергии, иногда до нескольких гигаэлектронвольт. Проникая в магнитосферу и атмосферу Земли, СКЛ – (солнечные космические лучи) многократно повышают радиационную опасность для космонавтов и пассажиров высотной полярной авиации, увеличивают количество одиночных сбоев в работе электроники спутников, нарушают работу оптической и электронной аппаратуры спутников, радиосвязь и вызывают истощение озонового слоя в полярных регионах. События с СКЛ труднопредсказуемы. В течение солнечного цикла (11 лет) можно ожидать более десятка мощных событий СКЛ. В октябре 2003 г. потоки ускоренных солнечных протонов от экстремального события на Солнце воздействовали на спутник SOHO, который находился за пределами магнитосферы Земли и не был ею защищен. Частицы попали в детекторы CCD-матрицы и спутник «ослеп» — изображение Солнца было покрыто «снегом», в то время как спутник КОРОНАС-Ф находился внутри магнитосферы, был защищен ею от потоков ускоренных солнечных частиц, и получил качественное изображение этого экстремального события.

Попадая в оптические звездные датчики (CCD-матрицу), солнечные протоны вызывают такой же эффект, как обычные фотоны, и дают изображение, подобное звезде, на которую настроена ориентация. В результате система ориентации сбивается, спутник начинает кувыркаться, и может произойти полная потеря его ориентации, как это случалось не раз.

В периоды мощных потоков солнечного ветра и выбросов на Солнце граничная точка магнитосферы на дневной стороне может поджиматься от 10–12 до 5 земных радиусов, и вся группировка геостационарных спутников (рис. 2), обеспечивающих мобильную связь, телевидение и т. д., оказывается в межпланетном пространстве вне магнитосферы Земли под воздействием солнечно корпускулярной радиации, которая при обычных потоках солнечного ветра внутрь магнитосферы на эти орбиты не проникает. Такие события хотя и случаются редко, но они способны вывести из строя большое количество спутников, и поэтому необходимы их прогнозы, которые применительно к подобным событиям недостаточно совершенны.

Большие потоки СКЛ, проникающие в магнитосферу Земли во время больших солнечных вспышек, способны вызвать сбой в работе автоматики при осуществлении запусков ракет-носителей, в частности, привести к потере данных в системе управления ракетносителя и повлиять на надежность

запуска. В сентябре 2001 года запуск спутника Kodiak Star был отложен, по крайней мере, на 24 часа из-за сильной солнечной вспышки, которая произвела поток протонов, превышающий допустимый.

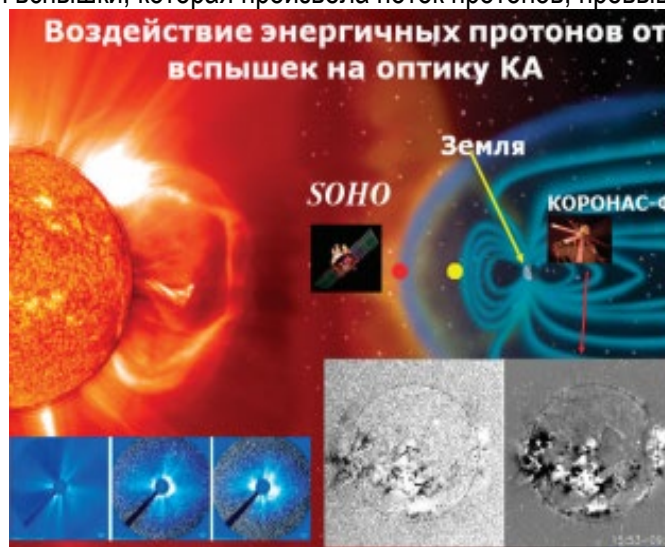


Рис. 1. Воздействие солнечных энергичных протонов на оптическую аппаратуру спутников (источники: НАСА, SOHO, КОРОНАС-Ф)

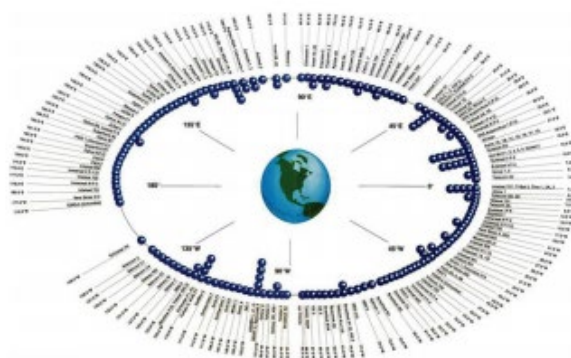


Рис. 2. Группировка геостационарных спутников, обеспечивающих мобильную связь и телевидение

В приполярных областях земного шара солнечные энергичные протоны помимо радиационной опасности для пассажиров высотной авиации вызывают аномальную ионизацию ионосферы, которая приводит к явлению ППШ (поглощение в полярной шапке) — сильному поглощению радиоволн и замиранию радиосвязи на коротких волнах (до 10 суток и более), влияющему на навигацию и связь с авиопилотами. В январе 2005 года по причине возмущенной космической погоды в течение нескольких дней 26 авиарейсов United Airlines были перенаправлены в облет полюса по неоптимальным маршрутам, чтобы избежать рисков, связанных с потерей высокочастотной связи во время явлений ППШ. В результате увеличения длительности полета и дополнительных посадок из-за изменения маршрута возросли расход топлива и стоимость перелетов, нарушились пересадки между рейсами и т. д.

#### Библиографический список

1. Афраймович Э. Л., Перевалова Н. П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. Иркутск, 2006. 480 с.
2. Космическая среда вокруг нас / Н. И. Будько, А. Н. Зайцев, А. Т. Карпачев и др. Троицк, 2005. 232 с.
3. Перевалова Н. П. Оценка характеристик наземной сети приемников GPS/ГЛОНАСС, предназначенной для мониторинга ионосферных возмущений естественного и техногенного происхождения // Солнечно-земная физика. 2011. Вып. 19. С. 124–133.
4. Кузнецов В. Д. Космическая погода и риски космической деятельности.



УДК 550.388.2

**Ю. А. Шмелев**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**Д. В. Благовещенский** – доктор физико-математических наук, профессор – научный руководитель

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ OFDM ТЕХНОЛОГИИ В РАДИОСВЯЗИ

Рассмотрен вопрос перспективности использования OFDM технологии в радиосвязи с учетом анализа современных тенденций в области передачи информации.

В современном мире информация играет ключевую роль в жизни общества. Обладание теми или иными сведениями дает определенные преимущества при решении различного рода задач. Для обладания какой-либо информацией необходимо эту информацию доставить до адресата.

Радиосвязь на расстоянии прямой видимости может быть осуществлена при наличии лишь передатчика и приемника. Для связи с космосом используются специальные сигналы. Для обмена сообщениями в режиме реального времени на расстояния больше прямой видимости необходимо наличие ретрансляторов. В качестве ретранслятора может выступать наземные станции или орбитальные спутники. Системы связи, построенные с использованием наземных и спутниковых ретрансляторов, способны обеспечивать достаточно качественную связь, однако такие системы не способны вести бесперебойную передачу данных при возникновении внештатных ситуаций.

При выходе из строя одной или нескольких ретранслирующих станций, связь прекращается до восстановления узла, вышедшего из строя. Этот недостаток делает такую систему крайне уязвимой. Для непрерывного обмена информацией необходимо создавать системы, в которых не используются ретрансляторы. Это становится возможным при использовании специальных сигналов, а именно сигналов коротковолнового (КВ) диапазона.

Одно из основных отличий коротких волн это способность отражаться от ионосферы Земли. Данные волны могут распространяться по всей поверхности планеты от передатчика к приемнику без использования ретранслирующих станций. Это свойство позволяет осуществлять непрерывную связь по всей земной поверхности.

При использовании коротких волн решается проблема с ретранслирующими станциями, но возникает ряд задач, связанных с особенностями распространения коротких волн.

Ионосфера имеет неоднородную структуру, изменяющуюся с течением времени. При распространении сигнала это свойство ионосферы способствует появлению такого явления как многолучевость, что приводит к межсимвольной интерференции и замираниям в канале связи. Многолучевость создает помехи, что приводит к ошибкам или вовсе к потере полезной информации. Существует ряд мер, направленных на борьбу с последствиями многолучевости, такие как увеличение мощности, разнонаправленный прием, автоматическая регулировка усиления, увеличение защитных интервалов.

Для установления связи необходима тактовая синхронизация. Явление многолучевого распространения способно вызывать флуктуацию фазы, что сильно затрудняет процесс синхронизации.

Для связи в КВ диапазоне создаются специальные адаптивные системы связи. Для решения задачи временной синхронизации могут быть использованы специальные тестовые сигналы. Такие сигналы передаются в канал до информационного сигнала и позволяют системе подстроиться под условия канала передачи данных. Зачастую, в качестве тестового сигнала используют бинарную псевдослучайную последовательность, известную по своим автокорреляционным свойствам. Однако такой способ имеет свои недостатки, например, уменьшение интервала информационного сигнала из-за выделения временного участка под тестовый сигнал, а поскольку речь идет о тактовой синхронизации, тестовый сигнал должен быть перед каждой элементарной посылкой. Такая избыточность приводит к уменьшению скорости передачи данных.

Коротковолновый диапазон имеет меньшую полосу пропускания, по сравнению с ультракоротковолновым диапазоном, а, следовательно, меньшую пропускную способность по формуле Шеннона. Поэтому необходимо использовать специальные виды кодирования информации для наиболее эффективного использования полосы пропускания.

Одним из наиболее подходящих сигналов для КВ радиосвязи являются OFDM сигналы. Само по себе OFDM (*orthogonal frequency-division multiplexing* – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов) является цифровой схемой модуляции, которая использует большое количество ортогональных поднесущих [1]. Каждая поднесущая модулируется по обычной схеме модуляции (например, квадратурная амплитудная модуляция) на низкой символьной скорости, сохраняя общую скорость передачи данных, как и у обычных схем модуляции одной несущей в той же полосе пропускания. OFDM способно противостоять сложным условиям в канале, вызванным многолучевым характером распространения. Низкая символьная скорость позволяет использовать защитные интервалы между символами, что позволяет устранять межсимвольную интерференцию.

Переход к OFDM сигналам позволяет наиболее эффективно использовать спектр, однако при синтезе и обработке подобных сигналов подразумевается наличие достаточно больших вычислительных ресурсов. Но, несмотря на это, переход к OFDM сигналам оправдывает себя, так как многочастотные сигналы позволяют наиболее эффективно использовать частотный диапазон, оставаясь в той же полосе частот.

Часто для установления синхронизации прибегают к использованию синхросигналов, однако синхронизацию таких сигналов можно реализовать и без использования тестовых сигналов. Синхронизация осуществляется по информационному сигналу, используя его избыточность, предоставляемую защитным интервалом между символами. Этот алгоритм позволяет передавать большее количество информации за единицу времени.

При использовании OFDM сигналов важна точная тактовая синхронизация. Поэтому такой тип сигналов пригоден в основном для неподвижных и малоподвижных объектов. Например, в авиации использование OFDM сигналов невозможно, так как наличие доплеровского сдвига играет значительную роль. Решение задачи тактовой синхронизации позволяет значительно повысить достоверность принимаемой информации [2].

Использование OFDM сигналов в КВ радиоканалах является наиболее эффективным способом передачи информации. При использовании таких сигналов много внимания уделяется точности синхронизации, зависящей от способа синхронизации.

#### Библиографический список

1. Бакулин М. Г. Технология OFDM. М.: Горячая линия – Телеком, 2019. 352 с.
2. Шахтарин Б. И. Синхронизация в радиосвязи и радионавигации. М.: Горячая линия – Телеком, 2011. 256 с.

УДК 004.424

**Н. Ф. Агаларов**

студент военного учебного центра

**А. В. Старостин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФРЕЙМВОРКА DJANGO

На сегодняшний день интерактивные приложения играют большую роль в жизни современного общества. Одними из направлений разработки и использования интернет-приложений являются высшие учебные заведения, которые через данные приложения организуют информационный обмен между профессорско-преподавательским составом и студентами, а также представляют информацию, которая позволяет сформировать понятия о учебном заведении (рис. 1). Следует отметить, что это базовый информационный ресурс, который предусматривает возможность наращивания информационных ресурсов за счет разрабатываемых в подразделениях вуза своих моделей, учитывающих особенности подготовки обучаемых.

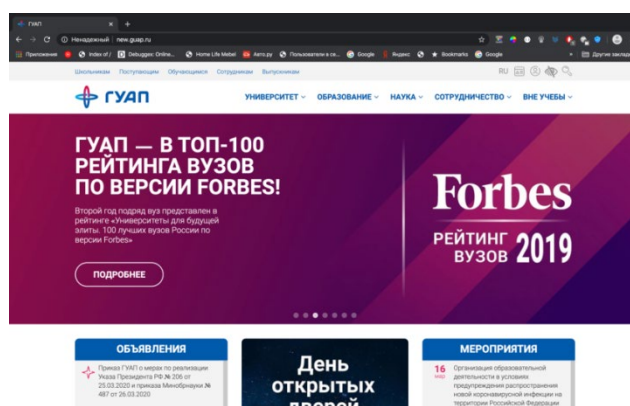


Рис. 1. Главная страница веб-приложения университета

Широкое применение нашли следующие технологии разработки. Это Web-приложения и оконные приложения. Технология Web-приложений на сегодняшний момент пользуются большим спросом. Пользователь независимо от места своего нахождения имеет возможность получить любую нужную информацию для него.

Web-приложение – клиент-серверное приложение, в котором клиент взаимодействует с Web-сервером при помощи браузера. Логика Web-приложения предусматривает распределение функций взаимодействия сервер – клиент. Хранение данных осуществляется на специально созданном независимом сервере. Обмен информацией с клиентом осуществляется благодаря возможности современных компьютерных сетей. Одним из преимуществ такого подхода является тот факт, что клиенты не зависят от конкретной операционной системы пользователя, поэтому веб-приложения являются межплатформенными службами.

Еще одно преимущество Web-приложений – язык разметки HTML и формальный язык описания внешнего вида документа CSS. Эти языки дают возможность разработчику сформировать внешний вид приложения с учетом требований заказчика.

Особенность данного способа разработки – организация взаимодействия пользователя через используемый браузер с независимым сервером данных. Эта особенность может быть плюсом при создании сайта вуза, но есть ли необходимость использовать такую технологию в структурном подразделении, где достаточно локального хранения данных?

Еще одна из технологий – оконный интерфейс. Это способ организации полноэкранного интерфейса программы, в котором каждая интегральная часть располагается в графическом окне. Такая технология разработки приложений в принципе подходит для разработки приложения для подразделения вуза, но графические возможности данного способа уступают HTML и CSS.

Планирование и реализация Web-сайтов всегда сопровождается большими затратами усилий, которые можно минимизировать за счет использования программных платформ, облегчающих разработку и объединение разных компонентов большого программного проекта, в роли которых выступают различные фреймворки.

На сегодняшний день фреймворк Django позволяет на основе использования масштабируемых и легко расширяемых Web-приложений с дизайном любой степени сложности быстро вести разработку высокопроизводительных и полнофункциональных сайтов.

Актуальность выбора данного фреймворка для разработки интерактивного приложения ВУЦ определяется его возможностями [1]:

- максимально быстрое создание веб-приложений на языке Python;
- расширенная комплектация дополнительных функций, позволяющих упростить процессы аутентификации пользователей и карт сайта, администрирования и т. д.;
- реализации системы пользовательской аутентификации;
- работа как с ограниченными проектами, так и с высокими показателями трафика;
- решение разнообразных задач: обслуживание крупных организаций, обеспечение работы вычислительных платформ, менеджмент контента и т. д.

В интересах военного учебного центра при Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения (ГУАП) было разработано интерактивное приложение с использованием фреймворка Django. Возможности приложения позволяют осуществлять хранение и выдачу на отображение файлов различных форматов, при этом база данных интегрирована в приложение, и в случае переноса на другую платформу структура информации остается без изменения, то есть реализована функция автономной работы без привязки к внешним ресурсам. Данное приложение установлено и используется в одной из учебных аудиторий ВУЦ при ГУАП.

Разработка приложения начиналась с создания Front-end – клиентской стороны пользовательского интерфейса. К эргономическим свойствам интерфейса предъявлялись требования наглядности, унификации, структуризации.

В результате главная страница приложения имеет вид, представленный на рис. 2.

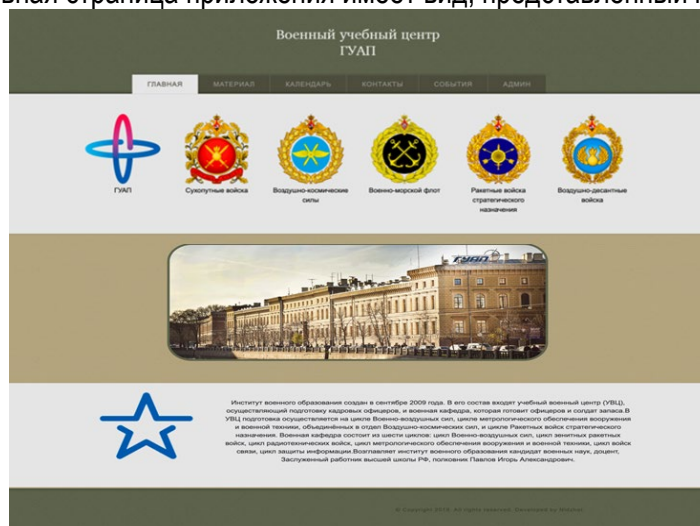


Рис. 3. Главное окно приложения

Элементами фона выбраны: зеленый, бледный серо-коричневый и серый цвета, которые подчеркивают сферу деятельности ВУЦ. Информативную часть страницы формируют логотипы, определяющие структуру информации приложения и предоставляют пользователю возможность быстрого

доступа к любой ее категории. Внешний вид основного здания университета определяет принадлежность подразделения к вузу, а краткая историческая справка показывает значимость.

На этапе разработки возникла необходимость выбора технологии использования относительно большого объема данных с возможностью переноса без потери структуры информации. В результате в качестве инструментального средства выбрана реляционная система управления базами данных MySQL. Это достаточно быстрая, надежная и, главное, простая в использовании СУБД. Данные в ее базах хранятся в виде логически связанных между собой таблиц, доступ к которым осуществляется с помощью языка запросов SQL [2].

Для облегчения процесса корректировки базы данных разработан интерфейс администрирования (рис. 3), облегчающий процесс доступа к базе данных без заполнения структуры SQL запроса. Пользователи-администраторы имеют возможность не только изменять данные, но и структуру самого приложения.

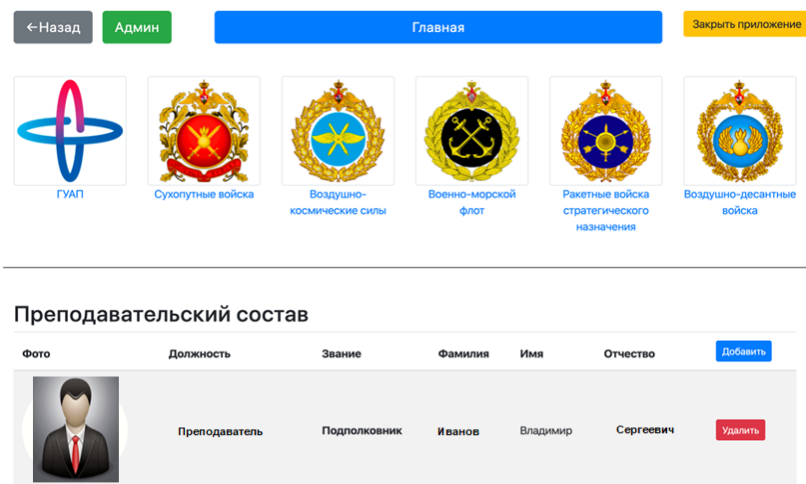


Рис. 4. Панель администратора

Доступ к функции администрирования осуществляется с использованием созданной системы парольной защитой (рис. 4). При начальной загрузке (инсталляции) приложения используется пароль администратора, определенный инструкцией. В дальнейшем имеется возможность создавать и удалять пароли, при этом реализована функция запрета удаления последнего пароля. Сама система защиты от взломов создана с помощью Cookie-файлов.

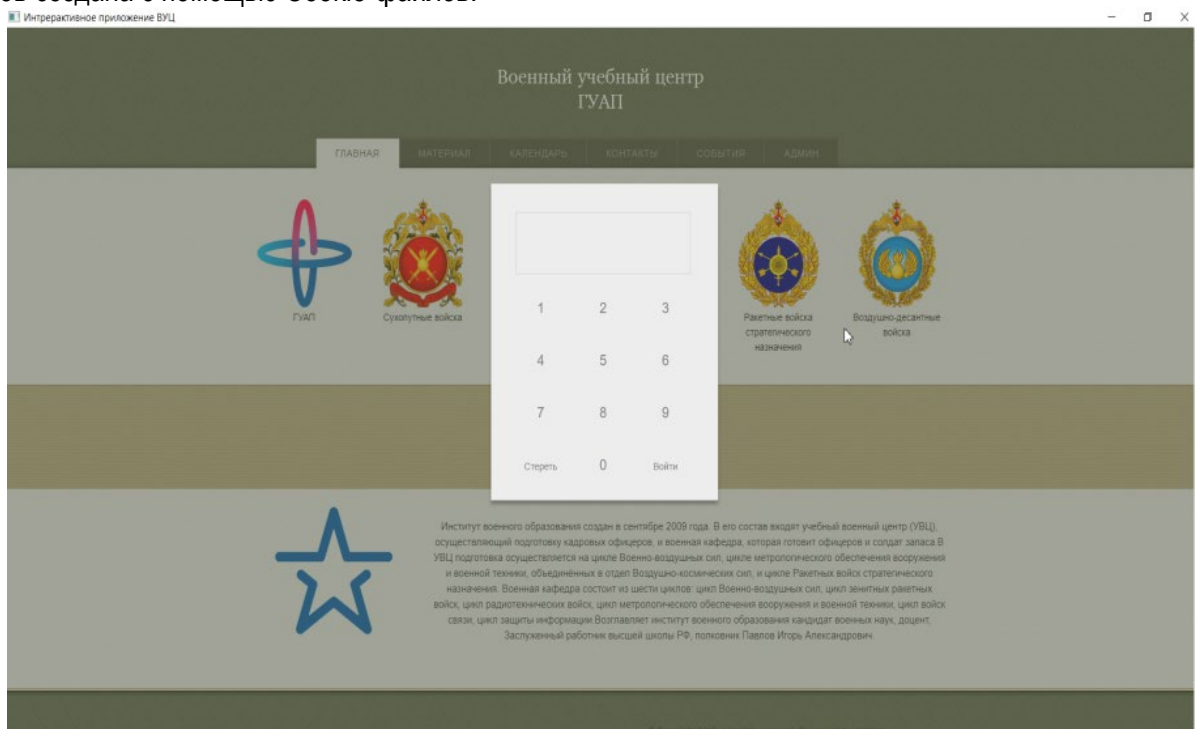


Рис. 5. Доступ к функции администрирования

Интерактивное приложение при запуске не использует Web-технологии, а запускается автономно (рис. 5). Для реализации данной функции использовался модуль Qt WebEngine – движок Web-браузера, обеспечивающий встраивание Web-контента в приложения, созданные с использованием кросс-платформенного инструментария разработки прикладного программного обеспечения создания графических интерфейсов [3], в роли которого использовался фреймворк Django.

Таким образом, было создано оконное интерактивное приложение ВУЦ при ГУАП. Приложение установлено и используется в одной из аудиторий ВУЦ, база данных включает файлы различных форматов (\*.doc, \*.docx, \*.exel, \*.pdf, \*.jpg, \*.tif, \*.mp4 и т. д.).

### Библиографический список

1. URL: <http://www.mysql.ru/docs/bogomolov/> (дата обращения: 18.05.2019).
2. TOP 5 фреймворков Python для Web-разработки в 2020 году. URL: <https://waksoft.susu.ru/2020/01/14/top-5-frejmworkov-python-dlya-web-razrabotki-v-2020-godu/> (дата обращения: 01.04.2020).
3. Daniel Molkentin. The Book of Qt 4: The Art of Building Qt Applications (EN). No Starch Press: 2007. 440с. URL: [https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/l-qt\\_1/](https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/l-qt_1/) (дата обращения: 04.04.2020).

УДК 621.396.9

**Н. А. Венедиктов**

студент военного учебного центра

**А. В. Старостин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ НА РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ

Для обеспечения работы радиотехнических систем, таких как радиолокационные, радиопеленгационные, радионавигационные и другие, необходима оперативная диагностика и прогнозирование состояния ионосферы Земли [1], которая представляет собой сложную динамическую систему, предсказать поведение которой непросто. Сложности предопределяются необходимостью учета всех ионосферных возмущений, возникающих вследствие изменения солнечной активности и элементы космической погоды.

В настоящее время источником информация о воздушной обстановке являются радиолокационные станции (РЛС), размещенные на всей территории Российской Федерации. Современные РЛС позволяют получать информацию о воздушных объектах на больших дальностях и высотах, при этом к точности определения координат предъявляются конкретные требования. В зависимости от территориального размещения радиолокационных станций возникает необходимость определения возможности влияния внешних факторов, обуславливаемых состоянием ионосферы Земли, на реализацию их возможностей.

Анализ показал, что в Арктике помимо внешних факторов, присущих средним широтам, большое влияние оказывают и элементы космической погоды. Это связано со строением магнитного поля Земли. Помехи, обусловленные рассеянием излученной энергии на магнитно-ориентированных неоднородностях (МОН) электронной концентрации E-слоя ионосферы в полярных широтах, оказывают существенное влияние на качество функционирования РЛС дальнего обнаружения (РЛС ДО) метрового диапазона. Наличие такого рода помех приводит к перегрузке системы первичной обработки сигналов, формированию ложных траекторий и снижению удельной доли энергии, идущей на обслуживание реальных объектов [2].

Высокоионизированное облако заряженных частиц в секторе работы РЛС метрового диапазона радиоволн может привести к возникновению ложных целей, повышению значений ошибок, «ослепленнию» РЛС. Уменьшить негативное влияние на работу РЛС возможно с помощью компенсации ионосферных ошибок. Таким образом, задача оперативного определения состояния ионосферы для обеспечения дальнейшей компенсации ее негативного влияния на работу РЛС метрового диапазона радиоволн актуальна [3].

Все неоднородности ионосферы, расположенные в пределах общего объема и облучаемые передающей антенной, становятся источниками рассеянного излучения, которое воздействует на приемную антенну. Мощность сигнала на входе приемной антенны, создаваемая объемом рассеяния (рис. 1), определяется формулой:

$$P_{np} = \frac{P_{и} D_1 D_2 \lambda^2 \eta}{64 \pi^3} \int_V \frac{\sigma' dV}{r_1^2 r_2^2},$$

где  $P_{и}$  – излучаемая мощность, Вт;  $D_1$  и  $D_2$  – коэффициенты направленности передающей и приемной антенн;  $\lambda$  – длина волны, м;  $\eta$  – коэффициент потерь из-за среды распространения, неидеальности трактов обработки сигналов и др.,  $0 \leq \eta \leq 1$ ;  $r_1$  и  $r_2$  – расстояния от передатчика и приемника до центра элемента  $dV$  рассеивающей области, км;  $\sigma'$  – удельная ЭПР, представляет собой отношение полной наблюдаемой ЭПР к величине импульсного объема, освещаемого РЛС (размерность  $m^2/m^3 = 1/m$ ) [2].

Характерные неоднородные образования возникают в ионосфере при вторжении в нее метеоритов. Испускаемые раскаленным метеоритом электроны ионизируют окружающую среду, образуя за летящим метеоритом след, диаметр которого вследствие молекулярной диффузии быстро возрастает. Ионизированные следы создаются в интервале высот 80–120 км, длительность их существования ко-

леблется от 0,1 до 100 сек. Радиоволны зеркально отражаются от метеорного следа. Эффективность этого процесса зависит от массы метеорита [4].

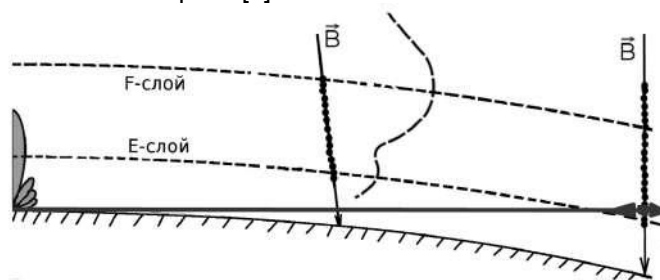


Рис. 1. Рассеяние радиоволн на неоднородностях ионосферы

Во время магнитной бури происходит резкое усиление авроральных высыпаний, и появляются новые области ионосферы, где также наблюдаются высыпающиеся частицы. Непосредственным действием энергичных частиц, будь то электроны или протоны, высыпающиеся в ионосферу, является ионизация нейтральной атмосферы. Высоко энергичные электроны могут проникать в ионосферу до высот 60–70 км. Однако таких частиц мало, спектр энергий высыпающихся электронов имеет максимум вблизи  $\sim 1$  Кэв, поэтому наиболее сильная ионизация будет происходить на высотах слоя *E*. Поскольку высыпания из плазменного слоя происходят только в области аврорального овала, они вызывают здесь повышение концентрации электронов, которое иногда называют «плазменным кольцом». Дневная часть плазменного кольца определяет пик *Ne* в области каспа, а ночная часть формирует полярную стенку главного ионосферного провала [5].

В настоящее время известно несколько основных методов определения состояния ионосферы:

- математическое моделирование;
- использование навигационных приемников;
- применение ионозондов вертикального и наклонного радиозондирования; использование штатных средств РЛС.

Данные методы характеризуются:

- отсутствием недопустимых затрат временного ресурса РЛС, требующего проведения оперативного анализа параметров ионосферы для минимизации ионосферных ошибок;
- оперативностью получения данных;
- возможностью получения данных по текущему состоянию ионосферы;
- высокой точностью получения данных.

Оптимальным для использования при работе РЛС метрового диапазона радиоволн считается метод определения состояния ионосферы с помощью штатных средств РЛС [3].

В одном из режимов работы РЛС имеется возможность реализовать функцию определения состояния ионосферы. Знание текущих параметров РЛС дает возможность внести максимально точные поправки в информацию о воздушных объектах.

Среди методик ионосферного обеспечения оперативностью, глобальностью, пространственно-временным разрешением и в перспективе низкой стоимостью обладают методики, использующие радиофизические методы на основе обработки сигналов космических аппаратов (КА) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), таких как ГЛОНАСС/GPS. Для детектирования крупномасштабных неоднородностей в высокоширотной ионосфере, к которым относятся главный ионосферный провал, высокоширотные провалы, авроральные пики ионизации, полярная полость, можно использовать анализ аномальных отклонений в поведении абсолютного наклонного полного электронного содержания (ПЭС) на отдельных лучах «приемник ГНСС – спутник ГНСС».

С помощью приемников ГНСС активно ведутся исследования крупномасштабных возмущений, которые образуются в авроральной ионосфере во время геомагнитных бурь. На основе ГНС-измерений разработана технология построения глобальных ионосферных карт (Global Ionospheric Maps, GIMs), которая позволяет получать пространственное распределение ПЭС [6].

Для отслеживания состояния ионосферы используют станции вертикального и наклонного зондирования (ВЗ и НЗ). Данные ионограмм российских и зарубежных станций ВЗ позволяют уточнить ма-



тематические модели ионосферы. Современные методы ВЗ и НЗ позволяют существенно уменьшить погрешности ключевых параметров ионосферы [7].

Качество результатов зависит от числа используемых станций и от «наполнения» ими всей корректируемой области. Развитые сети наземных приемников ГНСС обеспечивают непрерывный мониторинг полного электронного содержания ионосферы в глобальном масштабе с высоким (не хуже 30 с) временным разрешением.

Таким образом, в настоящее время данные, необходимые для коррекции моделей ионосферы, имеют достаточное для радиолокации разрешение, что позволяет сделать заключение о необходимости их использования при решении задач определения параметров воздушных объектов по данным радиолокационных станций метрового диапазона волн, размещенных в высокоширотной зоне. При этом необходимо учитывать такой параметр, как частота обновления модели ионосферы, который позволит исключить появление ложных объектов. Также необходимо решить задачу создания единой информационной системы, позволяющей обеспечивать соответствующих потребителей информацией о ионосферных возмущениях, возникающих вследствие изменения солнечной активности и элементах космической погоды.

### Библиографический список

1. *Альперт Я. Л.* Распространение электромагнитных волн и ионосфера. М.: Наука, 1972. 564 с.
2. *Азука К. К., Столяров А. А.* Моделирование функционирования РЛС дальнего обнаружения диапазона УКВ в условиях воздействия естественных пассивных помех, обусловленных влиянием ионосферы. *Фундаментальные исследования* 2016. Т. 6. № 1. С. 9–13.
3. *Дмитриевская А. В., Тимошенко С. В., Логовский А. С.* Метод исследования состояния ионосферы с помощью радиолокационной станции метрового диапазона радиоволн // *Труды V Всероссийской научно-технической конференции*. 2018. С. 882–886.
4. *Порохов А. М.* Физическая энциклопедия. Т. 4. М.: Большая российская энциклопедия, 1994. 701 с.
5. *Космическая среда вокруг нас / Н. И. Будько, А. Н. Зайцев, А. Т. Карпачев и др.* М., 2006. 232 с.
6. *Перевалова Н. П., Ясюкевич А. С., Воейков С. В.* Возможности ГНСС для регистрации ионосферных возмущений в арктическом регионе // *Труды XXVI Всероссийской открытой научной конференции*. 2019. Т. I. С. 264–267.
7. *Брюнелли Б. Е., Намгаладзе А. А.* Физика ионосферы. М.: Наука, 1988. 528 с.

УДК 004.63

**С. А. Гришин**

студент военного учебного центра

**В. В. Грибов** – кандидат технических наук, старший преподаватель – научный руководитель

## РЕЗЕРВНОЕ КОПИРОВАНИЕ ДАННЫХ

Доступность информации является одним из самых важных требований для информационно-ориентированных предприятий. Резервные копии защищают предприятие от потери данных, что позволяет соответствовать требованиям нормативов и соглашений. Резервирование помогает организациям избежать штрафов и осложнений, связанных с требованиями законодательства по сохранности данных.

Архивирование данных позволяет IT-организациям дополнительно сэкономить средства и повысить эксплуатационную эффективность серверов хранения данных. Рассмотрим факторы, определяющие порядок резервного копирования в средах хранилищ, доступных по сети.

Резервное копирование заключается в создании и сохранение дополнительной копии исключительно для восстановления утраченных или поврежденных данных.

Организации создают и обслуживают большие объемы данных, основная масса которых представляет собой фиксированное содержимое, обращение к которому после определенного периода времени происходит довольно редко. И тем не менее для соблюдения нормативных требований эти данные должны храниться в течение нескольких лет. Накопление этих данных в основном хранилище повышает для организации общую стоимость работ. Поэтому накапливающиеся объемы данных должны иметь резервные копии, что в свою очередь увеличивает время, необходимое на проведение резервного копирования.

Процесс архивирования данных заключается в перемещении данных, которые вышли из активного употребления, из основного хранилища в недорогое второстепенное хранилище. В целях соблюдения нормативных соглашений данные в таком хранилище находятся в течение довольно длительного срока. Перемещение данных из основного хранилища уменьшает объем данных, подлежащих резервному копированию, что позволяет сократить время, требующееся на эту операцию.

Одна из целей резервного копирования – обеспечение аварийного восстановления данных. Резервные копии используются для восстановления данных в другом месте, когда основное место обработки информации утратило работоспособность по причине аварии.

На основе целевой точки восстановления -*recovery-pointobjective* (RPO) и целевого времени восстановления -*recovery-timeobjective* (RTO) организации для аварийного восстановления используются различные стратегии защиты данных [1].

При выборе и реализации определенной стратегии резервного копирования первое, чему следует уделить внимание, – это объемы утрачиваемых данных и периоды простоя, приемлемые для организации, выраженные в показателях RPO и RTO. Показатель RPO относится к моменту обязательного восстановления данных и к тому времени, когда нужно перезапустить систему. На его основании определяется периодичность создания резервной копии. Иными словами, показатель RPO определяет частоту их создания. Например, если приложению требуется показатель RPO, указывающий на момент времени, наступающий через один день, резервные копии данных должны создаваться раз в день.

Уровни объемов данных резервного копирования зависят от показателей RTO и RPO. По уровням объемов данных резервное копирование может быть полным – *full*, инкрементальные – *incremental* или накопительным (дифференциальным) – *cumulative (differential)* [2]. Чтобы выполнять требования по резервному копированию и восстановлению данных, используют сочетание этих трех видов резервного копирования (рис. 1).

Полное резервное копирование охватывает все данные производственных томов. Полная резервная копия создается путем копирования данных производственных томов на резервное устройство хранения.

Инкрементальное резервное копирование охватывает данные, изменившиеся с момента последнего полного или инкрементального резервного копирования. Оно происходит гораздо быстрее (по-

сколько охватывает только те данные, которые были изменены), но на их восстановление уходит больше времени.

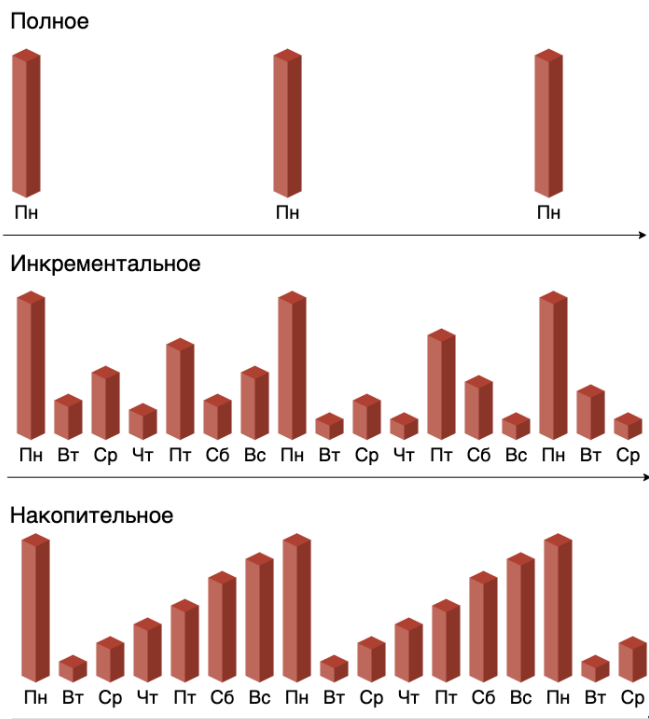


Рис. 1. Уровни гранулярности резервного копирования

Накопительное (дифференциальное) резервное копирование охватывает только те данные, которые изменились с момента последнего полного резервного копирования. Оно занимает больше времени, чем инкрементальное копирование, зато восстановление данных происходит быстрее.

Операции восстановления различаются в зависимости от объема данных резервного копирования. При полном резервном копировании предоставляется отдельное хранилище данных, откуда их можно будет легко восстановить. Для восстановления после инкрементального резервного копирования требуется последняя полная резервная копия и все инкрементальные резервные копии, доступные до момента восстановления. Для восстановления из накопительной резервной копии требуется последняя полная копия, а также последняя накопительная копия.

Для резервного копирования благодаря своей относительной дешевизне широко используются магнитные ленты [1]. Для чтения-записи данных используются ленточные накопители, в которых применяются картриджи (кассеты) с магнитной лентой. Такие накопители обычно называются устройствами с последовательным или линейным доступом, поскольку данные записываются или считываются последовательно.

Благодаря современным технологиям производства в качестве основного устройства хранения резервных копий, на смену лентам приходят недорогие диски [3]. Системы резервного копирования на диски предлагают простоту реализации и более высокое качество обслуживания. Кроме повышения производительности, выражающееся в скорости передачи данных, использование дисков позволяет быстрее восстанавливать информацию.

В большинстве сред резервного копирования диски используются как подготовительная область, куда данные копируются на временной основе перед их переносом или размещением на лентах. Это может существенно ускорить восстановление данных. Например, восстановление 60 Гбайт почтовых данных от 800 пользователей для диска занимает 24 минуты, а с ленты – 108 минут.

Традиционные решения по проведению резервного копирования не обеспечивают встроенной функциональности для предотвращения резервного копирования дублированных данных. В условиях постоянного роста объемов информации и требований по ее постоянной доступности окно резервного копирования сильно сужается. В ходе традиционных процессов резервного копирования в копию попадает слишком много дубликатов данных, что существенно повышает требования к величине окна ре-

зервного копирования и приводит к неоправданному расходу ресурсов, в частности, пространства хранения данных и полосы пропускания сети.

Избавление от дубликатов данных называется процессом обнаружения и устранения избыточных данных. Когда в ходе резервного копирования обнаруживаются дубликаты данных, они отбрасываются, а на экземпляр уже попавших в резервную копию таких же данных создается указатель. Дедупликация данных помогает снизить требования к объему хранилища для резервного копирования, сузить окно резервного копирования и избежать высоких нагрузок на сеть.

Таким образом, применение всех вышеперечисленных технологий приводит к сокращению общих затрат времени и ресурсов на резервное копирование данных. Резервное копирование позволяет защитить данные от потери и повысить эксплуатационную эффективность. Хотя вопросы выбора конкретного носителя резервных копий решаются путем определения показателей RTO и RPO, резервное копирование на основе использования дисков имеет явные преимущества над резервным копированием с использованием ленточных носителей. Это выражается в показателях производительности, доступности, скорости восстановления данных и простоты управления хранилищами данных.

### Библиографический список

1. Казаков В. Г., Федосин С. А. Резервное копирование данных. СПб.: Питер, 2010. 144 с.
2. Смит К., Хейсли С. ORACLE 101. Резервное копирование и восстановление. М.: Лори, 2005. 445 с.
3. Тормасов А. Г., Тименков Ю. В., Тименкова Д. В. Моделирование операции резервного копирования на нагруженной системе. СПб.: Питер, 2011. 40 с.

УДК 004.652.5

**Э. Ч. Гусейнов**

студент военного учебного центра

**В. В. Грибов** – кандидат технических наук, старший преподаватель – научный руководитель

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ORM ТЕХНОЛОГИИ ПРИ РАБОТЕ С БАЗАМИ ДАННЫХ

В современных условиях к управлению большими потокам информации предъявляются повышенные требования. Разработчик программного обеспечения при моделировании базы данных сталкивается со сложностями описания процессов добавления, удаления, отображения элементов данных. В существующих системах для управления базами данных используется язык SQL.

Разработчик при создании интерактивных приложений сталкивается с рядом сложностей: неявное описание схемы базы данных (что приводит к трудностям при слиянии таблиц), взаимодействие с элементами реляционной модели данных (работа с элементами разных форматов), «ручной» режим создания SQL запросов, оптимизация и тестирование кода.

SQL (от англ. – *Structured Query Language*) является языком управления базами данных для реляционных баз данных. Сам по себе SQL не является языком программирования, на котором можно реализовать любую вычислимую функцию, но его стандарт позволяет создавать для него процедурные расширения, которые повышают его функциональность до полноценного языка программирования. Несмотря на существование стандартов, большинство распространенных реализаций SQL отличаются так сильно, что код редко может быть перенесен из одной СУБД в другую без внесения существенных изменений. Это объясняется большим объемом и сложностью стандарта, а также нехваткой в нем спецификаций в некоторых важных областях реализации [1].

Надо отметить, что база данных – это, собственно говоря, хранилище информации и не более того. Однако работа с базами данных трудоемкая и утомительная. Для создания, ведения и осуществления возможности коллективного пользования базами данных используются программные средства, называемые системами управления базами данных (СУБД).

Под системой управления базами данных (СУБД) принято подразумевать комплекс общих и специализированных программных и лингвистических инструментов, предназначенных для управления базами данных (БД) [2].

Основными функциями СУБД являются:

- непосредственное управление данными во внешней памяти;
- управление буферами оперативной памяти;
- управление транзакциями;
- журнализация;
- поддержка языков БД [3].

Системы управления базами данных (СУБД) играют важную роль в организации современных промышленных, инструментальных и исследовательских информационных систем. Тематика СУБД поистине безгранична. На этом и обосновано их существенное представительство на рынке программных продуктов [4].

Одними из ярких самых ярких представителей рынка СУБД являются:

- Oracle Database;
- PostgreSQL;
- MySQL;
- MS SQL Server.

Остановимся на последних двух последних СУБД и проведем их анализ.

Microsoft SQL Server – система управления реляционными базами данных (СУБД), разработанная корпорацией Microsoft. Основной используемый язык запросов – Transact-SQL [5].

MySQL – это реляционная система управления базами данных с открытым исходным кодом. В настоящее время эта СУБД одна из наиболее популярных в веб-приложениях – подавляющее большинство CMS использует именно MySQL (часто только ее, без альтернатив), а почти все веб-фреймворки поддерживают MySQL уже на уровне базовой конфигурации [6].

```

MC SQL SERVER
if exists (select 1
  from sys.sysreferences r join sys.sysobjects o on
(o.id = r.constid and o.type = 'F')
  where r.fkeyid = object_id('Invoice') and o.name =
'FK_INVOICE_RELATIONS_USER')
alter table Invoice
  drop constraint FK_INVOICE_RELATIONS_USER
go
if exists (select 1
  from sys.sysreferences r join sys.sysobjects o on
(o.id = r.constid and o.type = 'F')
  where r.fkeyid = object_id('Invoice') and o.name =
'FK_INVOICE_RELATIONS_PRODUCT')
alter table Invoice
  drop constraint
FK_INVOICE_RELATIONS_PRODUCT
go
if exists (select 1
  from sysindexes
  where id = object_id('Invoice')
  and name = 'Relationship_2_FK'
  and indid > 0
  and indid < 255)
drop index Invoice.Relationship_2_FK
go
if exists (select 1
  from sysindexes
  where id = object_id('Invoice')
  and name = 'Relationship_1_FK'
  and indid > 0
  and indid < 255)
drop index Invoice.Relationship_1_FK
go
if exists (select 1
  from sysobjects
  where id = object_id('Invoice')
  and type = 'U')
drop table Invoice
go
if exists (select 1
  from sysobjects
  where id = object_id('Product')
  and type = 'U')
drop table Product
go
if exists (select 1
  from sysobjects
  where id = object_id('User')
  and type = 'U')
drop table "User"
go
create table Invoice (
  IdUser    int    not null,
  IdProduct int    not null,
  Idinvoice int    not null,
  Cost      decimal not null,
  constraint PK_INVOICE primary key (IdUser,
IdProduct, Idinvoice)
)
Go
MY SQL
alter table Invoice
  drop foreign key
FK_INVOICE_RELATIONS_USER;
alter table Invoice
  drop foreign key
FK_INVOICE_RELATIONS_PRODUCT;
alter table Invoice
  drop foreign key
FK_INVOICE_RELATIONS_USER;
alter table Invoice
  drop foreign key
FK_INVOICE_RELATIONS_PRODUCT;
drop table if exists Invoice;
drop table if exists Product;
drop table if exists User;
create table Invoice
(
  IdUser    int not null comment "",
  IdProduct int not null comment "",
  Idinvoice int not null comment "",
  Cost      decimal not null comment "",
  primary key (IdUser, IdProduct, Idinvoice)
);

```

Рис. 1. Фрагмент скрипта, созданного в Microsoft SQL Server и MySQL

Приведем пример фрагмента скрипта, созданного в Microsoft SQL Server и MySQL на основе одной и той же таблицы базы данных (рис. 1).

Проанализировав код, можно понять, что разработчик при создании базы данных столкнется с неявным описанием схемы базы данных (что приводит к трудностям при слиянии таблиц), взаимодействие с элементами реляционной модели данных (работа с элементами разных форматов) усложняет-

ся, код представляет собой монотонный текст, «ручной» режим создание SQL запросов может привести к грубым ошибкам, а оптимизация и тестирование кода может стать серьезной проблемой.

В настоящее время разработана ORM технология программирования, функционал которой позволяет решить целый ряд проблем при работе СУБД.

**ORM**, или **Object-relational mapping** (*объектно-реляционное отображение*), – это технология программирования, которая позволяет преобразовывать несовместимые типы моделей в ООП, в частности, между хранилищем данных и объектами программирования. ORM используется для упрощения процесса сохранения объектов в реляционную базу данных и их извлечения, при этом ORM сама заботится о преобразовании данных между двумя несовместимыми состояниями.

Большинство ORM-инструментов в значительной мере полагаются на метаданные базы данных и объектов, так что объектам ничего не нужно знать о структуре базы данных, а базе данных – ничего о том, как данные организованы в приложении. ORM обеспечивает полное разделение задач в хорошо спроектированных приложениях, при котором и база данных, и приложение могут работать с данными каждый в своей исходной форме (рис. 2).

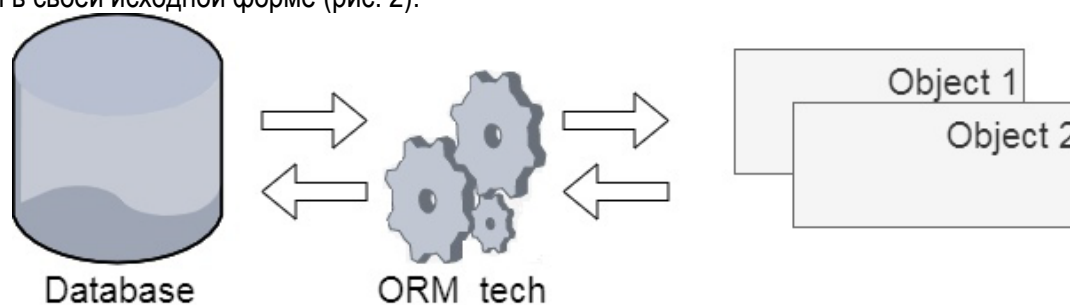


Рис. 2. Принцип работы ORM

Ключевой особенностью ORM является отображение, которое используется для привязки объекта к его данным в БД. ORM как бы создает «виртуальную» схему базы данных в памяти и позволяет манипулировать данными уже на уровне объектов. Отображение показывает, как объект и его свойства связаны с одной или несколькими таблицами и их полями в базе данных. ORM использует информацию этого отображения для управления процессом преобразования данных между базой и формами объектов, а также для создания SQL-запросов для вставки, обновления и удаления данных в ответ на изменения, которые приложение вносит в эти объекты.

В ORM присутствует явное описание схемы БД, представленное в терминах какого-либо языка программирования, которое находится и редактируется в одном месте.

Также присутствует возможность оперировать элементами языка программирования, то есть классами, объектами, атрибутами, методами, а не элементами реляционной модели данных.

Появляется возможность автоматического создания SQL-запросов, которая избавляет от необходимости использования языка для описания структуры БД (DataDefinitionLanguage) и языка манипулирования данными (DataManipulationLanguage) при проектировании БД и изменении ее схемы соответственно. Не нужно создавать новые SQL-запросы при переносе на другую систему управления базами данных, поскольку за это отвечает низкоуровневый драйвер ORM. Технология избавляет от необходимости работы с SQL и проработки значительного количества программного кода, который зачастую однообразен и подвержен ошибкам. Код, генерируемый ORM гипотетически проверен и оптимизирован, следовательно, не нужно беспокоиться о его тестировании [7].

Таким образом, в результате проделанного анализа можно сделать вывод, что работа с базами данных при использовании ORM технологии существенно облегчает деятельность разработчика и положительно влияет на качество и скорость его работы. Использование этой технологии является перспективным направлением для сферы информационных технологий.

### Библиографический список

1. Язык программирования SQL. URL: <http://progopedia.ru/language/sql/> (дата обращения: 04.03.2020).

2. Системы управления базами данных. URL: <https://www.olly.ru/blog/sistemy-upravleniya-bazami-dannyh/> (дата обращения: 06.03.2020).
3. Основные функции субд. URL: [http://libraryno.ru/1-2-osnovnye-funkcii-subd-2015\\_bd/](http://libraryno.ru/1-2-osnovnye-funkcii-subd-2015_bd/) (дата обращения: 06.03.2020).
4. Кузнецов С. Тенденции в мире систем управления базами данных. URL: <http://citforum.ru/database/kbd96/48.shtml> (дата обращения: 07.03.2020).
5. Microsoft SQL Server. URL: <http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82> (дата обращения: 07.03.2020).
6. MySQL – система управления базами данных. URL: <https://web-creator.ru/articles/mysql> (дата обращения: 07.03.2020).
7. Введение в ORM (Object Relational Mapping). URL: <http://internetka.in.ua/orm-intro/> (дата обращения: 08.03.2020).



УДК 004.3

**Б. В. Давидович, А. Э. Пономаренко**

студенты военного учебного центра

**Е. М. Домбровский** – преподаватель – научный руководитель

## РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ПОСТРОЕННЫХ НА БАЗЕ ПЭВМ

В настоящее время информационные технологии (ИТ) широко используются в различных сферах деятельности. Количество персональных или специализированных вычислительных машин растет, и снижения в ближайшей перспективе не предвидится. На базе ИТ-технологий разрабатываются автоматизированные системы управления различного назначения, такие как:

- автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП);
- автоматизированные системы управления производством (АСУП);
- автоматизированные системы управления военного назначения (АСУВН).

Каждая из перечисленных автоматизированных систем представляет собой совокупность комплекса средств автоматизации, организационно-методических и технологических документов и специалистов.

Автоматизированная система может находиться в состоянии: исправном, неисправном, работоспособном, неработоспособном, предельном. Состояние системы напрямую зависит от технического состояния комплекса средств автоматизации, на который возложена функция выполнения основных задач АСУ

Соответственно, проблема надежности является ключевой по отношению к современным информационным системам. Отказ в работе информационных систем может привести к катастрофическим последствиям глобального масштаба [1].

Согласно ГОСТ 24.701-86 под надежностью системы понимается свойство системы сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность системы выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях эксплуатации.

Одним из комплексных показателей надежности является коэффициент технического использования, характеризующий готовность системы выполнять требуемые задачи в данный момент времени при заданных условиях использования, который определяется отношением:

$$K_{ТИ} = \frac{t_{cp}}{t_{cp} + t_в} \quad K_{ТИ} = \frac{t_{cp}}{t_{cp} + t_в},$$

где  $t_{cp}$  – среднее время наработки на отказ;  $t_в$  – время на восстановление.

Значение времени наработки на отказ определяется выбранной элементной базой при разработке отдельных элементов системы.

При определении значения времени восстановления учитывается уровень подготовки обслуживающего персонала, укомплектованность ЗИП, реализация технологии резервирования электронного оборудования, в которой резерв подключен к системе и подменяет вышедший из строя компонент в автоматическом режиме или хотя бы без прерывания работы системы.

Соответственно, обеспечение заданного уровня  $K_{ТИ}$  возможно за счет уменьшения времени восстановления изделия, которое определяется затраченным временем на поиск неисправности, доставки и ремонта отказавшего элемента. Время доставки минимизируется при условии полной укомплектованности ЗИП. Уменьшение времени ремонта отказавшего элемента возможно при условии обеспечения предварительной диагностики.

Комплексы технических средств, которые входят в состав КСА, структурно представляют собой набор ПЭВМ со специальным программным обеспечением. Кроме основных составных устройств ПЭВМ в их составе могут быть установлены устройства, решающие специальные задачи, например: адаптеры сопряжения с внешними датчиками (источниками различной информации).

Техническая документация КСА в случае возникновения неисправности предписывает выполнить операцию замены неисправного модуля (устройства) на исправный из состава ЗИП. В дальнейшем осу-

ществляется отправка отказавшего устройства в ремонтный орган. При таком подходе в случае отсутствия в ЗИП необходимого модуля резко возрастает время восстановления, а при условии наличия исправного модуля снижается показатель укомплектованности, учитываемый при оценке готовности КСА выполнить функциональные задачи.

Ряд возникающих неисправностей ПЭВМ можно определить по внешним проявлениям, а также при визуальном осмотре.

Так, например, одной из основных причины выхода из строя системного блока является неисправности блока питания, которые в свою очередь имеют очевидное и неочевидное проявление [2].

Очевидное проявление: компьютер вообще не работает, появление дыма, сгорает предохранитель системы питания.

Неочевидное проявление: ошибки и зависания при подаче питания; спонтанная перезагрузка и периодические зависания во время обычной работы; хаотические ошибки четности и другие ошибки памяти; одновременная остановка жесткого диска и вентилятора, перегрев процессора; самопроизвольный перезапуск компьютера.

Необходимо отметить, что неочевидные проявления с целью исключения ошибок определения неисправного элемента требуют дополнительной диагностики [2].

Неисправности мониторов имеют следующие внешние проявления: монитор не включается, хотя индикатор питания мигает, при этом монитор загорается на секунду и гаснет, включается и сразу выключается; мигает или гаснет изображение при включении монитора; монитор самопроизвольно выключается по истечении времени или включается не сразу; на мониторе нет подсветки, но изображение просматривается под ярким светом; нет реакции на кнопки управления [3, 4].

Анализ часто возникающих неисправностей составных частей ПЭВМ показал, что ряд из них можно устранить на месте и отправка в ремонтный орган не требуется, к ним относятся [5, 6]:

- потеря емкости электролитических конденсаторов;
- неисправности элементов навесного монтажа схемы управления подсветкой;
- возникающие в процессе длительной эксплуатации микротрещины в пайке;
- неисправность системы охлаждения;
- обрыв контактной группы подключения внешних абонентов;
- неисправности выпрямительных схем блоков питания;
- неисправности системы защиты (предохранительные элементы, термореле и т. д.);
- потеря емкости аккумуляторной батареи.

Процесс поиска неисправности усложняется, когда имеют место так называемые плавающие неисправности, под которыми понимаются дефекты, периодически возникающие в работе компьютера.

Таким образом, на основе опыта эксплуатации ПЭВМ можно сделать вывод о возможности обеспечения заданного уровня коэффициента технического использования ( $K_{ТИ}$ ) за счет уменьшения времени ремонта отказавшего элемента при выполнении следующих условий, с учетом технических решений используемых ПЭВМ:

- внести изменения (дополнения) в эксплуатационную документацию, содержащую перечень возможных неисправностей, устранимых на месте силами обслуживающего персонала, а также сервис-мануалы используемых готовых решений;
- пересмотреть перечень элементов ЗИП россыпью, закладываемых в изделие;
- в состав программного обеспечения включить программы диагностики технического состояния элементов используемой аппаратуры;
- в состав средств измерения добавить необходимые технические устройства и приборы, обеспечивающие оперативную диагностику элементов аппаратуры.

Реализация данных предложений кроме снижения времени ремонта позволит сократить эксплуатационные расходы использования технических систем, построенных на базе ПЭВМ.

Данные предложения особо актуальны для комплексов средств автоматизации гражданского и специального назначения, развернутых и эксплуатируемых в условия значительного удаления от административных и промышленных центров.

**Библиографический список**

1. Чекал Е. Г., Чичев А. А. Надежность информационных систем: учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 1. Ульяновск: УлГУ, 2012. 118 с.
2. Романов В. П. Техническое обслуживание средств вычислительной техники: учебно-метод. пособие. Новокузнецк: ФГОУ СПО, 2008. 79 с.
3. URL: <http://radio-uchebnik.ru/book.html> (дата обращения: 19.01.2020).
4. Тюнин Н. А. ЖК мониторы. Ремонт № 95: Справочник: Солон-Пресс, 2017. 106 с. (дата обращения: 20.01.2020).
5. <http://bourabai.ru/hardware/diagn.htm> (дата обращения: 20.01.2020).
6. <https://maksment.com/malfunction.html> (дата обращения: 20.01.2020).

УДК 621.396.9

**А. С. Демиденко**

студент военного учебного центра

**А. В. Старостин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ЗАМЕТНОСТИ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ В ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ

В настоящее время инфракрасные (ИК) системы получили широкое применение при решении насущных задач в военной технике, промышленности и научных исследованиях, что стимулировало их развитие. Так, ИК диапазон электромагнитных волн широко используется в системах обнаружения и наведения оружия, поэтому фактор заметности летательного аппарата (ЛА) в ИК диапазоне играет значительную роль в результатах ведения боевых действий. Снижение заметности ЛА возможно при реализации мероприятий изменения оптических, инфракрасных и радиолокационных характеристик ЛА.

Инфракрасное излучение ЛА определяется его энергетическими и спектральными характеристиками которые в свою очередь зависят от: режима полета ЛА (скорости, высоты); режима работы двигателей; спектрального диапазона излучения; метеоусловий (температуры, влажности окружающей среды и др.).

Анализ данных об энергетической яркости ИК излучения ЛА в диапазоне 1,8–5,5 мкм, показал, что основными источниками излучения на дозвуковых режимах полета являются двигатель и выхлопная струя. Характер индикатрис ИК излучения во многом определяется типом применяемых двигателей и их компоновкой [1].

В общем случае индикатрисы ИК излучения двигателей ЛА могут быть аппроксимированы функцией вида:

$$I_{изл} = I_{изл.max} \left[ \frac{P}{1 + e * \cos(\gamma - \varphi)} + \alpha \right],$$

где  $I_{изл}$  – сила излучения;  $I_{изл.max}$  – максимальная сила излучения для данной индикатрисы;  $P$ ,  $e$ ,  $\gamma$ ,  $\alpha$  – параметры кривой, определяемые подбором при аппроксимации;  $\varphi$  – азимутальный угол визирования цели.

Современные и перспективные летательные аппараты являются уязвимыми с точки зрения заметности для ракет с ИК головкой самонаведения (ГСН). Основными демаскирующими признаками являются контрастный образ объекта, искажение характеристик фона за счет движения объекта, средняя по поверхности разность радиационных температур объекта.

На форсажном режиме происходит значительный нагрев и характерное свечение не только задних поверхностей планера, но и центральных частей фюзеляжа включая участки крепления крыла (рис. 1).



Рис. 1. Вид современного самолета в инфракрасном диапазоне в форсажном режиме полета

Обнаружить такой объект с помощью современной инфракрасной системы не так сложно даже с 50–60 км, что дает одной из противоборствующих сторон преимущество в «безрадарном» бою [1].

Основными мероприятиями комплексного снижения заметности летательных аппаратов в инфракрасном диапазоне являются:

- применение теплопоглощающих материалов;

- экранирование нагретых частей самолета;
- снижение температуры факела за счет различных добавок в топливо;
- изменение формы сопла двигателя и воздухозаборников;
- смешивание горячего (из сопла) и холодного (наружного) потоков воздуха (система активного охлаждения).

Существующие технологии создания материалов с низким коэффициентом излучения основаны на использовании свойств проводящих материалов, таких как алюминиевые сплавы с различной геометрией и зернистостью [2]. Эти материалы смешиваются с лакокрасочным покрытием, которым окрашивается требуемый элемент ЛА. Этот подход является экономически выгодным, но имеет несколько основных недостатков:

- возможность бортовыми вычислительными системами ГСН воссоздания реальной температуры объекта на основе спектрального анализа излучения;
- для достижения низкой излучательной способности требуется высокая концентрация активного вещества, что в свою очередь снижает свойства материалов, поглощающих радиолокационное излучение.

Способ пространственного смещения теплового образа (ПСТО) объекта, подлежащего защите, заключается в постоянном последовательном повторении формирования теплового образа объекта в различных точках пространства, на отражающих гранях путем последовательного направления на них фокусированного отражения лучистого потока реального и/или имитационного источника объекта с одновременным последовательным замещением граней. Замещение граней осуществляют с частотой, превышающей частоту направления на них фокусированного отражения, при этом осуществляют постоянное сканирующее изменение направления отражения теплового образа объекта, формируемого на отражающих гранях.

Технология снижения температуры отработанных газов, выделяемых двигателями, заключается в выкачке горячего воздуха в холодный поток. Такой метод используется во многих самолетах, которые используют систему снижения эффективной отражающей поверхности. Однако применение данных систем существенно снижает максимальную тягу двигателей, поэтому в основном используется на дозвуковых ЛА. Технический результат – уменьшение температуры газа на выходе из сопла двигателя [3].

Изменение формы сопла двигателя за счет использования гибкого ленточного экрана образуемого вокруг сопла двигателя. Экран образован из одного слоя лент с наложением внахлест каждой последующей ленты на предыдущую. Ленты в нерабочем состоянии свернуты в виде рулонов, а в рабочем – разворачиваются вокруг сопла двигателя, причем поток выхлопной реактивной струи, формируется, таким образом, чтоб создаваемый зазор между коком мотогондолы и реактивной струей двигателя будет использоваться для охлаждения ленточного экрана протоком наружного воздуха [4].

Ленты, используемые для создания ленточного экрана, изготавливают из материала, поглощающего радиолокационное излучение от средств наведения. Причем материал выбирают на основе силиконовой или графитовой ткани – материал эластичный, прочный на разрыв и термостойкий.

Таким образом, на современных летательных аппаратах, которые являются уязвимыми с точки зрения инфракрасной заметности для ракет с ИК головкой самонаведения необходимо выполнять ряд мероприятий снижения уровня их оптической контрастности. При этом необходимо учитывать и целесообразность применения тех или иных способов с учетом важности выполняемых задач летательным аппаратом.

### Библиографический список

1. Лабунец Л. В., Попов А. В. Математическое моделирование индикатрисы спектрального коэффициента направленного теплового излучения покрытий объектов локации // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2009.
2. Патент РФ № 2011122924, 07.06.2011. Полимерная теплоотражающая композиция для покрытия // Патент России № 2467042С1. 2011. Бюл. № 32; авторы: Малова Н. Е., Демченко А. В., Каблов Е. Н. и др.
3. Патент РФ № 2010148312, 20.03.2012. Плоское сопло турбореактивного двигателя // Патент России № 2445486. 2012. Бюл. № 08; авторы: Елагин А. И., Демченко А. В., Пырков С. Н., Марчуков Е. Ю.
4. Патент РФ № 2009148452, 28.12.2009. Устройство для снижения инфракрасной и радиолокационной заметности газотурбинного двигателя // Патент России № 2413161. 2011. Бюл. № 063; авторы: Марчуков Е. Ю., Багдасарян Э.Г. и др.

УДК 004.63

**Д. В. Килин**

студент военного учебного центра

**В. В. Грибов** – кандидат технических наук, старший преподаватель – научный руководитель

## ОБЛАЧНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

В условиях современной конкуренции организации находятся под постоянно возрастающим давлением, поэтому они вынуждены повышать основные характеристики эффективности своей деятельности и вычислительные мощности.

Чтобы адекватно реагировать на постоянно меняющиеся условия ведения бизнеса вычислений и ускоренные темпы инновации, предприятия должны сокращать сроки вывода своей продукции на рынок, повышать доступность предоставляемых услуг и сокращать расходы на сопровождение вычислительных мощностей.

Все эти извечные проблемы решаются с появлением нового стиля облачных вычислений, позволяющих получать и предоставлять ресурсы в виде услуг. Используя облачные вычисления, пользователи могут просматривать и выбирать нужные облачные услуги, предоставляющие вычислительные мощности, программы, хранилища данных или сочетания этих ресурсов. Облачные вычисления автоматизируют поставку пользователям выбранных облачных услуг. Они помогают организациям разворачивать ИТ-ресурсы с сокращением совокупной стоимости владения, более быстрым предоставлением услуг.

Существует несколько путей решения проблемы наращивания мощностей организации.

- собственных дата-центров;
- облачных вычислительных мощностей.

Собственный дата-центр подходит для небольших компаний, так как обладает низкой масштабируемостью, пропускной способностью и надежностью. Дата-центр требует линейного увеличения инженеров, обслуживающих сервера с увеличением количества серверов.

Облачные вычисления же позволяют брать в аренду лишь необходимые вычислительные мощности, что экономит затраты на электроэнергию. Множественная структура облачных дата-центров позволяет поддерживать на достаточном уровне отказоустойчивость, использующих их систем.

*Облачные вычисления* – модель, позволяющая осуществлять сетевой доступ по требованию к единому пулу настраиваемых вычислительных ресурсов (например, сетей, серверов, систем хранения данных), которые быстро выделяются для использования и затем так же быстро высвобождаются, при этом минимизируются усилия администрирования [1].

Существует несколько способов осуществлять необходимые для компаний вычисления на основе облачных сервисов. К высокоэффективным облачным технологиями относятся grid-вычисления, utility-вычисления, виртуализация и сервис-ориентированная архитектура. Выбор той или иной системы вычисления основывается на особенностях каждой компании конкретно.

GRID-вычисления представляют собой разновидность распределенных вычислений, позволяющих предоставлять ресурсы многочисленных разнородных компьютеров, находящихся в сети, для совместной работы по одновременному решению единой задачи. Они позволяют производить параллельные вычисления и наилучшим образом подходят для решения задач с большими объемами работ.

Utility-вычисления представляют собой модель предоставления услуг, в которой поставщик каждой отдельно взятой услуги предоставляет клиентам доступ к вычислительным ресурсам по запросу и ведет учет предоставляемых услуг по факту их потребления. Здесь прослеживается аналогия с предоставлением жилищно-коммунальных услуг, например с обеспечением электроэнергией, где учет ведется на основе фактического потребления.

Виртуализация представляет собой технологию, позволяющую пользователям ИТ-ресурсов абстрагироваться от их физических характеристик. Она дает возможность просматривать ресурсы и управлять ими в составе пула, а также позволяет пользователям создавать из пула виртуальные ресурсы [2].

Сервис-ориентированная архитектура – *Service oriented architecture (SOA)* – предоставляет набор служб, способных взаимодействовать друг с другом. Совместная работа служб позволяет выполнять определенные действия или осуществлять обмен данными друг с другом.

В последнее время такие компании, как Яндекс, Facebook, Amazon, Netflix отказываются от собственных серверов и широко используют облачные технологии, что позволяет:

- уменьшить стоимость предоставляемых услуг за счет оплаты фактических потребленных объемов или по цене их абонирования, что позволяет снизить или исключить капитальные расходы;
- повысить адаптивность вычислительных мощностей, что позволяет сократить время, требующееся на предоставление и развертывание новых приложений;
- обеспечить высокую доступность облачных систем за счет использования избыточной структуры развернутых компонентов.

При этом необходимо отметить, что для открытого использования широким кругом лиц облачных сервисов должна быть реализована модель открытого публичного облака (рис 1).

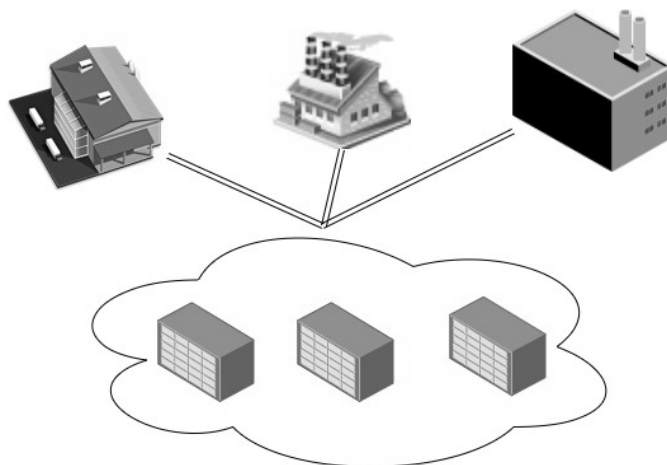


Рис. 1 Схема модели публичное облако

Для исключения возможного взаимного влияния данных нескольких пользователей физически размещенных на одном вычислительном ресурсе поставщики облачных услуг используют технологии виртуализации для создания уровня виртуальной инфраструктуры в виде надстройки над физической инфраструктурой [2]. Виртуализация позволяет обеспечивать соответствие некоторым облачным характеристикам, таким как создание пула и быстрая адаптация к изменению условий использования, при этом позволяет снизить затраты на предоставление облачных услуг.

Виртуализация позволяет абстрагироваться от физических вычислительных ресурсов и создавать общее представление о ресурсном потенциале. Например, пул ресурсов может объединять в один кластер мощности всех доступных в кластере центральных процессоров, сетевой пул – мощности используемой сетевой структуры и т. д. Виртуальная инфраструктура также включает виртуальные вычислительные ресурсы: виртуальные машины, виртуальные тома хранилищ данных и виртуальные сети. Эти мощности на основе требования по обслуживанию потребителя легко и гибко распределяются виртуальными вычислительными ресурсами.

Таким образом, применение всех вышеперечисленных технологий позволяет сократить общие затраты на приобретение оборудования, повысить качество предоставляемых услуг, предоставляет новые и быстрые модели развертывания и распределенную инфраструктуру. Преимущества облачных вычислений являются довольно убедительными для перехода на них. Что уже несколько лет демонстрируется всеми ведущими мировыми компаниями во всех отраслях [3].

#### Библиографический список

4. Сомасундарам Г., Шривастава А. От хранения данных к управлению информацией. СПб.: Питер, 2016. 543 с.
5. Сравнение способов резервного копирования. URL: <https://habr.com/ru/company/selectel/blog/226831> (дата обращения: 11.01.2020).
6. Документация сервиса Яндекс. Облако. URL: <https://cloud.yandex.ru/docs/storage> (дата обращения: 27.12.2019).

УДК 681.5:53.08

**В. В. Кульбик**

студент военного учебного центра

**А. А. Бакланов** – полковник, начальник цикла ВКС – научный руководитель

## ПРИМЕНЕНИЕ ИПИ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ НА ЭТАПЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА: ЭКСПЛУАТАЦИЯ

Представлен подход применения технологии интегрированной логической поддержки для интерактивной электронной технической документации.

Современное воздушное судно является наукоемким и сложным изделием для технического обслуживания. У данной авиационной техники жизненный цикл может переваливать за десятки лет и самым долгим этапом в жизненном цикле является эксплуатация как летная, так и техническая. Для поддержания воздушного судна в исправном и работоспособном состоянии требуется систематическое техническое обслуживание специалистами, снабжение необходимыми материалами и комплектующими и постоянное технико-информационное обеспечение.

Данные требования являются комплексными составляющими и имеют причинно-следственные связи.

Техническое обслуживание заключается в поддержании в исправном и работоспособном состоянии АТ, проведение мероприятий по поддержанию и повышению надежности АТ и обеспечение безопасности полета.

ТО ВС занимают авиационные специалисты, разделенные по профилю: самолет-двигатель, авиационное оборудование, радиоэлектронное оборудование и т. д. – подобное разделение обусловлено большим изобилием наукоемких изделий и, как следствие, требует высокого уровня подготовки инженерно-технического состава. Одной из самых сложных и трудозатратных мероприятий ТО – поиск и устранение неисправностей, которая является комплексной проблемой. Для ее решения используя целый ряд методик и операций по устранению отказов: применение средства объективного контроля, контрольно-проверочной аппаратуры, методик по поиску и устранению отказа, проведения осмотров и т. п., однако данные действия не всегда эффективны и происходит перерасход ресурсов.

Решая вышесказанные задачи, инженерно-технический состав руководствуется только утвержденной бумажной технической документацией, которая не всегда может предоставить всю информацию и быть в доступности.

Исходя из вышесказанного получается, что при формировании сложных авиационных изделий на производстве одной из важных задач является обеспечение ИТС новым видом технико-эксплуатационной документацией.

Для решения подобной задачи актуально применять Информационную Поддержку процессов жизненного цикла Изделия (ИПИ). ИПИ является совокупностью инвариантных принципов, управленческих технологий и технологий управления информационными данными, реализуемых в Едином Информационном Пространстве (ЕИП). ЕИП – это комплекс распределенных баз данных, содержащих сведения об изделиях, производственной среде, ресурсах и процессах предприятия, обеспечивающая корректность, актуальность, сохранность и доступность данных тем субъектам производственно-хозяйственной деятельности, участвующим в осуществлении ЖЦ изделия, кому это необходимо и разрешено. В ЕИП реализуется главный принцип ИПИ (рис. 1): информация, возникшая на любом этапе ЖЦ, сохраняется в ЕИП и доступна всем участникам различных этапов ЖЦ (она может быть доступна в соответствии с имеющимися у них правами пользоваться информацией).

Программный инструментарий – это программные комплексы, используемые на авиационных предприятиях для достижения поставленных целей с максимальной эффективностью.

На этапах проектирования, технологической подготовки производства и производства нужно обеспечить выполнение технологического задания при заданной степени надежности изделия и минимизации материальных и временных затрат.



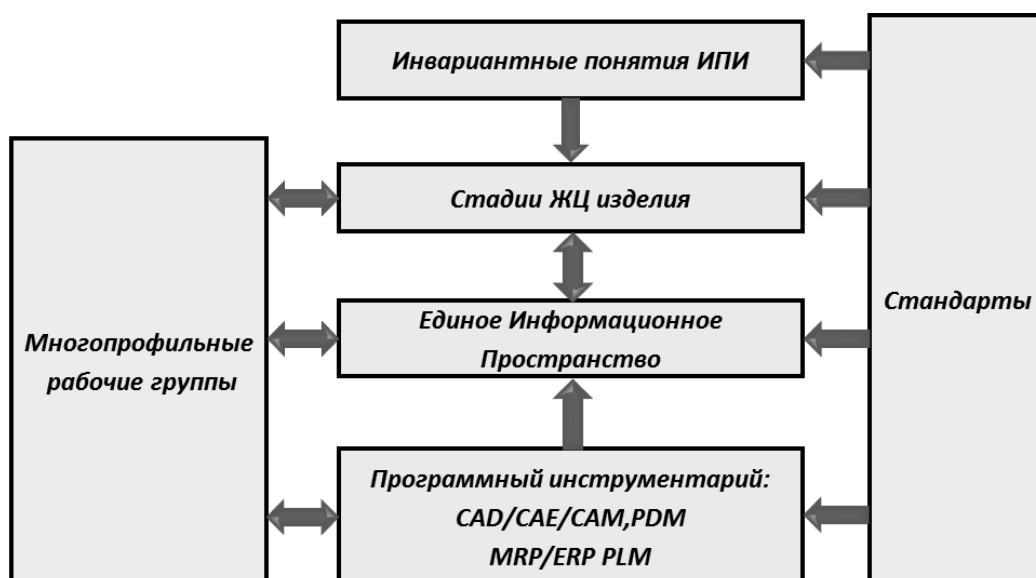


Рис. 1. Схема ИПИ процессов жизненного цикла

За этот период жизненного цикла у АТ формируется документация различного назначения: технические описания, требования, чертежи, вычисления и т. д. В результате формируются целые кластеры технической документации, связанные с авиационными изделиями и для ее структуризации и настройки документооборота широко используются автоматизированные информационные системы (АИС).

Специфика задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла изделий, обуславливает разнообразие применяемых АИС. В зависимости от этапа жизненного цикла используются следующие автоматизированные системы: CAE, CAD, CAM, SCM, ERP, MES, MRP-2, CNC, PDM, CPC, SCAD, CRM (рис. 2):

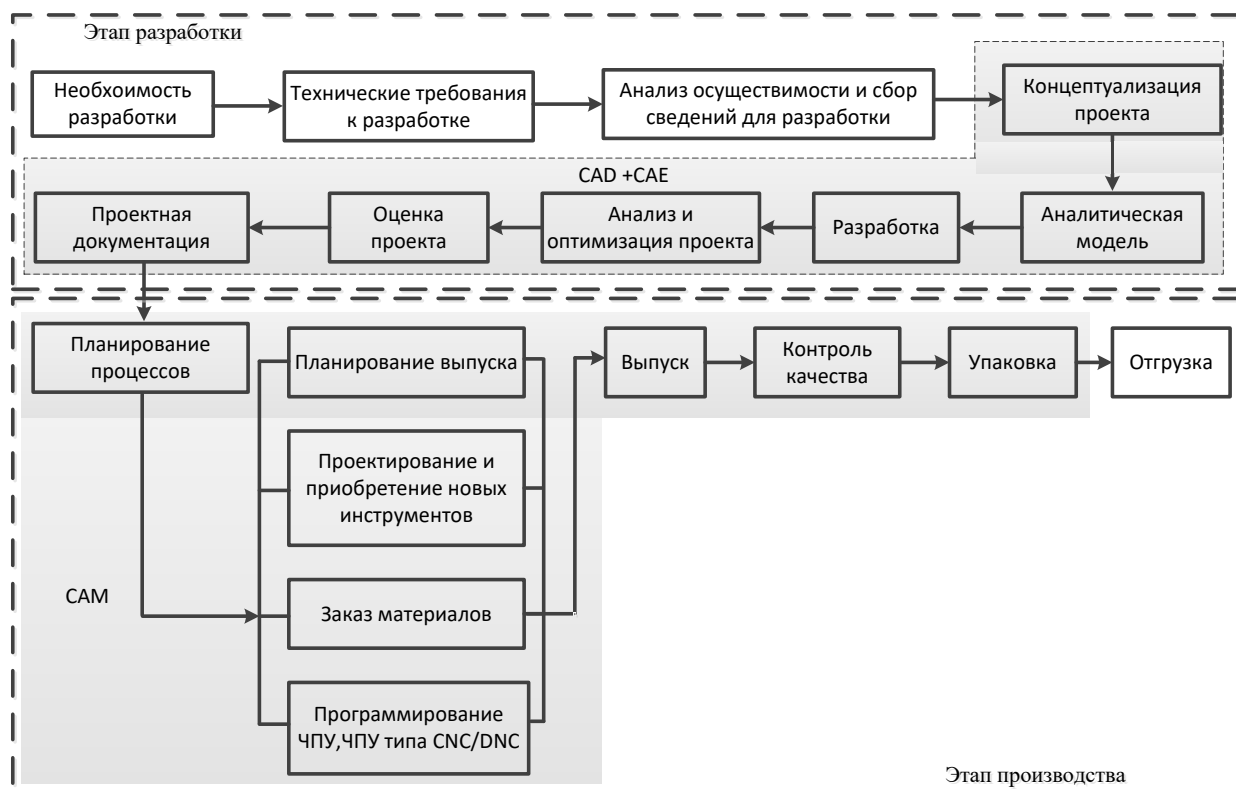


Рис. 2. Этап разработки и производства ЖЦ АТ

CAE – Computer Aided Engineering, система расчетов и инженерного анализа;  
 CAD – Computer Aided Design, система конструкторского проектирования (САПР);  
 CAM – Computer Aided Manufacturing, система автоматизированной системы управления производством (АСУП).

Информационная поддержка этапа производства продукции осуществляется АСУП и автоматизированными системами управления технологическими процессами (АСУТП). АСУП – совокупность аппаратных и программных средств, участвующих в производстве.

К ним относятся станки с ЧПУ, робототехнические комплексы и т. д. Совместно с САПР такие системы в некоторых случаях дают возможность стереть грань между разработкой и производством и выпускать продукты с коротким жизненным циклом.

К АСУП относятся системы:

- планирования и управления предприятием ERP (Enterprise Resource Planning);
- планирования производства и требований к материалам MRP-2 (Manufacturing Requirement Planning);
- производственная исполнительная система MES (Manufacturing Execution Systems);
- управления цепочками поставок SCM (Supply Chain Management) необходимых материалов и комплектующих;
- управления взаимоотношениями с заказчиками CRM (Customer Requirement Management).

Большинство данных систем направлены на планирование производства с экономической точки зрения и выработку решения задач маркетингового характера.

АСУТП контролируют и используют данные, характеризующие состояние технологического оборудования и протекание технологических процессов. Именно их чаще всего называют системами промышленной автоматизации.

Основным недостатком систем АИС является их разработка на различных вычислительных платформах, в различных языковых средах и, как следствие, они несовместимы между собой, что приводит к многократным перекодировкам одной и той же информации для ввода ее в ту или иную систему. Помимо резкого возрастания объемов рутинного труда, это приводит к многочисленным ошибкам и, как следствие, к снижению эффективности систем. Все эти системы являются инструментами для оптимизации этапов производства, но и они не способны обеспечить должным образом организацию логистики технико-информационного процесса на этапе эксплуатации авиационной техники, так как это является масштабной и сложной задачей.

При внедрении данные о ВС в ЕИП каждый участники формирует на своем этапе ЖЦ проверенную информацию, которую в дальнейшем можно использовать для разработки Интерактивной электронной технической документации (ИЭТД) [1].

ИЭТД – это электронная документация, обеспечивающая обновленной и достоверной информацией потребителю с применением цифровых 3D-моделей. Отличительной характеристикой ИЭТД является интерактивность, возможность специалиста взаимодействовать с электронной структурой и получить необходимые сведения о процессах и процедурах. Данный программный комплекс – структурирован: каждая функция для разработки руководства выполняется отдельной программой [2].

В военном учебном центре при ГУАП ведется разработка ИЭТД ВС Ан-26 для специалистов авиационного оборудования (рис. 3).

В ЕИП интегрировались ряд электронно-технических документов, модели реальных авиационных блоков из CAD – программ и т. п. После дальнейшей цифровой обработки, вся документация синтезируется в программе и предоставляется пользователю [3].

Конечный результат ИЭТД компилируется и используется в ПО пользователя (рис. 3) и состоит из следующих категорий: техническая документация; цифровой системы визуализации и меню, для обеспечения интерактивного взаимодействия с пользователем.

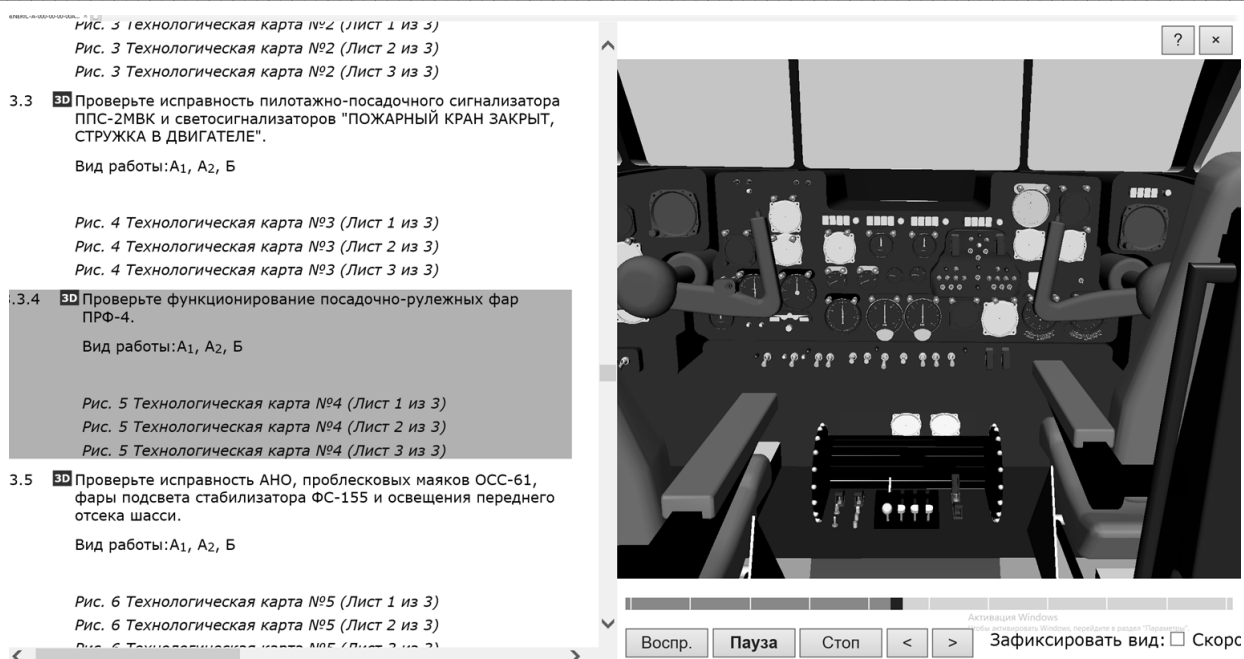


Рис 3. ИЭТД по техническому обслуживанию и ремонту ВС Ан-26

### Библиографический список

1. Судов Е. В. Технологии интегрированной логистической поддержки в процессах жизненного цикла авиационной техники. М.: Эдитус. 2018. 174 с.
2. Судов Е. В., Левин А. И. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России. М., 2002. 28 с.
3. Пестрецов С. И. CALS-технологии в машиностроении: основы работы в CAD/CAE-системах. М.: ГОУ ВПО ТГТУ. 2010. 104 с.

УДК 37.013.41

**А. А. Малащенко**

студент военного учебного центра

**А. А. Черноусов** – кандидат исторических наук, доцент – научный руководитель

### ИСТОРИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И СЛУЖБЫ ЛИНЕЙНОГО КОРАБЛЯ «ИНГЕРМАНЛАНД» (1715 г.).

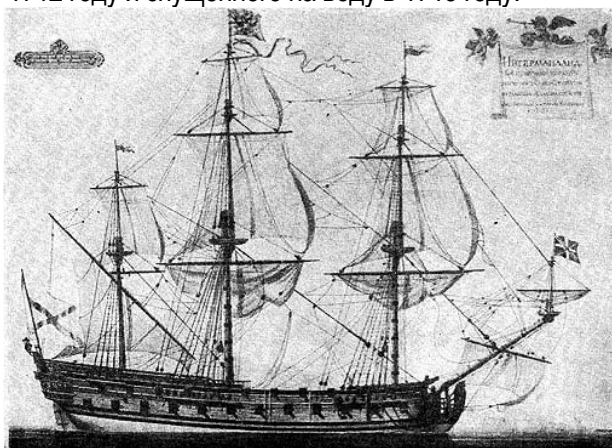
В статье авторы рассматривают историю строительства и службы линейного корабля «Ингерманланд» с использованием документов Российского государственного архива Военно-морского флота. Они приводят данные корабля и рассматривают нововведения и усовершенствования, установленные Петром I в процессе проектирования и постройки корабля.

Азовские походы и первые сражения Северной войны, показали отставание в развитии и вооружении российской армии и необходимость сильного флота. Петр I, понимая это, начал строительство кораблей для Азовской флотилии. Опыт, полученный при строительстве Азовской флотилии, стал существенным заделом, который обеспечил победу России в тяжелой Северной войне. При строительстве Балтийского флота, наша страна сделала ещё больший шаг вперед – она получила опыт строительства линейных кораблей.

Одним из лучших образцов кораблестроения Петровской эпохи считается 64-пушечный линейный корабль «Ингерманланд». Он был заложен в Санкт-Петербургском адмиралтействе 30 октября (10 ноября) 1712 года. Корабль был назван в честь земель под названием Ингерманландия, отвоёванных у шведов в начале Северной войны, которые располагались в устье Невы.

Изначально, создавая ядро регулярного флота, Петр I делал упор на постройку фрегатов. Следующим шагом развития кораблестроения стало строительство кораблей для боя в линии, которые позже получили название линейных кораблей. Они стали основной ударной силой флота в борьбе с сильным шведским флотом. Одним из самых первых представителей этого класса считается «Ингерманланд».

Строился корабль английским мастером, находившимся на русской службе, Ричардом Козенц, которого Петр пригласил в Россию. Уже в 1700 году Козенц уже занялся кораблестроением в Воронеже. По заданию Петра I он строил два 70-пушечных корабля «Старый дуб» и «Спящий лев», а затем на верфях Таврово и Осередка еще шесть 80-, 48- и 24-пушечных судов. В 1711 году Козенца переводят на службу в Санкт-Петербургское адмиралтейство, где его талант проявился со всей полнотой на строительстве корабля «Ингерманланд», заложенного в 1712 году и спущенного на воду в 1715 году.



*Внешний вид «Ингерманланда». 1715 г. (реконструкция И. Иванова и А. Константинова) [4]*

Проект «Ингерманланда» разрабатывал, лично Петр I. Это был двухпалубный трехмачтовый 64-пушечный линейный корабль. Проект вобрал в себя все технические достижения тех лет: отличную огневую мощь, великолепную мореходность, высокую прочность. Так, в проект был внесен ряд усовершенствований – шпации заполнялись деревянными брусками, превращавшими набор корпуса в единое целое и существенно усиливавшими прочность корпуса. Фок- и грот-мачты уже несли не по два, а по три прямых паруса. Петр по новому подошел и к размещению артиллерии: 24 пушки (30-фунтовые) были установлены на гон-деке в кор-

пусе корабля; на опер-деке, стояли 24 орудия (16-фунтовые); на шканцах и форкасле стояли 16 пушек 4-фунтового калибра. Масса залпа корабля «Ингерманланд» составляла 1104 фунта.

В 1835 году выдающийся русский судостроитель А. А. Попов восстановил чертежи и декор петровского «Ингерманланда» и опубликовал свою работу в «Записках ученого комитета Главного морского штаба», приложив и чертежи к опубликованному материалу. Вот мнение Попова о проекте Петра I: «...Плавные размерения даны весьма пропорционально... Развитие шпангоутов его образовано с приятностью... разность между носовою и кормовою частями соответствует весьма сильному действию воды на руль... а носовая часть корабля удовлетворительна легкому восхождению на валы...». А. А. Попов рассчитал водоизмещение, с учетом 30-фунтовых пушек на гондеке, около 2 тысяч тонн.

Из описания корабля, сделанного А. Поповым: «Сей корабль является элементом искусства, как его артиллерия, так и элемент подводной части. При первом осмотре чертежа можно сказать, что корабль сделан весьма пропорционально, увеличили разность, чтобы тяжесть артиллерии и припасов была меньше ощутима для крепости корпуса судна, а главное для уменьшения шпангоутов от которых зависит увеличение скорости хода» [7]. Корпус корабля был образован дугами круговых линий (формой шпангоутов). В те времена использование круговых линий в чертежах, являлось новшеством, так как это стало возможно благодаря развитию математических наук в Англии, России и Швеции. В труде Н. Г. Устрялова «История царствования Петра Великого» описан интересный случай, Петр I, обучавшийся в Голландии, просит у Корабельного мастера чертежи, на что Петр получает ответ, что корабельные мастера делают все на глаз, что сильно поразило будущего императора [8]. После этого Петр окончательно потерял доверие к голландским кораблестроителям и послал окольному Протасьеву повеление: всех голландских мастеров, работавших в Воронеже, подчинить надзору мастеров датских и венецианских [1].

Математические новшества, внесенные в чертежи корабля, улучшили мореходные качества.

Есть предположение, что эскизы декоративного убранства «Ингерманланда» выполнялись самим Петром I, этому делу он учился у известного голландского художника Адама Сило. Несомненно, что украшение корабля царю очень нравилось, так как он повелел позже декоратору Николо Пино снять чертежи кормового балкона корабля для украшения павильона Эрмитажа в Петергофе.

После ходовых испытаний корабля Петр I писал Р. Козенцу: «...Объявляю Вам, что «Ингерманланд» на парусах зело изрядный, так что лучше его нет, и только не отстают от него братья его; а приемыши все назади...» 1 мая 1715 года «Ингерманланд» был спущен на воду и введен в состав Балтийского флота флагманским кораблем эскадры [2].

«Ингерманланд» был флагманом в кампаниях 1715, 1716, 1718, 1719 и 1721 годов, а в 1716 году «Ингерманланд» был флагманом объединенной англо-датско-голландско-русской эскадры в сражении у Борнхольма.

С 1725 года корабль в море не выходил. К 1738 году корпус прогнил, корабль заполнился водой и сел на мель в Кронштадтской гавани. После 1739 года он был разобран на дрова.

Петр I считал корабль «Ингерманланд» передовым кораблем своего времени. На чертеже в центре листа можно заметить указание Петра I «Судно «Ингерманланд» должно сберечь с прочими для памяти» [5]. Его замысел заключался в том, чтобы сохранить судно, поскольку он знал, что чертежи были не полными, да и те могли быть повреждены, утеряны или уничтожены. Развитие судостроения продвигалось в России столь интенсивно, что для сохранения судовых чертежей в целости и сохранности не хватало ни времени, ни людей, обладающих необходимыми навыками. Кроме того, они претерпевали значительные вариации и изменения, вносимые с целью совершенствования размерений судов.

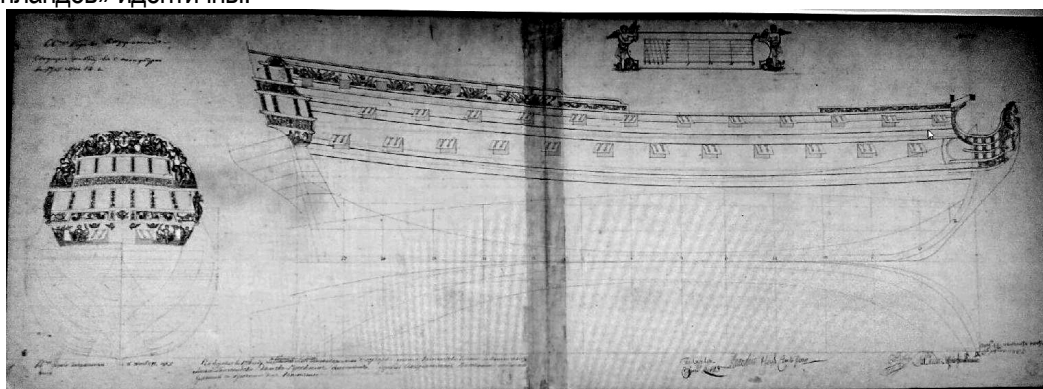
Разработки и усовершенствования, вложенные в «Ингерманланд» послужили хорошему толчку для кораблестроения в целом. Это можно проследить на последующих линейных кораблях, например, корабли «Архангел Гавриил», 66-пушечный «Ингерманланд» Гаврилы Миньшикова (1735) [6]. Их чертежи были составлены на основе петровского «Ингерманланда».

Сравнение размерений двух «Ингерманландов» показало, что для судна 1715 года длина орудийной палубы составляла 151 фут, теоретическая ширина 42 фута, а высота трюма 18 футов 3 дюйма. Соответствующие размерения для судна 1735 года выглядели следующим образом: 155 футов, 41 фут 10 дюймов и 19 футов 8 дюймов. До сегодняшних дней сохранился чертеж «Ингерманланда», составленный Гаврилой Миньшиковым в соответствии с заданными Петром пропорциями и одобренными им чертежами. Этот чертеж демонстрирует, насколько судно 1735 года походило на оригинал 1715 года. Интересной деталью чертежа

является значительное количество подписей, проставленных на нем разными людьми в разное время. Две из них точно датируют чертеж 1732–1733 годами. Адмиралтейские документы тех времен показывают, что декор на судах Козенца и Меньшикова был идентичным [4].

В 1835 году начальник Главного морского штаба принял решение опубликовать чертеж «Ингерманланда». Известный русский судостроитель А. Попов получил указание выполнить копию чертежа, проанализировать мореходные качества и подготовить описательный отчет. Свои соображения и расчеты Попов изложил в 1835 году в «Записках Ученого комитета Главного морского штаба». К этим «Запискам» был приложен чертеж реконструкции «Ингерманланда» и его декора, сделанный Александром Андреевичем, вероятнее всего, по подлинным материалам петровской эпохи. А. А. Попов получил задание от Ученого комитета Главного морского штаба реконструировать именно петровский «Ингерманланд», о чем и говорится в его статье [3].

В своем отчете Попов охарактеризовал чертеж как работу Петра Великого и Козенца, несмотря на присутствие на чертеже подписи Меньшикова и отсутствии подписи Козенца, и утверждал, что конструкции двух «Ингерманландов» идентичны.



Чертеж корабля «Ингерманланд» [5]

Как уже говорилось выше, ни подлинных чертежей, ни модели, достоверно изображающей корабль, не сохранилось. Находящаяся в Центральном военно-морском музее модель, ошибочно считавшаяся изображением петровского «Ингерманланда», на самом деле модель одного из более поздних «Ингерманландов». Как известно, такое название в русском флоте носило шесть кораблей: постройки 1715 года (петровской), затем построенные в 1733, 1752, 1773 и два в 1843 годах. Первый имел 64, три следующих 66 и два последних по 74 пушки [4].

Необходимо подчеркнуть, что по типу «Ингерманланда» (с некоторыми усовершенствованиями) корабли в русском флоте строились вплоть до конца XVIII века. Первый дальний поход (в Средиземное море) моряки-балтийцы под командованием адмирала Г. А. Спиридова совершили в 1769 году на кораблях именно этого типа. Уничтожив годом позже огромный турецкий флот в сражении при Чесме, наши моряки прославили Россию как великую морскую державу.

#### Библиографический список

1. Брикнер А. Г. История Петра Великого. М., 1996.
2. Веселаго Ф. Ф. Список русских военных судов с 1668 по 1860 г. СПб, 1872. С. 12–66.
3. Записки Ученого комитета Главного морского штаба. СПб., 1835. Ч. XII.
4. Иванов И. А., Константинов А. С. «Ингерманланд» – флагманский корабль Петра I. Л.: Судостроение, 1978. № 1.
5. РГАВМФ. Ф. 327. Оп. 1. Д. 5243.
6. РГАВМФ. Ф. 327. Оп. 1. Д. 199.
7. РГАВМФ. Ф. 345. Оп. 1. Д. 279.
8. Устрялов Н. Г. История царствования Петра Великого. СПб.: Тип. II-го Отделения Собств. Его Имп. Вел. Канцелярии: в 8 т. 1858.

УДК 004.032.26

**А. А. Михалев, И. А. Ротанов**

студенты военного учебного центра

**А. В. Старостин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТАХ В ЕДИНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Необходимость, перспективность и целесообразность создания и адаптации систем искусственного интеллекта для военного применения не вызывает сомнений, и усилия по его внедрению в стоящие на вооружении и перспективные системы предпринимаются всеми ведущими странами мира [1].

В системах, которые способны получать информацию о воздушных объектах решаются задачи обнаружения воздушных объектов их распознавания и классификации. Эти задачи решаются в единой автоматизированной радиолокационной системе (ЕАРЛС) Российской Федерации. Основу ЕАРЛС составляют радиолокационные станции (комплексы) и средства автоматизации. Радиолокационные системы реализуют функцию получения радиолокационной информации о воздушной обстановке и решают задачи первичной обработки. Автоматизированные системы в автоматическом режиме, решают задачи взятия объектов на сопровождение, в процессе сопровождения распознавания, классификации и выдачи информации потребителям. При этом все решаемые задачи выполняются строго в соответствии с заданным алгоритмом вычислений. Эти системы не являются системами с искусственным интеллектом по причине того, что не являются самообучаемыми.

Одной из значимых задач на этапе принятия решения по воздушному объекту является задача определения типа этого объекта, что позволяет принять решение о возможных вариантах действия обнаруженного объекта. Эта функция имеет огромное значение как в условиях ведения боевых действий, так и в мирное время. Достаточно вспомнить, серию террористических актов, совершенную в США 11 сентября 2001 года.

Существующие библиотеки образов, используемые в системах обработки радиолокационной информации, позволяют сократить время классификации, но библиотеку необходимо поддерживать в актуальном состоянии. И наращивание информационных возможностей в определенный момент времени приведет к необходимости увеличения объемов элементов памяти. При этом в памяти будут храниться данные по объектам, вероятность обнаружения которых в настоящее время значительно мала или вообще не возможна (в связи с прекращением эксплуатации этих объектов).

Соответственно, возникает задача разработки элементов специального программного обеспечения, которые позволили бы учесть все особенности формирования и актуализации библиотеки образов. Одним из путей решения данной задачи является интеллектуализация отдельных функций, в частности разработка подсистемы, сокращающей время принятия решения на основе анализа параметров движения воздушных объектов. Данная подсистема должна выполнять ряд функций, одной из которых является определение типа воздушного объекта по результатам первичной обработки, что позволит обеспечивать актуальное состояние базы типов объектов.

Быстроизменяющаяся воздушная обстановка, изменение тактики действия, совершенствование тактико-технических характеристик воздушных объектов предопределяют необходимость использования нейросетевых технологий для реализации данного элемента системы. Технология обеспечит функционирование системы не только в соответствии с заданным изначально алгоритмом, но и на основании используемого ранее опыта совершенствовать процедуру классификации воздушных объектов за счет снижения времени данной операции. Иначе говоря, в системе будет реализована функция самообучаемости

Структура предлагаемой нейронной сети (рис. 1) в первой итерации позволяет выделять базовые типы классификации: самолет, вертолет, ракета, газонаполненный аппарат. Во второй итерации решается задача выделения подтипа базовой классификации.

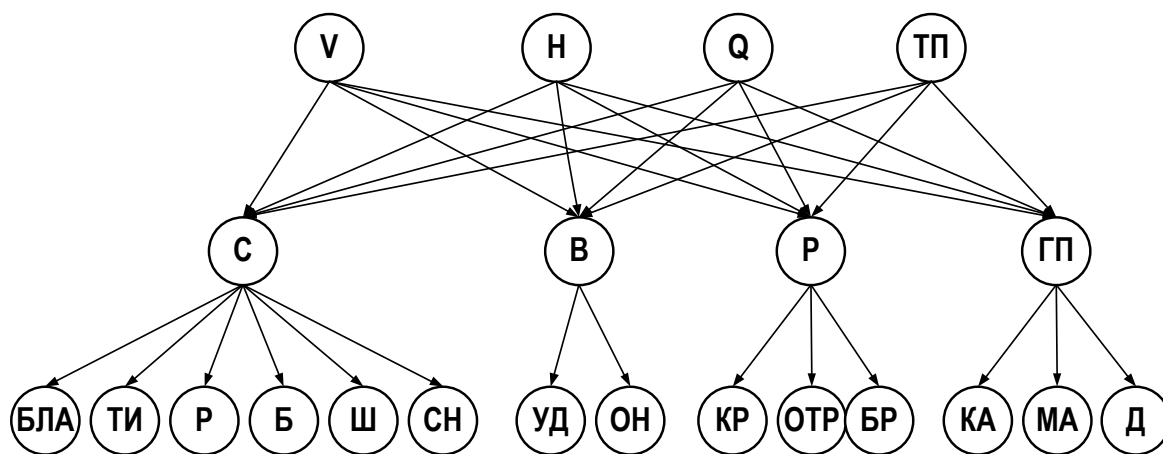


Рис. 1. Обобщенная структура нейросети

Анализ тактико-технических характеристик, возможностей, принципов построения воздушных объектов, библиотек образов, используемых в системах обработки радиолокационной информации, позволяет выполнить обобщенную классификацию подтипов ВО представленную в табл. 1, которые с высокой точностью смогла бы выделить система, построенная с использованием нейросетевых технологий [3].

Таблица 1

Типы и подтипы ВО

Аэродинамические			Аэростатические
Самолеты	Вертолеты	Ракеты	Газонаполненные аппараты
разведчики	ударные вертолеты	крылатые	крупные аэростаты
тактические истребители			
бомбардировщики			
самолеты специального назначения	общего назначения	оперативно-тактические	малые аэростаты
штурмовики		баллистические	дирижабли
БЛА			

Каждый из выделенных элементов классификации можно описать множеством параметров, значение которых позволяет с определенной степенью уверенности принять решение о типе объекта, по условию:

$$O_i = \{V_i, H_i, \theta_i\},$$

где  $O_i$  – объект классификации,  $V_i = \{v_m, v_c, v_b, v_{cb}\}$  – множество анализируемых интервалов скорости,  $H_i = \{h_{nm}, h_m, h_c, h_b, h_{cb}\}$  – множество анализируемых интервалов высоты,  $\theta_i = \{\partial_{om}, \partial_{mc}, \partial_m, \partial_c, \partial_{cb}, \partial_b\}$  – множество анализируемых интервалов значений эффективной площади рассеивания.

Весовые коэффициенты входных каналов нейрона предлагается осуществлять с использованием математического аппарата оценок Фишборна [3] по условию:

$$w_j = \frac{2(n - j + 1)}{n(n + 1)},$$

где  $n$  – количество анализируемых интервалов параметра;  $j$  – номер анализируемого параметра по степени важности, чем меньше значение, тем выше значимость.



Интервалы значений параметров и соответствие значения объекту представлены в табл. 2.

Таблица 2

	Скорость, км/ч				Высота, м					ЗОП, м <sup>2</sup>					
	м	с	б	сб	пм	м	с	б	сб	ом	мс	м	с	сб	б
	10-100	101-500	501-1000	1001- и бол.	50-500	501-1000	1001-4000	4000-10000	10000-и бол.	0,01-0,1	0,11-0,5	0,51-1,0	1,1-5	5,1-10	10,1-и бол.
Самолет	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Вертолет	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0
Ракета	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Газонаполненный	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0

Каждому элементу множества анализируемого параметра можно сопоставить значение коэффициента важности, в зависимости от степени опасности. С учетом предложенного подхода к расчету весовых коэффициентов, полученные значения представлены в табл. 3.

Таблица 3

	Скорость, км/ч				Высота, м					ЗОП, м <sup>2</sup>					
	м	с	б	сб	пм	м	с	б	сб	ом	мс	м	с	сб	б
Значение уровня значимости	4	3	2	1	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
Значение коэффициента	0,1	0,2	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0

В отдельных случаях решение о типе может быть принято в условиях неопределенности. Все базовые типы явно характеризуются летным параметрам, поэтому даже в условии неопределенности, когда не хватает дополнительных данных, таких как эффективная площадь рассеяния и тактические действия объекта, система с определенной степенью сможет определить тип ВО.

Таким образом, в результате проделанной работы была синтезирована нейронная сеть для распознавания типа летательного на основе многослойного персептрона, в качестве функции активации использовалась сигмоидальная функция, принимающая на выходе нейрона значения от 0 до 1, значение весовых коэффициентов входных каналов нейрона определяется на основе расчета интервальных оценок с учетом коэффициента важности (опасности). Множество параметров не конечно и может быть дополнено.

Постоянное совершенствование информационных средств обеспечения безопасности воздушного движения и автоматизации процессов управления воздушным движением требуют совершенствования процедур обработки радиолокационной информации, так как решить эти задачи существующими способами в полной мере не удастся.

Информационная система, использующая элементы искусственного интеллекта, позволяет существенно, на порядок, сократить время на принятие решения, а также увеличить его точность.

### Библиографический список

1. URL: <https://tass.ru/armiya-i-opk/5279032> (дата обращения: 01.04.2020).
2. Мазиков Е. Б., Антропов В. В. Методика определения типа летательного аппарата // Междунар. научно-исследовательский журнал. 2015. № 1 (43). Ч. 2. С. 51–54.
3. Ивченко Б. П., Мартыщенко Л. А. Монастырский М. Л. Теоретические основы информационно-статистического анализа сложных систем. СПб.: Лань, 1997. 370 с.

УДК 004.9, 621.317

**И. Ю. Немилостив, И. Р. Назаргулов**

студенты военного учебного центра

**В. В. Котович** – кандидат технических наук, доцент кафедры – научный руководитель

## **ОБУЧАЮЩИЙ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

В статье рассматриваются вопросы использования в процессе подготовки специалистов-метрологов разработанного специального обучающего программно-аппаратного комплекса для изучения микроконтроллеров, микрокомпьютеров, ПЛИС и проектирования на их основе измерительной техники.

Мы существуем в мире постоянного совершенствования цифровых технологий и роста интереса к ним со стороны, в первую очередь, молодежи. Сегодня уже школьники создают собственные проекты на базе различных аппаратных платформ таких как Arduino, NodeMCU, STM32, Wemos, RaspberryPi, OrangePi, содержащих в своем составе микрокомпьютеры, микроконтроллеры, процессоры и другую программируемую логику. Тем более студенты технического высшего учебного заведения обязаны использовать аналогичные инструменты и знания программирования для реализации проектов применительно к своей специальности. К сожалению, программа подготовки, например, метрологов в нашем учебном заведении, недостаточно предусматривает времени для изучения современных цифровых технологий, программирования микроконтроллеров, ПЛИС и, как результат, эти технологии зачастую широко не используются при реализации специальных проектов студентами-метрологами. В такой ситуации очевидным выходом является освоение цифровых технологий студентом самостоятельно. В интернете достаточно много полезного материала для изучения этого вопроса, однако новичку на первых порах сложно понять, на какой материал ему стоит обратить внимание, и он теряет время на поиск нужной информации. В целях быстрого ознакомления студентов-метрологов с устройством микроконтроллеров, микрокомпьютеров и ПЛИС на кафедре был разработан и продолжает совершенствоваться специальный обучающий программно-аппаратный комплекс (далее – СОПАК) [1].

Программная часть СОПАК представляет собой компьютерную программу, дающую пользователю возможность выбрать из представленного перечня соответствующий микроконтроллер (микрокомпьютер, ПЛИС), изучить его архитектуру, выбрать нужный учебный проект (урок) электронного устройства (измерительного устройства), выполненного на соответствующей микросхеме, просмотреть схемотехническую модель этого устройства и код, написанный для этой микросхемы с пояснениями в комментариях. Все перечисленные действия сопровождаются специально подобранными комментариями и ссылками на теоретические материалы по программированию и проектированию, а также на техническую документацию с электронными компонентами (DataSheet). В отличие от разрозненных материалов в интернет-ресурсах, в данной программе все это представляет единый комплекс. Текст, рисунки и видео дополняют, а не повторяют друг друга, что позволяет ускорить процесс обучения. На рис. 1 представлен внешний вид главного меню программы СОПАК.

Для удобства работы с программой интерфейс содержит минимум элементов, чтобы не отвлекать пользователя, и этому же способствуют светлые тона заголовков всплывающих окон.

Прежде чем войти в главное меню пользователь должен определиться с цифровым устройством, которое предстоит ему разработать. Следует определиться, что лежит в основе управления проектируемого им устройством. Это может быть микроконтроллер (микрокомпьютер) либо ПЛИС. Главное меню программы позволяет выбрать одно из семейств микроконтроллеров (МК) или ПЛИС для изучения.

Если проектируемое устройство содержит в своем составе МК, то пользователь переходит в следующее меню, представленное на рис. 2. Меню позволяет выбрать МК, приемлемый для решения поставленной задачи.

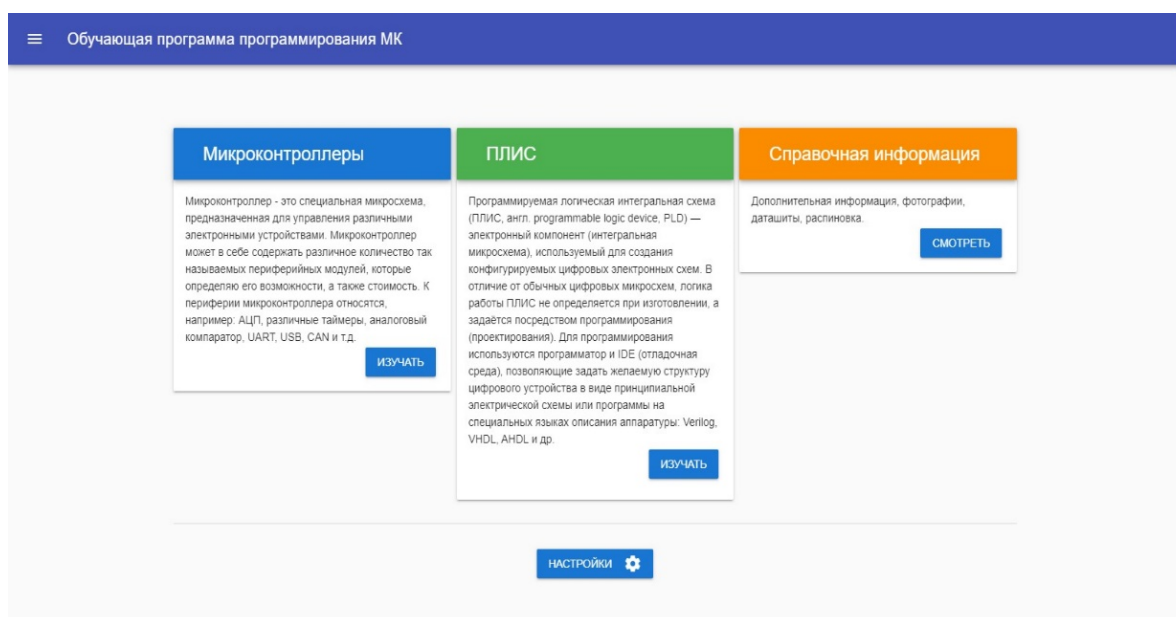


Рис. 1. Вид главного меню программы СОПАК

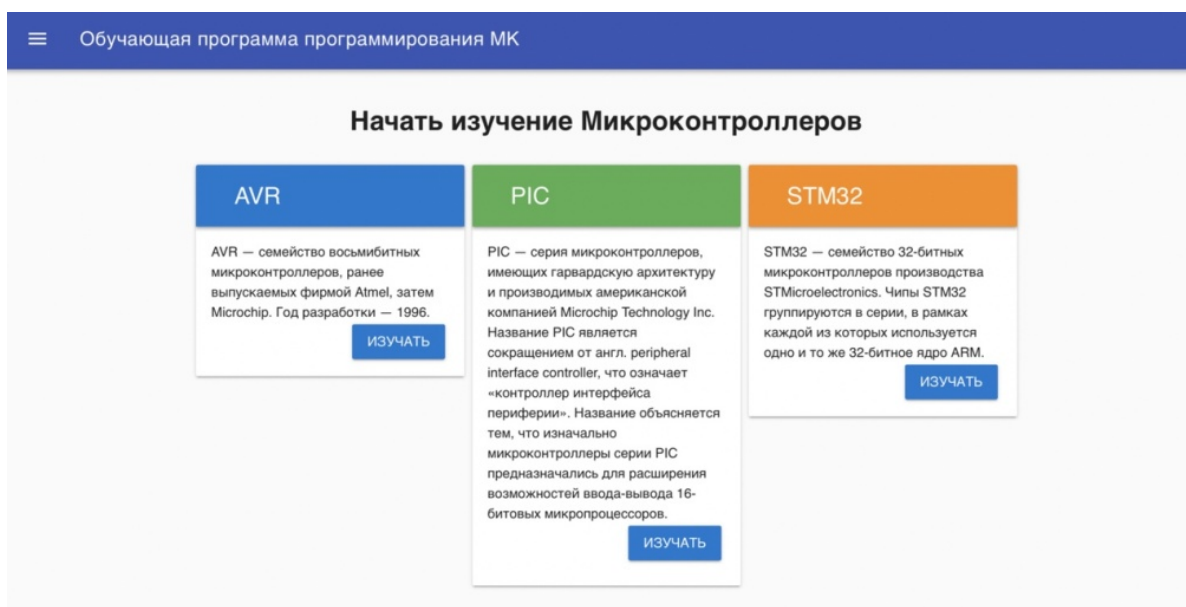


Рис. 2. Вид меню выбора микроконтроллера

После выбора интересующего семейства МК открывается меню выбора уроков (рис. 3).

Список уроков построен по принципу «от простого к сложному», что позволяет пользователю, уже имеющему какое-то представление о микроконтроллерах, пропускать известный материал и переходить к более сложным урокам, близким по теме решаемой пользователем задачи. В каждом уроке предоставляется полный код программы, который пользователь при необходимости может оптимизировать под свою задачу. Простые уроки содержат описание работы с отдельными интерфейсами (SPI, TWI, UART) и элементами архитектуры МК (счетчиками, портами ввода-вывода, АЦП, компаратором). Более сложные уроки содержат описания комбинаций простых уроков. Наиболее сложные уроки описывают работу измерительных устройств (преобразователей, приборов). Уроки кроме описания кода содержат ссылки, по которым можно вызвать описание регистров МК, схемы подключения МК в программе Proteus для ее симуляции, видеофайлы, поясняющие урок. В качестве примера на рис. 4 представлено изображение выбранного урока «LCD».

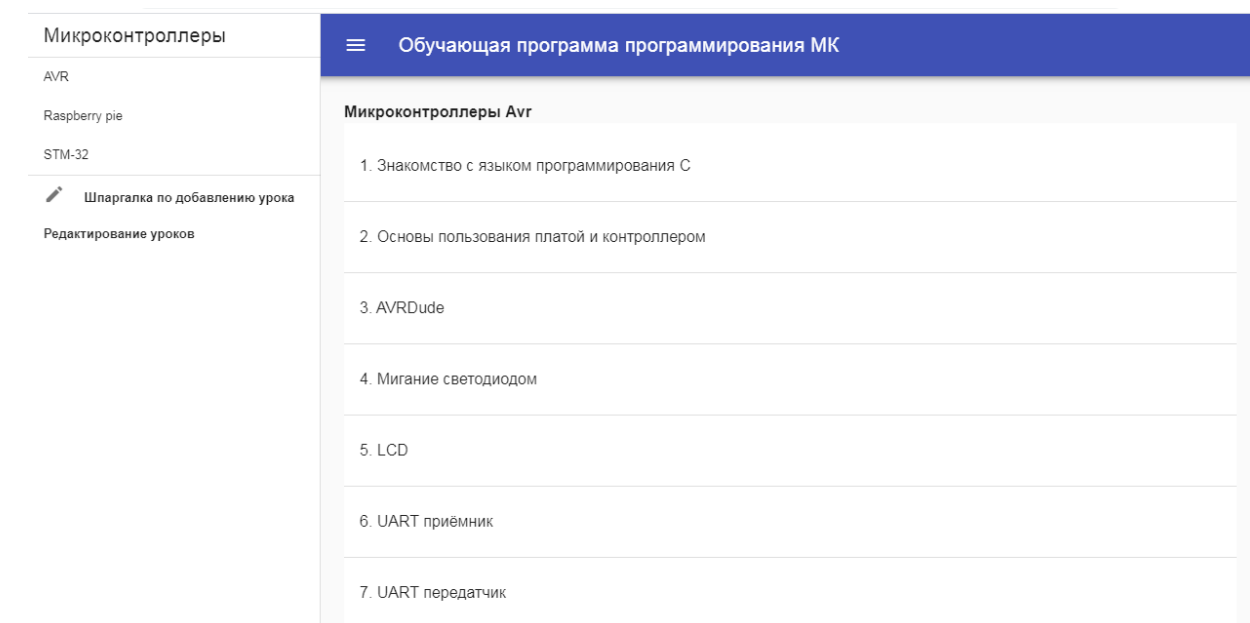


Рис. 3. Меню выбора уроков для микроконтроллера AVR

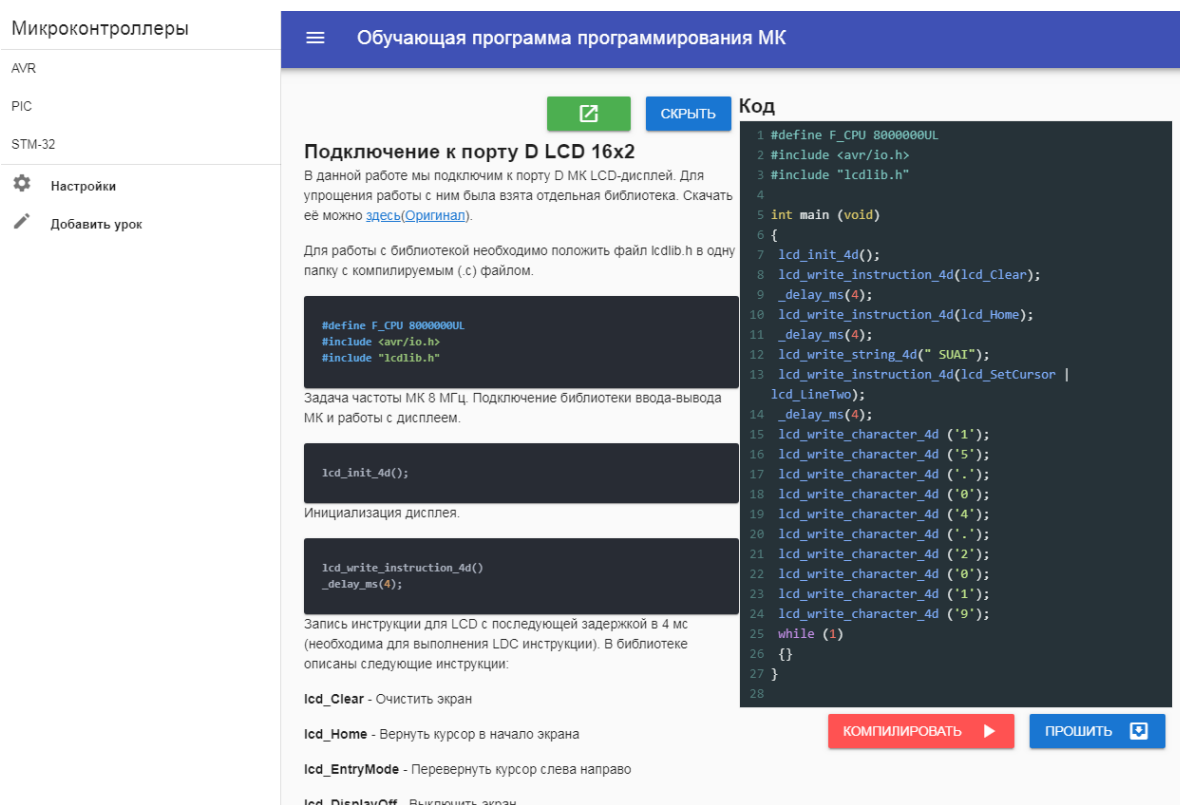


Рис. 4. Окно урока «LCD»

Концепция программы позволяет добавлять новые уроки самими пользователями по мере появления у них новых проектов, а также совершенствовать, усложнять существующие уроки.

При программировании микроконтроллера, неопытный пользователь сталкивается с проблемой поиска, установки и обновления различных необходимых вспомогательных программ и драйверов. Преимуществом разработанного программного обеспечения СОПАК является возможность скомпилировать набранный пользователем код и прошить его в микроконтроллер непосредственно в программе.

Сразу после нажатия на красную кнопку «КОМПИЛИРОВАТЬ» происходит процесс компиляции набранного кода. В качестве примера на рис. 5 представлен результат компиляции кода из урока «LCD».

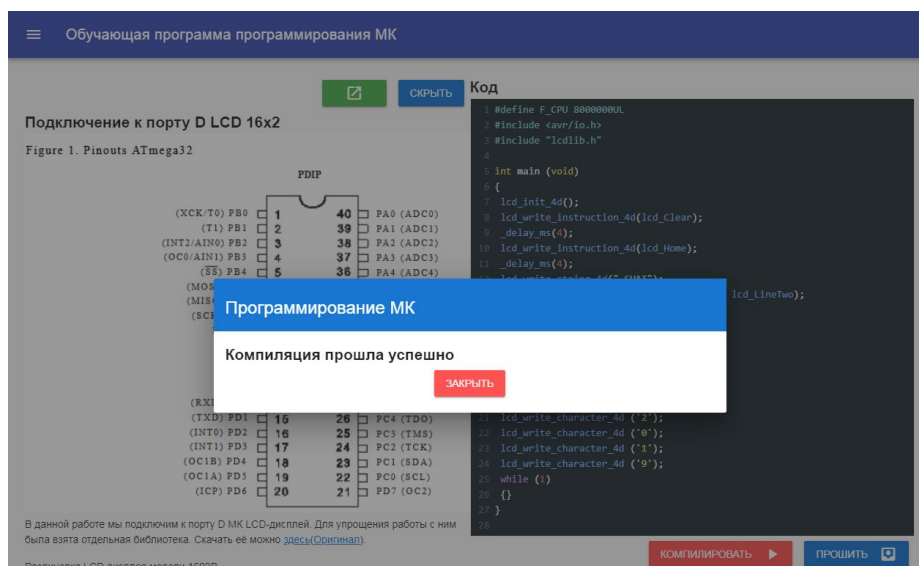


Рис. 5. Пример успешной компиляции кода

Аналогично сразу после нажатия на синюю кнопку «Прошить» происходит прошивка микроконтроллера при помощи подключенного программатора (рис. 6).

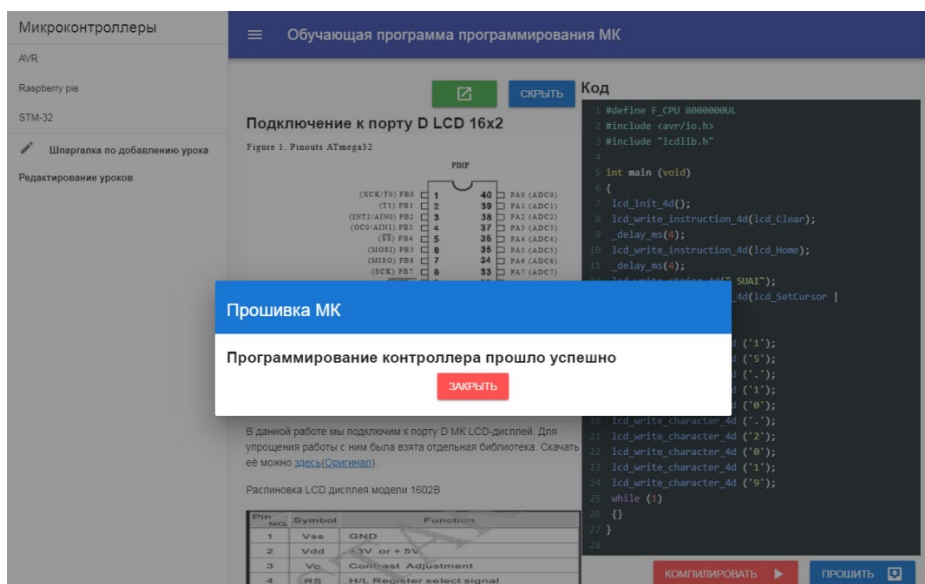


Рис. 6. Пример успешного программирования микроконтроллера

Алгоритм перечисленных действий пользователя программы СОПАК представлен на рис. 7.

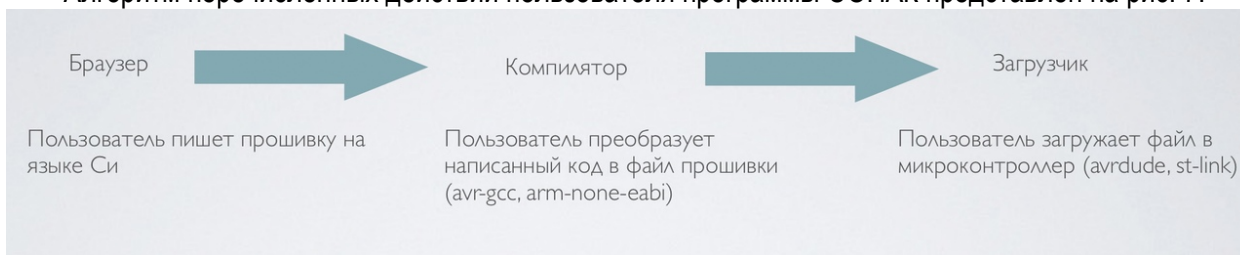


Рис. 7. Алгоритм действий пользователя программы СОПАК

Аппаратная часть СОПАК представляет собой специальные рабочие места, выполненные в виде удобных для переноса кейсов (коробочек), содержащих все необходимые компоненты для работы с данным семейством микроконтроллеров. Благодаря этому пользователь может сразу после ознакомления с теоретическим материалом приступать к работе с уже проверенным оборудованием. Пример рабочего места для изучения микроконтроллеров семейства Atmega представлен на рис. 8.



Рис. 8. Содержание кейса для изучения микроконтроллеров семейства Atmega

В состав рабочего места входят:

1. Микроконтроллеры Atmega8 и Atmega32.
2. LCD-дисплей.
3. Различные пассивные элементы (резисторы, диоды и пр.).
4. Проводатипарозетка-розетка, вилка-вилка, розетка-вилка.
5. Программатор.
6. Источник питания.
7. Макетная плата breadboard.
8. Карточки с кратким описанием первых уроков.

Разработанный на кафедре специальный обучающий программно-аппаратный комплекс позволяет не только обучать основам работы с микроконтроллерами, микрокомпьютерами, ПЛИС, но и дает возможность пользователям разрабатывать новые и совершенствовать существующие измерительные устройства на их основе, что позволяет интегрировать СОАП в учебный процесс подготовки специалистов-метрологов.

#### Библиографический список

1. Котович В. В. Использование обучающего программно-аппаратного комплекса для подготовки специалистов. Актуальные вопросы исследований в авионике: теория, обслуживание, разработки // Сб. тезисов докл. IV Всеросс. научно-практической конф. «Авиатор», Воронеж, 2017. С. 191–193.

УДК 621.397

**С. А. Ненашев**

студент военного учебного центра

**Е. М. Домбровский** – преподаватель – научный руководитель

**А. В. Старостин** – кандидат технических наук, доцент – научный консультант

## СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ПЕРЕДВИЖЕНИИ

На сегодняшний день в мире реализуется концепция комплексного обеспечения безопасности охраняемых объектов. Наиболее эффективным и экономически выгодным видом является централизованная охрана объектов с помощью стационарных технических средств. При этом так же требуется отметить необходимость обеспечения безопасности, специальным образом оборудованных, транспортных средств, предназначенных для решения конкретных задач – специального транспорта. Классическим примером специального транспорта является автомобиль, катер, грузовой автомобиль, которые используются в интересах следующих структур государства: правоохранительных органов, служб разведки и контрразведки, служб спасения и прочих военизированных формирований [1].

Процесс подготовки и организации передвижения специальной техники подразумевает необходимость выполнения ряда мероприятий – планирование маршрута. В замысле определяется построение походного порядка и распределение сил и средств по колоннам, состав, задачи и удаление передового отряда и походного охранения. Механизация и оснащение новейшими техническими средствами разведки позволяют получить интересующую информацию о возможном противнике и местности на значительном удалении от колонны. Подобные системы должны обеспечить безопасность с фронта, угрожаемых флангов и тыла. При этом радиус действия системы должен находиться на таком удалении, которое обеспечивает время на принятие решения в первую очередь это от 10 до 50 км [2].

Местность и рельеф, в условиях которых осуществляется движение специального транспорта, предопределяет необходимость применения интегрированных систем обеспечения безопасности, к которым можно отнести оптико-локационные системы (ОЛС), способные решать следующие задачи: обнаружение, распознавание, классификация, сопровождение объектов на всем видимом диапазоне, вычисление характеристик, определения принадлежности объекта: свой – чужой

Обнаружение – определение факта наличия объекта в поле зрения. Распознавание – классификация обнаруженного объекта по излучаемой температуре (человек, автомобиль или животное).

Типовой состав системы безопасности включает в себя: электронно-оптическую систему (рис. 1), беспилотный летальный аппарат и систему управления и обработки информации.



Рис. 1. Электронно-оптическая система

Электронно-оптические системы визуализации, предназначенные для наблюдения за местностью, непосредственно некоторым пользователем в автономном режиме. Такие устройства можно разделить на три основных типа: приборы ночного видения, телевизионные камеры и тепловизоры.

Приборы ночного видения (ПНВ) являются устройствами прямого наблюдения, при которых невооруженный человеческий глаз не позволяет вести эффективное наблюдение.

Телевизионные камеры являются полностью электронными устройствами, которые позволяют преобразовывать входное оптическое изображение в электрический сигнал. После обработки и электрического усиления этого электронного сигнала он преобразуется в генерируемое на выходе аналого-

вое и/или цифровое изображение в формате, используемом системой для решения задач обнаружения, распознавания, классификации и т. д.

Тепловизоры относятся к системам визуализации, которые чувствительны к средневолновому и длинноволновому инфракрасному излучению, позволяющие генерировать изображение наблюдаемого пейзажа с использованием теплового излучения, испускаемого пейзажем. Основным достоинством тепловизора является обнаружение удаленных теплоизлучающих предметов на местности независимо от погодных условий и освещенности.

Необходимо отметить, что целесообразно использование нескольких ОЛС различной природы в комплексе, что способствует повышению дальности обнаружения, точности и качества распознавания. Комплексное использование данных систем позволяет обеспечить решение задач ОЛС в радиусе действия (рис. 2) не зависимо от, времени суток, погодных условий и ландшафта местности.

Основные компоненты оптической системы устанавливаются на внешних элементах корпуса специальной техники (рис. 3). При условии оснащения всех технических систем, привлекаемых к маршу, будет реализована зона контроля (рис. 4), обеспечивающая временные рамки своевременного принятия решения.

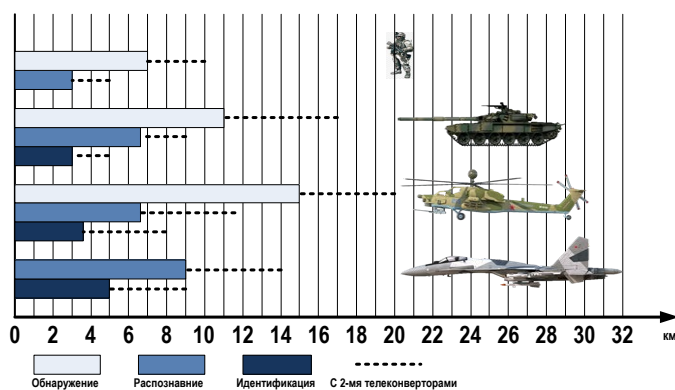


Рис.2. Возможности обнаружения электронно-оптическими системами

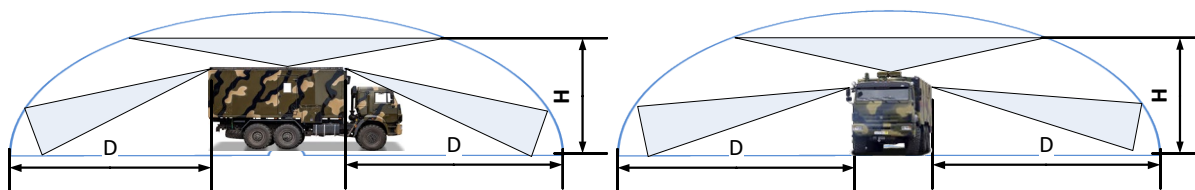


Рис. 3. Зоны контроля осуществляемые с корпуса машины

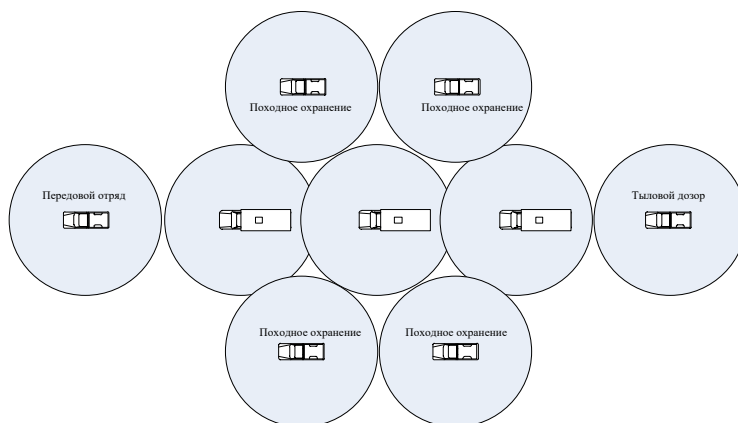


Рис. 4. Формирование зоны контроля колонны на марше



В условиях, когда ОЛС не в силах обеспечить наблюдение с земли, используются БПЛА. На борту которого размещаются также элементы оптической локации.

Обработка информации, получаемой от источников локационных данных, осуществляется с использованием технологий компьютерного зрения. Основными их задачами в данном случае являются обнаружение на конкретном цифровом изображении или видеопотоку конкретного объекта, с учетом возможных моделей нарушителей, или подтверждение их отсутствия, выявление характерных признаков, а также подсчет или количественная оценка однородных объектов.

Система поддержки принятия решения при этом должна осуществлять автоматическую обработку потока кадров (рис. 5), получаемых по данным ОЛС [3]. При условии, что для качественного решения задачи классификации, необходимо использовать многоспектральное изображение.



Рис. 5. Блок-схема алгоритма обработки потока кадров

Анализ показал, что использование алгоритмов SIFT, SUFT, HOG выявления инвариантных признаков объектов позволяет качественно решить задачу распознавания и классификации [4]. А одним из наиболее эффективных методов автоматического сопровождения объекта, в реальном масштабе времени, даже при частичном или полном временном заграждении объекта, является алгоритм TLD (*tracking learning detection*) [5].

Таким образом, для обеспечения безопасности специальных технических средств необходимо использовать системы, использующие различные физические принципы обнаружения объектов, особое место в перечне занимают оптико-электронные системы, которым свойственны: высокая точность, быстродействие, возможность работы в различных условиях внешней среды. Данные системы способны выполнять свои функции как в движении, так и на месте, при этом обеспечивается постоянный контроль, создаваемой охраняемой зоны, размеры которой зависят от параметров используемых технических систем, условий местности, времени суток.

### Библиографический список

1. Специальный транспорт. URL: <http://unusauto.ru/spectransport.htm> (дата обращения: 01.04.2020).
2. Тактика. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. В. Г. Резниченко. М.: Воениздат. 1987.
3. URL: <https://www.intechopen.com/books/kalman-filters-theory-for-advanced-applications/kalman-filter-for-moving-object-tracking-performance-analysis-and-filter-design> (дата обращения: 06.04.20).
4. Гареев М. Ш. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов по изображениям, полученным с БЛА // Сб. докладов II научно-практической конф. «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами». Коломна, 2017. 337 с.
5. Шенета А. П. Обнаружение и оценка скорости подвижных объектов в оптико-локационных системах // Научная сессия ГУАП: сб. докл.: в 3 ч. Ч. II. Технические науки. СПб.: ГУАП, 2019. С. 455–459.

УДК 53.084.2

**Д. И. Попов, С. А. Волков**

студенты учебного военного центра

**Е. И. Чистов** – кандидат технических наук, заведующий лабораторией – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПРИЕМНИКОВ ВОЗДУШНОГО ДАВЛЕНИЯ ОТ УГЛОВ АТАКИ. ПРИЕМНИК ВОЗДУШНОГО ДАВЛЕНИЯ С СИСТЕМОЙ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА АТАКИ

Проведен анализ проблемы зависимости точности измерений от угла атаки различных конструкций приемника воздушного давления, рассмотрены подходы к уменьшению данной зависимости. Предложена доработка конструкции приемника с использованием системы измерения угла атаки.

Приемник воздушного давления (ПВД) входит в систему питания аэрометрических приборов и является важнейшим компонентом системы измерения воздушных параметров. Полученные с его помощью данные подвергаются дальнейшей обработке, в результате чего определяются значения высоты и скорости полета, передаваемые на индикаторы в кабине экипажа летательного аппарата (ЛА).

В простейшем случае ПВД состоит из двух трубок. Внутренняя трубка открыта с торца навстречу набегающему потоку воздуха и служит для приема заторможенного воздушного потока, внешняя трубка закрыта с торца, но имеет ряд отверстий на боковой поверхности для приема статического давления.

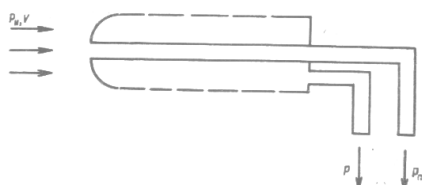


Рис. 1. Конструкция ПВД

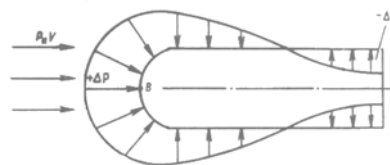


Рис. 2. Эпюра давлений

Исходя из экспериментальных данных была получена эпюра давлений, действующих на ПВД. Использование эпюры позволяет определить оптимальное место расположения отверстий для приема статического давления.

В данный момент ПВД всех широко применяемых конструкций имеют существенный недостаток – точность измерений при больших углах атаки (отклонение в показаниях может превышать 10 км/ч). Поэтому на летательных аппаратах, эксплуатационные углы которых  $\alpha \geq 15^\circ$ , появляется высокая погрешность при измерении давлений. Такими ЛА являются в основном вертолеты, БПЛА и самолеты спортивной авиации.

Важной особенностью, влияющей на точность измерений ПВД, является его расположение на ЛА.

Таким образом, при соблюдении выявленных экспериментально оптимальных решений в конструкции ПВД, можно добиться высокой точности измерений на всех режимах полета.

Для исследования различных вариантов конструкций предложено 6 образцов.



Рис. 3. Образцы ПВД для изучения

Также используется установка, представляющая собой уменьшенную и оптимизированную под особенности наших экспериментов аэродинамическую трубу.

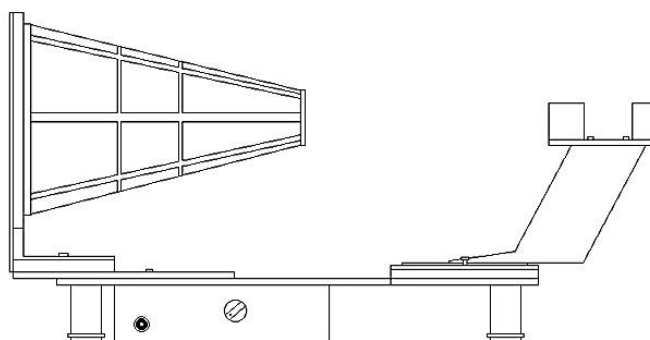


Рис. 4. Экспериментальная установка

Для измерения скорости воздушного потока на выходе из трубы воспользуемся анемометром. Для измерения скорости используется прибор измерения скорости УЗ-250. Для измерения разности давлений используется водяной манометр. Образец № 6 имеет несколько вариантов расположения отверстий для приема  $P_{ст}$ . Он используется для снятия эпюры  $P_{ст}$ .

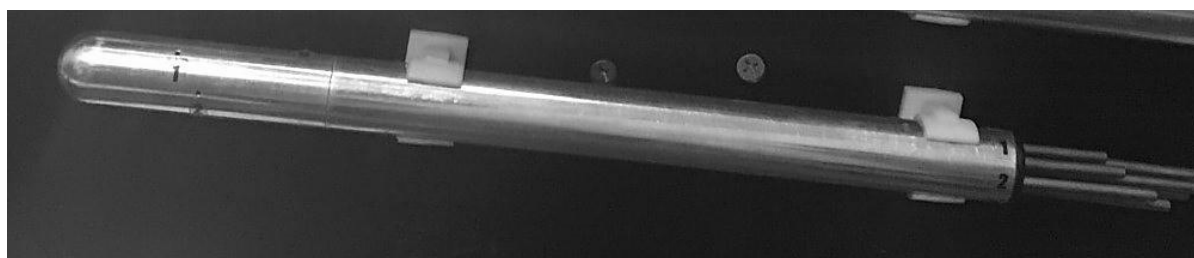


Рис. 5. Образец № 6

Образец № 5 имеет конструкцию, полностью повторяющую конструкцию серийного приемника ПВД-6 (без обогрева)

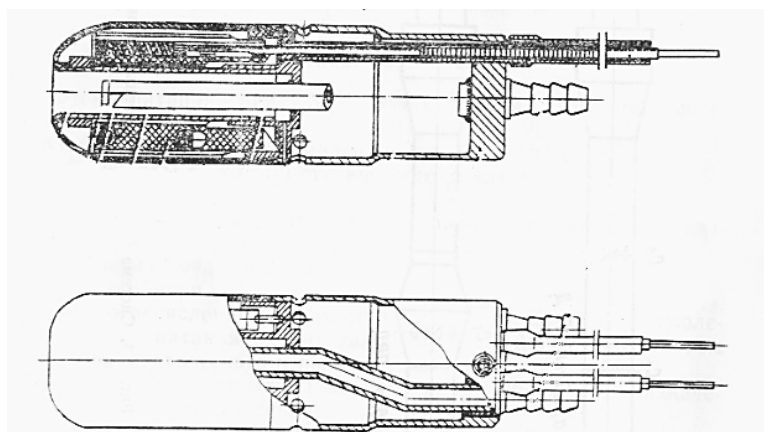
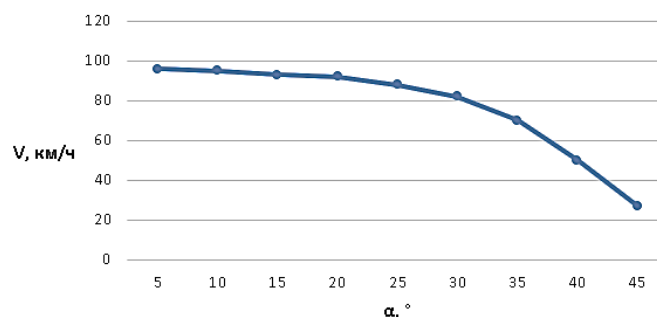


Рис. 6. ПВД-6

Приемники данной конструкции получили широкое распространение в спортивной авиации и вертолетах.

Используя лабораторную установку, измерим и проанализируем результаты, сделаем вывод об их точности на различных углах атаки.

$\alpha, ^\circ$	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$V, \text{ км/ч}$	96	95	93	92	88	82	70	50	27

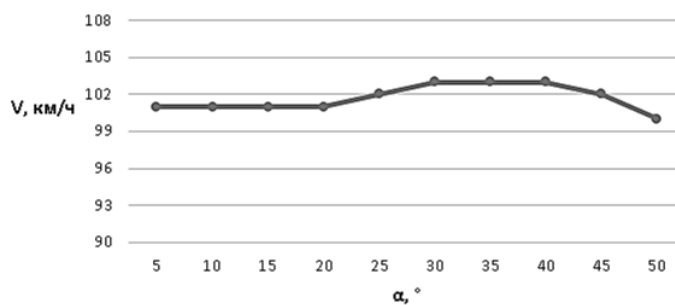


Данная конструкция демонстрирует существенное изменение коэффициента  $K$  при отклонении углов атаки  $\alpha$  свыше  $5^\circ$ , что приводит к существенным отклонениям показаний прибора от реальных (свыше 10 км/ч).

Образец № 4 имеет конструкцию «проточного» ПВД. Эта конструкция практически лишена недостатка предыдущего образца – приемник обеспечивает достаточно точные показания даже при углах атаки  $\alpha = 45^\circ$ .

Данная особенность позволяет снизить зависимость точности измерений от расположения на ЛА и увеличить количество оптимальных вариантов установки.

$\alpha, ^\circ$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$V, \text{ км/ч}$	101	101	101	101	102	103	103	103	102	100



В конструкции образца № 3, повторяющего конструкцию образца № 4, имеет особенность в виде изменяемого расстояния  $S$  при помощи подвижной насадки.

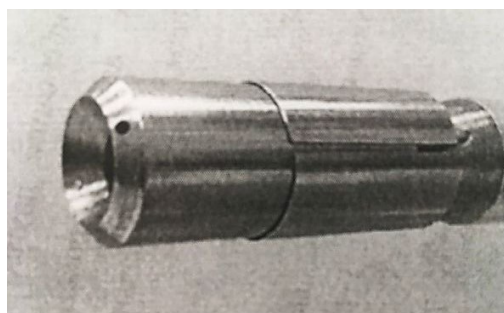


Рис. 7. Образец № 3

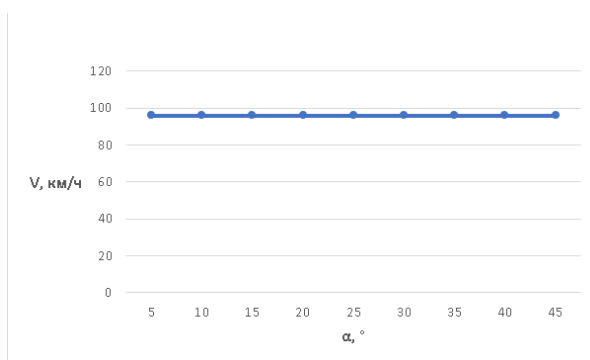
Набегающий поток, проходящий через колпачок ПВД и не попадающий в трубку, проходит через зазор  $S$  и увлекается наружным потоком воздуха, увеличивая свою скорость. При увеличении скорости уменьшается давление  $P_{ст}$ , в результате возникает эффект инжекции (ускорение ламинарного воздушного потока при прохождении через плавное сужение, что приводит к снижению давления в зоне сужения). Эффект инжекции (эффект Вентури) является следствием закона Бернулли

Из закона Бернулли следует, что давление газа или жидкости меньше там, где меньше сечение трубки.

Исследуя образец 3, мы пришли к выводу, что это явление может приводить к существенной погрешности.

Выбираем оптимальную величину зазора экспериментально, выравнивая коэффициент ПВД  $K$  до 1.

$\alpha, ^\circ$	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$V, \text{ км/ч}$	96	96	96	96	96	96	96	96	96



Сведение погрешности от угла атаки к минимуму позволяет добиваться высокой точности измерения на эксплуатационных углах атаки.

Зависимость характеристик ПВД от угла атаки позволяет доработать конструкцию, дополнив ее системой измерения угла атаки.

На образцах № 1–4 представлена система измерения угла атаки.

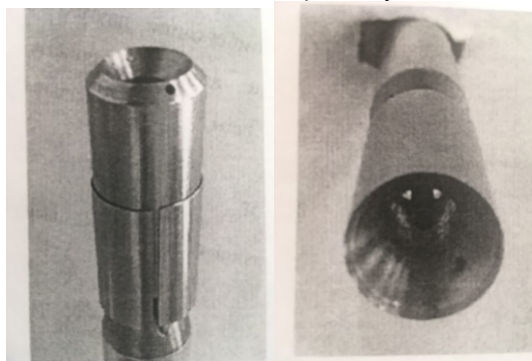


Рис. 8. Отверстия для приема разности давлений

Система измерения угла атаки состоит из отверстий, расположенных на корпусе рядом с ПВД, штуцеров и каналов связи с манометром. Разность давлений на отверстиях по определенной зависимости связаны с углом атаки. Для измерения  $\alpha$  в лабораторных условиях требуется с помощью водяного манометра измерить давления на этих отверстиях и соотнести с углом атаки  $\alpha$ .

Предложенная система позволяет измерить угол атаки на ЛА с помощью схемы, включающей в себя дифференциальный датчик давления переменной чувствительности, 4-диодный емкостной мост (для получения аналогового сигнала) и аналогово-цифровой преобразователь с 4-разрядным индикатором (для получения цифрового сигнала).

Образцы №3 и 4 имеют невысокую чувствительность из-за особенностей места расположения отверстий (на внутреннем конусе). Поменяв схему их расположения (на внешнем конусе) и доработав конструкцию, мы экспериментально пришли к конструкции образца № 2. Такая конфигурация позволяет существенно увеличить чувствительность измерения угла атаки.

Внутреннее расположение отверстий.

$\alpha, ^\circ$	0	10	20	30
$\Delta P, \text{ мм}$	10	40	110	115

Внешнее расположение отверстий.

$\alpha, ^\circ$	0	5	10	15	20	25	30	35
$\Delta P, \text{ мм}$	3	8	11	17	21	28	31	37

Для еще более существенного увеличения чувствительности была предложена конструкция образца № 1. Но данный ПВД имеет серьезный конструктивный недостаток – сложность в изготовлении (потребуется применить другой порядок сборки и пайки всего ПВД). Поэтому образец № 2 оптимален с точки зрения конструкции и диапазона измерений угла атаки.

Опытный образец, соответствующий образцу № 4, был испытан на летательном аппарате и в данный момент установлен на гидросамолет «Пеликан». Приемник обеспечивает высокую точность измерений и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к ПВД.



Рис. 9. «Пеликан»

### Библиографический список

1. Чачикян Р. Г., Дмитриев А. В. Навигационно-пилотажные приборы. М.: Машиностроение, 1973.
2. Клюев Г. И., Макаров Н. Н., Солдаткин В. М. Авиационные приборы и системы. Ульяновск: Ул-ГТУ, 2000.
3. Мхитарян А. М. Аэродинамика. М.: Машиностроение, 1976.

УДК 623.746

**Р. Е. Ротач**

студент военного учебного центра

**Д. В. Коликов** – старший преподаватель – научный руководитель

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И НОРМАЛИЗАЦИИ СОСТОЯНИЯ ПИЛОТА ВОЗДУШНОГО СУДНА

В данной научно-исследовательской работе будет проведен анализ катастроф, связанных с физиологическим состоянием пилота (летчика) и будет предложена новая система контроля и нормализации летчика истребителя.

Летательные аппараты постоянно совершенствуются, в результате чего расширяются их возможности и повышается эффективность. Одновременно с этим усиливаются негативные воздействия на организм летчика, которые могут привести к ухудшению функционирования пилота, и понижению качества выполнения полетного задания.

По данным командования ВВС США, 66 % всех аварий происходит вследствие ошибок летчика и только 23 % – из-за отказа материальной базы [1].

Американские исследователи, анализируя причины внезапных смертей у летчиков в период с 1975–1982 годы обнаружили, что из 77 летальных случаев 36 были обусловлены сердечно-сосудистой патологией: в среднем отмечалось по 5 смертельных случаев в год. По данным Федеральной авиационной администрации и транспортного совета безопасности США 2 % авиационных катастроф связывают с сердечно-сосудистой патологией летчиков. По данным английских исследователей в 50 % случаев сердечные приступы немедленно выводят из строя пилота и нарушают управление самолетом [2].

Не редки случаи потери сознания. ВВС США не раскрывают статистику о случаях обмороков у летчиков во время полетов. Последний раз такие данные были обнародованы в 1992 году. Согласно им в 1982–1990 годах в ВВС США были зафиксированы 18 случаев потери сознания пилотами, 14 из которых закончились падением самолета.

Повышение вероятности ухудшения самочувствия летчика делает необходимым контроль физиологического состояния на борту самолета и принятия мер по его нормализации при ухудшении [3].

Для решения данной проблемы можно создать систему, которая будет перехватывать управление у летчика, если он находится в бессознательном состоянии, и параллельно с этим приводить пилота в чувство. Работа данной системы будет основана на фиксировании жизненных показателей летчика, на основе которых можно сделать вывод, что пилотирование воздушным судном отсутствует. Структурная схема системы изображена на рис. 1.

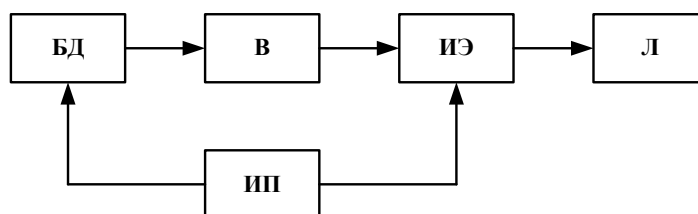


Рис. 1. Структурная схема системы контроля и нормализации летчика истребителя

I) Блок датчиков (БД)

Для получения данных необходимых для анализа работоспособности летчика (Л) нужно установить блок датчиков, которые будут снимать следующие показатели:

II) Вычислитель (В)

Вычислитель получают сигналы с блока датчиков. На основе этих данных вычислитель определяют причину потери работоспособности пилота (летчика) и подает сигналы на исполнительные элементы (ИЭ).

Функциональная схема системы изображена на рис. 2

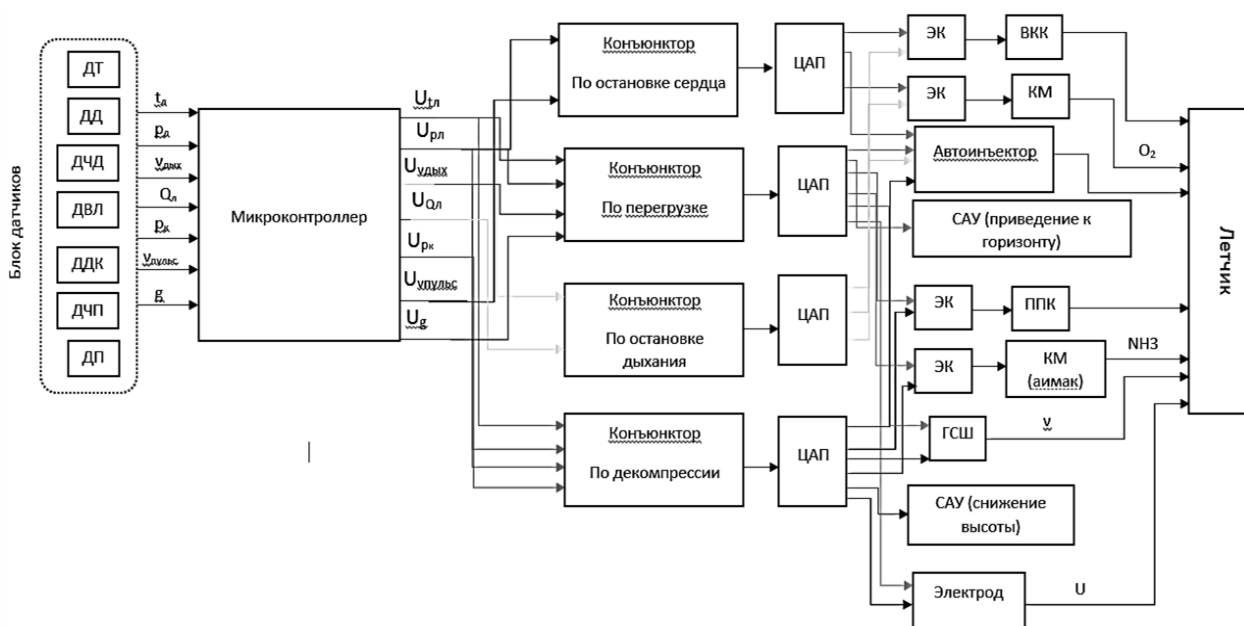


Рис. 2. Функциональная схема системы контроля и нормализации летчика истребителя

В микроконтроллер попадают цифровые сигналы с устройств регистрации параметров летчика такие как: артериальное давление летчика ( $P_n$ ); частота пульса летчика ( $v_{\text{пульса}}$ ); частота дыхания ( $v_{\text{дыхания}}$ ); температура тела летчика ( $t_n$ ); вентиляция легких летчика ( $Q_n$ ).

Для более качественного анализа состояния летчика нам необходимо дополнительно знать ряд других параметров, таких как: изменение давления в кабине ( $\Delta p_k$ ); величина перегрузки ( $g$ ).

На основе данных всех перечисленных выше параметров микроконтроллер определяет причину потери работоспособности летчика.

В случае остановки дыхания у летчика анализ будет производиться по значениям следующих параметров: частота дыхания ( $v_{\text{дыхания}}$ ); вентиляция легких летчика ( $Q_n$ ).

Эти параметры в виде цифровых сигналов подаются на микроконтроллер, далее микроконтроллер подает сигналы управления на исполнительные элементы: автоинъектор; электромагнитный клапан в дополнительном канале создания давления высотного-компенсирующего костюма (ВКК); электромагнитный клапан в кислородной маске.

В случае остановки сердца у летчика анализ его состояния будет производиться по значениям следующих параметров: артериальное давление летчика ( $P_n$ ); пульс летчика.

Далее микроконтроллер, как и в первом случае, подает сигналы управления на исполнительные элементы: автоинъектор; электромагнитный клапан в дополнительном канале создания давления ВКК; электромагнитный клапан в кислородной маске.

В случае потери сознания летчика при перегрузке состояние летчика фиксируется по следующим показателям: артериальное давление летчика ( $P_n$ ); температура летчика ( $t_n$ ); величина перегрузки ( $g$ ); частота дыхания летчика ( $v_{\text{дыхания}}$ ).

В этом случае микроконтроллер подает сигналы на исполнительные элементы: в систему автоматического управления (САУ) канал «приведение к горизонту»; автоинъектор; электромагнитный клапан в дополнительном канале создания давления противоперегрузочном костюме (ППК); электромагнитный клапан в дополнительном канале подачи местно-раздражающего вещества в кислородной маске; гарнитура средней шумозащиты; электрод.

Потеря сознания при декомпрессии фиксируется по следующим показателям: изменение давления в кабине ( $\Delta p_k$ ); артериальное давление летчика ( $P_n$ ); температура летчика ( $t_n$ ); частота дыхания летчика ( $v_{\text{дыхания}}$ ).

Далее микроконтроллер подает сигналы управления на исполнительные элементы: САУ (канал «высоты»); автоинъектор; электромагнитный клапан в дополнительном канале создания давления



ППК; электромагнитный клапан в дополнительном канале подачи местно-раздражающего вещества в кислородной маске; гарнитура средней шумозащиты; электрод.

Проблема потери работоспособности летчика во время полета требует дальнейших исследований и анализов авиационных катастроф, с целью избежать их в будущем. Необходимо дальше разрабатывать системы, которые помогут оставаться в работоспособном состоянии экипажам воздушных судов (ВС) при воздействии на них любых негативных факторов полета.

#### **Библиографический список**

1. *Исаков П. И.* Теория и практика авиационной медицины. М.: Медицина, 1979. С. 359.
2. *Крапивницкая Т. А.* Совершенствование врачебно-лётной экспертизы при сердечнососудистой патологии: дисс. ... док. мед. наук. М., 2006. С. 48.
3. Основные проблемы авиационной кардиологии // Человек в авиации и безопасность полетов: материалы первого научно-практического конгресса. М., 1998. С. 64.

УДК 621.317.757

**Е. В. Сердюкова**

студентка военного учебного центра

**В. В. Котович** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ЦИФРОВОЙ ИЗЕРИТЕЛЬ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

В статье рассмотрены вопросы, связанные с изучением методов и средств измерений нелинейных искажений, цифровым преобразованием сигналов. Предложен цифровой измеритель нелинейных искажений для количественной оценки нелинейных искажений параметров промышленной электрической сети.

Правильное функционирование большинства электрических устройств обеспечивается качеством поступающей на них электрической энергии. Однако даже в условиях безаварийной работы в системе возникают процессы, обуславливающие возникновение высших гармоник в электрических сетях – нелинейных искажений. С возрастанием величины нелинейных искажений возможен ряд негативных последствий как для потребителей, так и для энергосистемы в целом. К основным формам воздействия высших гармоник на системы электроснабжения относятся снижение эффективности процессов генерации, передачи и использования электроэнергии, старение изоляции электрооборудования и сокращение вследствие этого его срока службы, а также ложная работа оборудования.

Для периодического контроля величины нелинейных искажений параметров промышленной электрической сети был разработан цифровой измеритель нелинейных искажений, в основу работы которого положен метод подавления основной гармоники.

Суть метода подавления основной гармоники заключается в подавлении частоты основной гармоники исследуемого сигнала для количественной оценки влияния высших гармоник на форму данного сигнала.

Принцип действия устройства основан на реализации алгоритма дискретной свертки исследуемого сигнала с импульсной характеристикой цифрового фильтра [1]. С помощью данного алгоритма осуществляется подавление основной гармоники исследуемого сигнала. Схема цифрового измерителя нелинейных искажений представлена на рис. 1.

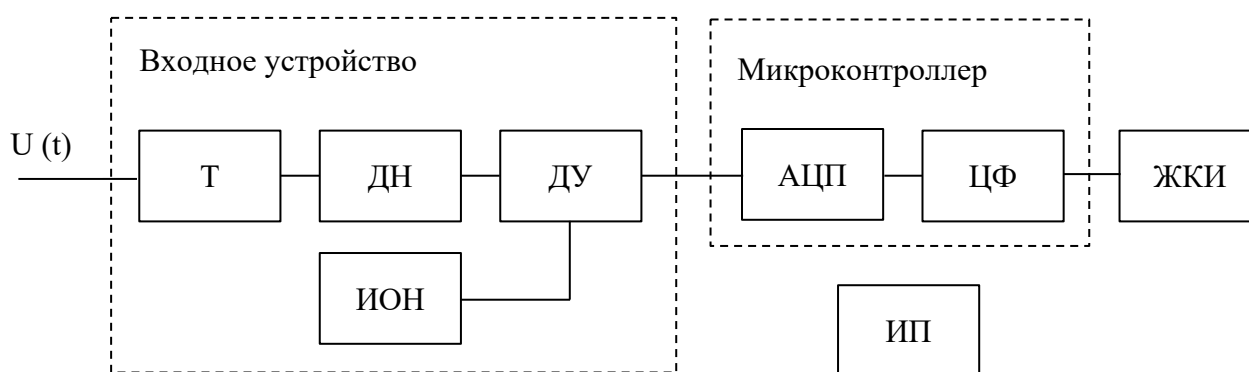


Рис. 1. Схема цифрового измерителя нелинейных искажений

В основе построения данного устройства лежит принцип функционального разделения на следующие агрегаты: входное устройство, устройство обработки информации – микроконтроллер, устройство отображения – жидкокристаллический дисплей, источник питания (ИП).

В состав входного устройства входят: понижающий трансформатор напряжения переменного тока синусоидальной формы (Т), который уменьшает амплитуду исследуемого сигнала без внесения дополнительных гармонических составляющих на входе устройства; резистивный делитель напряжения (ДН), преобразующий полученный сигнал в величину, необходимую для корректной работы микроконтроллера; источник опорного напряжения (ИОН) и дифференциальный усилитель (ДУ), обеспечи-

вающие повышение среднего уровня исследуемого сигнала на величину его амплитуды в связи с особенностями работы встроенного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) микроконтроллера.

Микроконтроллер производит все вычислительные операции, необходимые для получения измеренного коэффициента нелинейных искажений. Данное устройство содержит такие измерительные блоки, как десятиразрядный АЦП, выполняющий оцифровку исследуемого аналогового сигнала; цифровой фильтр (ЦФ), производящий подавление частоты основной гармоники сигнала с использованием коэффициентов фильтрации, размещённых в энергонезависимой памяти микроконтроллера EEPROM.

Жидкокристаллический дисплей (ЖКИ) обеспечивает наблюдение результата измерения коэффициента нелинейных искажений в процентах.

Моделирование работы цифрового измерителя нелинейных искажений осуществлялось в системе автоматизированного проектирования (САПР) Proteus Professional. Схема модели представлена на рис. 2.

В качестве источника промышленной электрической сети питания был выбран генератор напряжения переменного тока синусоидальной формы, величина амплитуды и частоты выходного сигнала соответственно равны 220 В, 50 Гц (1-я гармоника). Источники дополнительных гармонических составляющих представлены идентичными генераторами с частотами кратными частоте основной гармоники исследуемого сигнала и произвольными значениями амплитуд (2-я, 3-я и 4-я гармоники). Смешение этих сигналов производится с помощью сумматоров аналоговых сигналов.

Полученный сигнал проходит через понижающий трансформатор и резистивный делитель напряжения и поступает на инверсный вход дифференциального усилителя. На прямой вход усилителя подается напряжение от источника опорного напряжения.

Преобразованный сигнал поступает на соответствующий вход встроенного в микроконтроллер АЦП. На выходе АЦП формируется массив дискретных отсчетов, полученных в результате обработки аналогового сигнала. В энергонезависимой памяти микроконтроллера EEPROM размещен массив коэффициентов фильтрации, рассчитанный в редакторе MatLab с использованием оконного метода – окна Кайзера. Данный массив определяет работу цифрового фильтра высоких частот 152-го порядка с конечной импульсной характеристикой. В соответствии с алгоритмом дискретной свертки производится перемножение и суммирование значений обоих массивов, в результате чего образуется массив отсчетов, соответствующий фильтрованному сигналу. Далее производится определение среднеквадратических напряжений исследуемого и фильтрованного сигналов.

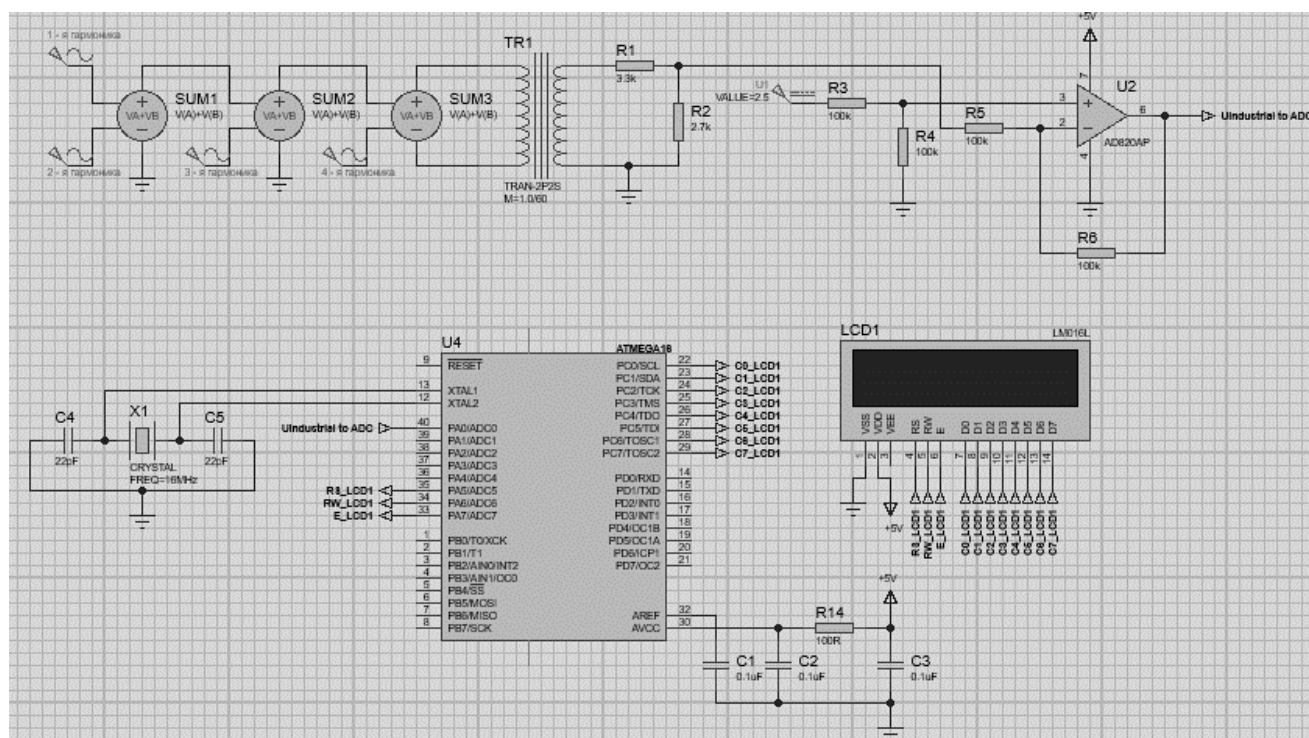


Рис. 2. Модель цифрового измерителя нелинейных искажений в САПР Proteus Professional

Расчет коэффициента нелинейных искажений производится, как отношение среднеквадратического значения напряжения высших гармоник к среднеквадратическому значению напряжению всех гармонических составляющих сигнала, выраженное в процентах. Полученное значение в цифровой форме передается на устройство отображения.

Сборка опытного образца цифрового измерителя нелинейных искажений включала в себя прошивку микроконтроллера Atmega, размещение электронных компонентов на макетной плате в соответствии с разработанной электрической принципиальной схемой, а также закрепление полученной сборки в корпусе устройства [2]. Внешний вид опытного образца представлен на рис.3.



Рис. 3. Внешний вид опытного образца

Для исследования работы и определения метрологических характеристик разработанного устройства были проведены измерения коэффициента нелинейных искажений параметров промышленной сети. Для определения точности прибора была осуществлена оценка абсолютной погрешности измерений методом непосредственного сличения показаний образцового измерителя нелинейных искажений С6-11 и разработанного цифрового измерителя нелинейных искажений (рис. 4).



Рис. 4. Схема подключения для проведения измерений

Результаты проведенных измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты измерения коэффициента нелинейных искажений**

Значения $K_{ни}$ , % измеренные устройством	Значение $K_{ни}$ , измеренные Сб-11	Значение абсолютной погрешности, %
1.318	1.300	0.018
1.278	1.290	0.012
1.312	1.320	0.008

При оценке абсолютной погрешности было установлено, что разработанное устройство обладает высокой точностью измерений, значения которых незначительно отличаются от эталонных. Данная погрешность может быть обусловлена недостаточной точностью расчета аналоговой части прибора.

На основе полученных данных произведено определение метрологических характеристик разработанного устройства, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

**Метрологические характеристики устройства**

Наименование характеристики	Значение
Напряжение источника питания	+5 В
Тип исследуемого напряжения	переменное
Диапазон исследуемых напряжений	от 50 В до 330 В
Диапазон исследуемых частот	от 1 Гц до 60 Гц
Габаритные размеры	70 x 180 x 110 мм
Масса	не более 0.4 кг

Разработанное устройство обладает рядом таких преимуществ, как простота конструкции, малые масса-габаритные параметры, высокая точность измерений.

**Библиографический список**

1. Каппелини В., Константидис А., Эмиллиани П. Цифровые фильтры и их применение; пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1983. 360 с.
2. Радиотехника: Энциклопедия / Под ред. Ю. Л. Мазора, Е. А. Мачусского, В. И. Правды. М., 2002. 944 с.

УДК 658.56

**А. Б. Александрова**

студентка факультета СПО

**С. Л. Поляков** – кандидат технических наук – научный руководитель

## СИСТЕМА БОЛЬШИХ ДАННЫХ В СФЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

С каждым годом происходит все более активное развитие технологий производства, в том числе развитие цифрового производства, растут потребности человека, наблюдается подъем уровня культуры и образования, а потребитель ежедневно становится все более разборчивым и требовательным в своих предпочтениях. Под влиянием всех этих факторов роль и значение качества продукции постоянно возрастает.

Нельзя отрицать, что важную роль в производственном процессе играет контроль качества продукции, от которого во много зависит конкурентоспособность предприятия на рынке. Обеспечению высокого качества продукции на предприятии помогает применение высококвалифицированного труда, использование высококачественного сырья и расходных материалов, а также постоянный контроль качества продукции. Несоблюдение перечисленных факторов может принести ущерб репутации организации, значительные затраты и даже риск жизни и здоровью человека из-за потенциально опасных последствий.

Однако важно не только добиться качества на производстве, для повышения эффективности деятельности и достижения лучших результатов, необходимо оптимизировать и автоматизировать сферу управления качеством. Важной технологией для повышения эффективности организации и контроля становится система больших данных (Big Data System).

Понятие больших данных подразумевает под собой работу с информацией, огромного объема и разнообразного состава, весьма часто обновляемой и находящейся в разных источниках, в целях увеличения эффективности работы, создания новых продуктов и повышения конкурентоспособности. Ее технология заключается в обработке огромных объемов информации для того, чтобы человек мог получить конкретные и нужные ему результаты для их дальнейшего эффективного применения. Сам анализ данных позволяет увидеть определенные и порой даже незаметные закономерности, которые не может увидеть человек, что позволяет оптимизировать его деятельность [1].

Применение системы больших данных в области управления качеством может позволить предприятию выйти на более высокий уровень организации производственного процесса и конкурентоспособности. Рассмотрим возможные варианты применения системы больших данных в области управления качеством [2].

Наиболее перспективным применением системы больших данных является аналитические исследования нового продукта до его выхода на рынок. Прежде чем выпускать продукт на рынок, необходимо провести ряд проверочных тестирований, использование системы больших данных может позволить компаниям значительно сократить время их проведения [3].

Примером этого служит Intel, им удалось захватить огромные объемы информации, объединив большие данные с искусственным интеллектом.

В случае проверки новых функций компьютерных чипов группы контроля Intel собирают до 250 ГБ новых данных каждую неделю, работая с тестами, которые могут иметь более 1000 параметров. Искусственный интеллект проверяет архивные сведения и находит шаблоны. Затем он использует эту информацию для создания тестов. Этот процесс занимает всего несколько часов, в то время как у людей он занял бы несколько тысяч часов.

Более того, искусственный интеллект позволяет несколько эффективнее обнаруживать ошибки, устраняя при этом ненужные тесты, что ускоряет процесс выхода продукта на рынок, не жертвуя его качеством.

Кроме того, система больших данных позволяет получить скомпилированные идеи и оптимизировать обратную связь с потребителем.

Процесс обратной связи является важной частью системы менеджмента качества, поэтому ему следует уделять особое внимание. А благодаря системе big data организация может получить скомпилированные идеи, которые помогут улучшить продукт и процесс его тестирования.

Так, современные платформы больших данных могут быстро найти и обработать отзывы и мнения потребителей, передаваемые в социальных сетях. Сбор данных в течение определенного периода времени и извлечение из них пожеланий повышает вероятность последующего успеха нового продукта. Или в случае, когда выпускаемое производителем устройство подключается к Интернету, система может следить за тем, как люди используют данный продукт в процессе его эксплуатации, при этом не обращаясь напрямую к потребителю за отзывом.

Например, большие данные могут выяснить, какие функции в фитнес-трекерах используются пользователем чаще, и какие шаги он выполняет для этого.

Не стоит забывать, что у некоторых крупных компаний точки производства раскиданы по всему миру и соответственно везде проводятся различные испытания, а полученная в ходе них информация используется для усовершенствования новых разработок. До того, как большие данные стали известны, сбор информации из этих тестов занимал огромное количество времени, сейчас же с этой функцией спокойно может справиться система.

Также система использует прогнозную аналитику и может исследовать различные аспекты процесса разработки продукта, находя в нем факторы, которые выделяют то, что нравится людям больше всего, а также то, что их расстраивает. Это может помочь обнаружить и устранить слабые производственные и организационные места, повысить конкурентоспособность продукта.

Еще одним достоинством применения системы больших данных является то, что информация, полученная из платформ больших данных, может помочь компаниям сделать выбор, какая из технологий испытаний будет наиболее подходящей для их продукции: HALT (технология ускоренных испытаний) или ALT (стандартная технология испытаний). HALT обнаруживает сбои в продуктах на ранних стадиях процесса разработки, что может помочь сэкономить деньги компании и привести к большей удовлетворенности клиентов в долгосрочной перспективе. И наоборот, ALT пытается выяснить, как долго продукт может работать, прежде чем компоненты начинают ломаться, ускоряя процесс его старения. Однако система больших данных может оптимизировать данный процесс, объединив оба вида испытаний для получения оптимального решения. А именно система может показать потенциальную слабость продукта, что побудит производителя посмотреть, может ли HALT предоставить более подробную информацию о причинах сбоя. А затем люди, занимающиеся контролем качества, смогут предложить решения этих проблемы, прежде чем продолжить процесс разработки.

Аналитика в оборудовании является еще одним эффективным инструментом системы больших данных. Некоторые компании предлагают платформы для анализа больших данных с функцией plug-and-play, позволяющей производителям быстро внедрять инструменты аналитики в заводское оборудование, что позволит больше отталкиваться от аналитики при проверке качества и сократить возможные дальнейшие материальные затраты.

К примеру, компания Oden Technologies производит аналитические устройства, которые подключаются к техническому оснащению. Они направлены на выявление проблем в оборудовании, которые могут привести к дефектам при производстве продукции. После чего контроль качества становится более упорядоченным, поскольку компании узнают о проблемах с аппаратурой и могут их исправить, прежде чем они проявят себя в виде дефектной продукции.

Ярким примером-представителем является компания BMW, которая использует аналитику больших данных для повышения качества на протяжении всего производственного процесса. Это осуществляется путем маркировки отдельных деталей кодами с лазерной гравировкой. После чего специалисты могут проанализировать характеристики деталей или различные этапы, которые они проходят на заводе, начиная с формования и заканчивая нанесением краски.

Таким образом, система больших данных уже хорошо зарекомендовала себя в сфере контроля качества, тестирования и испытаний продукции. Поэтому стоит обратить внимание на данную технологию, особенно крупным организациям, приоритетами которых являются поставки высококачественной, хорошо протестированной продукции своим клиентам. Ведь использование данной системы принесет уменьшение материальных и временных затрат на нерелевантное тестирование и сбор огромных объемов информации. А потребитель также сможет получить свою выгоду от данной системы в виде усовершенствованной и качественной продукции.

#### Библиографический список

1. Большие данные (Big Data) в России. URL: <http://www.tadviser.ru/index.php/> Статья: Большие данные (Big Data) в России (дата обращения: 19.03.2020).
2. Радченко И. А, Николаев И. Н. Технологии и инфраструктура Big Data. СПб: Университет ИТМО, 2018. 52 с.
3. How big data is improving quality control and testing. URL: <https://channels.theinnovationenterprise.com/articles/how-big-data-is-improving-quality-control-and-testing>. (дата обращения: 19.03.2020).



УДК 658.5.011

**И. В. Блинов**

студент факультета СПО

**И. С. Полякова** – научный руководитель

## ВЛИЯНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ НА РАЗВИТИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Современная экономика задает качественные и количественные преобразования рынка, догоняя прогресс. Поэтому важнейшая единица рыночной экономики – предприятие – непременно должно развиваться. Новшества, идеи, патенты должны быть грамотно превращены в инновации, то есть перейти в объекты коммерческого использования. Именно инновационная политика занимается соответствующими преобразованиями. Таким образом, в современных условиях важнейшей частью управления предприятием является инновационная политика.

Инновационная политика – это комплекс стратегических мероприятий по разработке, введению в эксплуатацию, освоению и анализу эффективности инноваций. Это не может быть единственным актом действия или изменения, это научно обоснованная последовательность решений, цель которой не только увеличение прибыли, но и долговременная стабилизация устойчивого положения на рынке [1].

Идея инноваций заключается не в освоении старых рынков и вытеснении оттуда конкурентов, а в создании новых предложений покупателю, разработке более результативных альтернатив. Для такого типа политики организации очень важно вывести технические разработки, изобретения на уровень практического использования.

Ведение инновационной политики структурно подразделяется на этапы:

1. *Разработка.* Включает в себя постановку конкретных целей и задач деятельности, учитывая опыт предыдущих инноваций. Такое ретроспективное исследование учитывает динамику, масштабы и эффективность прошлой деятельности. На основании этих данных осуществляется подготовка базы инновационной политики – генерирование информационных, кадровых, ресурсов. Согласуются сроки выполнения последующих этапов, учитывается вариативность.

2. *Введение в эксплуатацию.* С этим этапом начинается реализация инновационных стратегий. По расчетам специалистов, финансирование работ, связанных с освоением масштабного производства новой продукции, в 6–8 раз больше, чем расходы на исследования и разработки. Важно не только осуществлять организационную, кадровую и финансовую поддержку, но и своевременно вносить корректировку в планы при изменении положения на рынке, например, при появлении конкурентов. Введение в эксплуатацию возможно проводить двумя способами: быстро и постепенно. Первый способ при удачном закреплении на рынке обещает быстрый ощутимый скачок спроса, но в то же время связан с большими рисками. Второй способ имеет более долгую окупаемость инвестиций: спрос будет подниматься медленнее, относительно предыдущего способа, зато при таком способе имеется гораздо больше времени на корректировку в условиях нестабильного, меняющегося рынка.

3. *Освоение на рынке.* На этом этапе становится существенным влияние инновационной деятельности на предприятие, продукт усваивается (или в противном случае не усваивается). Окончательно устанавливается стратегия инновационной деятельности, удовлетворяющая действительной экономической ситуации. Становится ясно, оправданным ли были инвестиционные риски, возможно спрогнозировать итоговый доход от нововведения.

4. *Анализ.* Осваиваемая продукция подлежит анализу: исследуются отклонения от первоначальных целей, подводятся итоги приращения спроса, приращения дохода. Весь полученный опыт будет использоваться в последующем планировании инновационной деятельности.

Вышеперечисленные этапы в рамках инновационной политики непрерывно сменяют друг друга, образуя некий цикл: анализ последних введенных инноваций постепенно перетекает в разработку новых нововведений, «обрастая» научными разработками и теорией.

Для эффективного ведения инновационной политики необходимо учитывать сразу несколько ее сторон:

Во-первых, это совершенствование материальной базы инноваций. Здесь предполагается поступательное вырабатывание и систематизация практико-ориентированных научных знаний,

наращивание производственных мощностей. Чаще всего это фундаментальные теоретические исследования того или иного характера. Например, возможны модернизация технологических процессов (применение энергосберегающих технологий), исследования ассортимента, маркетинговые инновации и многие другие.

Во-вторых, это грамотное использование базы: распределение кадров, правовые аспекты, экологические вопросы, анализ продуктивности.

Специфической чертой инновационной политики является опора на прогноз инновационной деятельности. Под таким прогнозом подразумевается суждение, основывающееся на научном исследовании состояния организации в прошлом, чтобы теоретически предугадать ее состояние в будущем. Анализ литературы позволил установить, что на проведение инновационной политики оказывают влияние множество факторов как внешних, так и внутренних, анализируя информацию этих факторов, возможно составить инновационное прогнозирование. К внешним факторам относятся:

1. Экономические – конкуренция на рынке, состояние национальной валюты (ее стабильность, инфляция).
2. Политические – государственная политика в сфере инноваций.
3. Правовые – нормативные акты, регулирующие сферы инвестирования, патентования.
4. Научно-технические – непосредственное состояние научных изысканий, гармоничность движения технического прогресса.
5. Культурно-социальные – уровень развития общества, система образования, культурных ценностей.

К внутренним факторам относятся:

1. Кадровая составляющая.
2. Состояние фондов производства.
3. Наличие своевременного снабжения ресурсами.
4. Защита внутренней информационной системы.

Изменения внешних факторов образуют макроуровень расчета, внутренних факторов – микроуровень. Чтобы понять важность прогнозирования стоит учесть, что существует устойчивая параллельная связь между макро- и микроуровнями расчета. На макроуровне четко замечается цикличность, проявляющаяся в следующих стадиях:

- смена технологий в рамках одного поколения;
- смена технического поколения конкретного направления;
- появление качественно новых направлений.

Оценка внешних факторов и формирование данных на макроуровне позволяют сделать постепенный переход к микроуровню, к оценке эффективности конкретного предприятия; появляется возможность выразить инновационный потенциал (рис. 1).

Для достижения результативности в развитии промышленного предприятия необходимо комплексно учитывать все факторы, влияющие на производство, регулярно вычислять продуктивность и сравнивать ее с заложенным инновационным потенциалом и инвестициями.

После всех безошибочно выполненных инновационных мероприятий ожидается достижение поставленной цели – более эффективное получение прибыли. Промышленное предприятие увеличит свою рыночную жизнеспособность, конкурентоспособность и предоставит коммерчески состоявшиеся новшества в виде новой продукции, это проявится таких экономических критериях как: повышение экспортных продаж, повышение уровня технического развития или увеличение спроса на самый окупающийся продукт.

Итак, учитывая современные тенденции прогресса, эффективное поддержание конкурентоспособности предприятия возможно лишь при помощи комплексно проведенной политики инноваций. Идеальные инновации в любой области имеют хотя бы один из ниже перечисленных эффектов:

- увеличат эффективность использования ресурсов;
- увеличат доходы предприятия;
- будут иметь положительный экологическое влияние;
- снизят риски инвестирования.



Рис. 1. Схема учета факторов инновационной деятельности

Учитывая все внешние и внутренние аспекты, влияющие на производство, эта политика становится универсальной. Устойчивость предприятия достигается тем, что оно оптимально использует ресурсы и производит востребованную на рынке продукцию. Инновационная политика методично решает проблемы все новых запросов человечества.

### Библиографический список

1. Шустов А. А. Инновационная политика предприятия и ее влияние на конкурентоспособность продукции // Молодой ученый. 2013. № 9 (56). С. 275–282.
2. Инновационная политика предприятия на примере 3 российских компаний. URL: <https://viafuture.ru/katalog-idej/innovatsionnaya-politika-predpriyatiya> (дата обращения: 19.03.2020).

## УДК 658.5.011

**Ю. В. Волоковский**

студент факультета СПО

**И. С. Полякова** – научный руководитель**ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

В современных экономических условиях вынужденной необходимостью является своевременное совершенствование организации производства. Эти правила диктуются рыночной конкуренцией, экономическими условиями и научно-техническим прогрессом. Все большее значение приобретает результативность труда, все заметнее сказываются на итогах деятельности как потери, понесенные вследствие упущенных возможностей, так и выигрыш, полученный от реализации резервов предприятия и роста производительности труда.

Организационные резервы представляют собой потенциальные, не использованные в конкретных условиях возможности развития производства и его интенсификации за счет совершенствования организации производства, труда и управления.

Принятие решений по совершенствованию организации производства необходимо осуществлять на основе полной осведомленности о происходящих процессах. Три области содержат важную информацию, которая поможет определить необходимые изменения: люди, оборудование и технологии.

Прежде чем вносить какие-либо изменения, необходимо понимание как все работает в данный момент. По-прежнему ценно высказывание: «Если оно не сломано, не исправляйте его».

После того как проанализирован существующий рабочий процесс, необходимо определить области, в которых процессы и технологии могут использовать некоторые обновления или изменения. Процессы, которые осуществлялись в течение длительного времени, могут быть перепутаны с обходными путями, когда было добавлено новое оборудование или изменены методы производства.

При определении новых технологий и выбора оборудования следует учитывать общую стоимость вложений и влияние их на итоговую стоимость. Высокие начальные затраты обоснованы, если общая стоимость вложений ниже, чем у заменяемой технологии или оборудования, и если это решает проблему, такую как устранение узких мест в производстве или сокращение брака.

Самый быстрый способ замедлить работу – игнорировать регулярное обслуживание. Время простоя на техническое обслуживание намного меньше времени простоя из-за поломки изношенного оборудования. Техническое обслуживание может быть запланировано, а поломка всегда наступает в самый неподходящий момент. Для исключения таких случаев необходимо соблюдать несколько простых правил:

- все операторы должны регулярно обслуживать оборудование и устранять неисправности;
- выполнение графика профилактического обслуживания на регулярной основе;
- определении частоты и норм времени для обслуживания.

Профилактическое обслуживание обеспечивает бесперебойную работу оборудования без неожиданного простоя или остановки работы.

Еще одним из основных инструментов совершенствования организации производства является непрерывный процесс обучения сотрудников. В некоторых отраслях определенные виды обучения являются обязательными, например, ежедневное обучение технике безопасности для всего персонала, использующего защитное снаряжение. Новое оборудование и технологии требуют обучения для получения максимальной отдачи. Обучение сотрудников также является отличной тактикой заинтересованности работника.

Чрезмерная текучесть кадров является признаком плохой организации и может способствовать большим финансовым и временным потерям. Рассмотрим такие методы, как Kanban (производство точно в срок), чтобы уменьшить задержки и повысить эффективность [1].

Если слишком много инвентаря, нужны большие площади для его хранения. Если слишком мало, возникает риск остановки работы. Оптимизация запасов особенно важна, если следовать принципам бережливого производства, таким как ранее упомянутая техника Kanban.

Программное обеспечение на сегодняшний день является еще одним эффективным инструментом организации производства, которое используется для отслеживания запасов и создания автоматических уведомлений о нехватке. Также возможно предоставить поставщикам прямой доступ к количеству инвентаря и автоматически выполнить необходимые поставки.

Новое производственное оборудование, материалы и технологии поступают постоянно, но использовать необходимо только те, которые обеспечивают наибольшую ценность для компании.

Повышение производительности должно быть обусловлено преднамеренными изменениями, а не быстрыми «исправлениями», которые могут помочь в краткосрочной перспективе, но вызвать долгосрочные проблемы. Кроме того, повышение производительности труда сотрудников может привести к выгоранию и текучести кадров, а также дорогостоящим проблемам безопасности.

Тщательный анализ текущих производственных процессов и оборудования может выявить скрытые узкие места, которые могут быть легко устранены путем изменения процесса или новой технологии. Поддержание оборудования в исправном состоянии уменьшает неожиданную остановку работы. Обучение и хорошая организация обеспечат безопасную рабочую зону и могут привести к новым предложениям от самих рабочих относительно решений проблем, с которыми они сталкиваются каждый день.

Эффективная организация производства способствует повышению производительности, заинтересованности сотрудников в своевременном решении производственных задач, возможности обновления парка оборудования, увеличению доходов и расширению бизнеса.

#### **Библиографический список**

1. Канбан и «точно вовремя» на Toyota: Менеджмент начинается на рабочем месте; пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. 218 с.

## УДК 681.5

**В. П. Косов**

студент факультета СПО

**Н. В. Савельев** – кандидат технических наук – научный руководитель**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТА-ГЕКСОПОДА В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

Возведение строительных сооружений требует наличие квалифицированных инженерных и рабочих кадров. От них требуется не только высокое качество выполнения работы, но и повышение производительности труда. В большей степени на производительность труда влияет не профессиональные компетенции рабочего, а неблагоприятные условия труда такие, как погодные условия, ветер, низкая или высокая температура, работа на высоте или глубоко под землей. Все эти факторы являются вредными или опасными условиями труда, которые тем или иным способом могут влиять на производительность и безопасность работающих.

Одним из возможных решений является замена труда рабочих на труд робота. Управление роботом может осуществляется как в автономном режиме, так и с помощью дистанционного управления. Данное решение позволит не только повысить производительность труда, но и снизит влияние вредных и опасных условий труда до минимума.

В настоящее время ведутся работы по созданию роботов для возведения строительных конструкций, таких как робот-каменщик, робот-бетонщик, робот-сварщик. Данные роботы обладают преимуществом перед человеком-строителем, таким как:

- возможность круглосуточной работы;
- исключение ошибок, вызванных человеческим фактором;
- повышение производительности;
- снижение влияния погодных условий, особенно при возведении высотных объектов.

Но в свою очередь у мобильных автономных роботов присутствует существенный недостаток – ограничение в перемещении по строительной площадке. Кроме этого роботов необходимо устанавливать в стационарном режиме после выполнения задач.

В статье рассматриваются особенности конструкции робототехнического устройства для применения в строительной сфере. Это устройство построено по аналогии с живым существом, имеющих шесть ног. Такая конструкция позволит увеличить мобильность робота, а также позволит перемещаться по различным поверхностям, взбираться или спускаться по строительным конструкциям любой сложности. В качестве устройства, которое позволит перемещать, соединять, заполнять и т. д. строительные конструкции в данном устройстве используется манипулятор с захватным устройством [1].

В процессе исследования была рассмотрена конструкция робота, которая позволяет решать задачи перемещения по различным поверхностям и преодоления различных препятствий, с возможностью транспортировки и установки строительных конструкции с высокой точностью.

На основе проведенного анализа в области мобильной робототехники были определены их достоинства и недостатки существующих конструкций и функциональных возможностей и принято решение принять за основу робота-гексапода, у которого имеется универсальная конструкция, позволяющая перемещать робота в пространстве. Движения ног робота реализованы по принципу обратной кинематики [2].

В результате работы были значительно улучшены различные модули и усовершенствована конструкция ног, что потребовало использования 18 приводов. Это позволило повысить мобильность и гибкость робота. Улучшена конструкция платформы, благодаря чему на нее можно устанавливать манипулятор, кулер для охлаждения, а также стабилизатор для камеры (рис. 1).

Используемый в проекте микроконтроллер Arduino mega 2560 позволяет в достаточной мере плавно и с большой точностью перемещать робота. Также были усовершенствованы схема питания и беспроводное управление манипулятором и камерой.

Для реализации телеуправления на 3-осевой стабилизатор была установлена FPV-камера. Также для захвата и перемещения объектов сверху на корпусе установлен манипулятор. Манипулятор со-

стоит из двух звеньев и захвата, которые вращаются в одной плоскости. Это ухудшает мобильность конструкции, но значительно ее облегчает и упрощает (рис. 2).

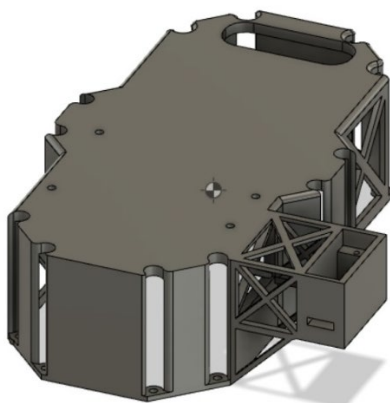


Рис. 1. Конструкция платформы робота-гексапода



Рис. 2. Конструкция робота-гексапода с захватом

Предлагаемые в данной статье решения по применению конструкции робота-гексапода в области строительства позволят снизить влияние опасных и вредных производственных факторов на рабочих-строителей, увеличить производительность труда, автоматизировать и усовершенствовать многие процессы, требующие больших трудозатрат и рисков. Дальнейшее развитие роботов-гексаподов связано с применением интеллектуальных мехатронных модулей, а также с созданием эффективного математического и программного обеспечения для решения задач планирования и управления их движением в реальном времени.

#### Библиографический список

1. Егоров О. Д. Конструирование механизмов роботов. М.: Высшая школа, 2012. 444 с.
2. Лесков А. Г., Бажинова К. В., Селиверстова Е. В. Кинематика и динамика исполнительных механизмов манипуляционных роботов / Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. 104 с.

УДК 336.011

**К. К. Свелеба**

студент факультета СПО

**И.С. Полякова** – научный руководитель

## ИНВЕСТИЦИИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

В древности у людей все было устроено примерно также, как и в наше время. Появлялись прототипы ипотеки и другие виды финансовых операций. Например, человек мог заложить свой участок земли за деньги, и в случае если он не успевал вернуть их в срок, то земля отходила к заемщику.

В морской торговле заключались сделки между владельцем корабля и капитаном корабля. Капитан набирал команду и пользовался кораблем, за это он отдавал процент от дохода владельцу судна.

В эпоху феодализма вассалам давали право управлять земельным наделом и получать с этого доход: заключалась устная сделка, старый владелец приводил нового на участок и давал ему горсть земли.

Сейчас основное значение инвестиций – направление финансовых потоков с целью получения прибыли. Стране необходимы свободные средства и инвестиции из других стран. Историю российских инвестиций можно разделить на несколько этапов:

1. *Дореволюционный этап.* У людей и монастырей были принудительные займы. В XIX веке на инвестиции начали обращать внимание все сословия государства.

2. *Советская эпоха государства.* До прихода большевиков к власти активно заключались сделки с другими странами, экономика развивалась. Режим СССР лишил людей возможности торговых отношений с другими странами.

3. *Эпоха развала советских устоев.* Приватизация собственности государства дала толчок появлению инвестиционного рынка. Экономика постепенно стабилизировалась, в страну поступали деньги зарубежных инвесторов или граждан, которые вложили средства в развитие разных сфер.

4. *Современный этап развития.* Все страны стремятся поддерживать иностранные инвестиции и поощрять вклады. Важно, чтобы соблюдались права собственности, а условия ведения бизнеса были благоприятны и стабильны.

«Люди эмоционально воспринимают сбережения как потерю. Чтобы отложить что-то на завтра, сегодня придется урезать расходы», – говорит ученый Шломо Бенарци, но есть нюанс: если речь идет об инвестициях, то высокий доход в будущем становится мотивацией для отказа от лишних трат в настоящем.

По статистике Центробанка инвесторов в нашей стране меньше 10 %, а вот банковских вкладчиков – несколько миллионов [1]. Прибыль по депозитам в последние годы была двузначной, вложения до 1,4 млн рублей под защитой государства, по факту, это практически безрисковая инвестиция, а рыночные тренды меняются – ставки по депозитам уменьшаются, и они уже не такие привлекательные, как раньше. По данным статистики Центробанка за 2018 год средняя максимальная ставка по вкладам в рублях банков из первой десятки в июле снизилась до 7,37 %. В итоге россияне обращают внимание на инвестиции, которые могут дать более высокий доход, например, акции и облигации компаний разных стран, ПИФы, индивидуальные инвестиционные счета и большая насыщенность инвестиционных проектов... Но тому, кто задумывается о вложениях в эти инструменты, необходимо помнить о том, что инвестиции имеют риск, в отличие от банковских вкладов. Например, стоимость акций может как вырасти, так и опуститься за один день на 5–10 %. Но чем выше риск, тем выше возможная прибыль.

Паевой инвестиционный фонд можно сравнить со шкатулкой, в которой хранятся активы инвесторов: деньги, недвижимость, ценные бумаги, доли в ООО и прочее.

ПИФ предлагает все своим возможным клиентам купить пай или долю в сформированном инвестиционном портфеле, в который входят ценные бумаги различных компаний. Пай – условная доля имущества в фонде, именная ценная бумага, означающая, что вы владеете определенной долей фонда. Это классическая форма пассивных инвестиций. В конце отчетного периода (обычно календарный год) пайщик получает часть дохода, пропорционально равную размеру выкупленного им пая [2].



Имуществом из фонда распоряжается управляющая компания. Ее задача – зарабатывать деньги для пайщиков от имени ПИФа. Для этого она управляет активами фонда: сдает в аренду недвижимость, выдает займы, покупает и продает ценные бумаги, валюту, доли в организациях. Если стоимость имущества фонда увеличивается, растет и цена пая.

Традиционный и самый популярный вид инвестиций среди россиян – банковские вклады. Основные преимущества и недостатки такого способа вложения денег – гарантированное получение заранее прописанного в договоре дохода, а минус в низком уровне доходности.

Игра на бирже предполагает, что инвестор опирается только на свои знания и опыт торговли на бирже. Значит, риски инвестирования повышаются. Таким образом, биржевая торговля предназначена для уверенных в себе и опытных инвесторов.

Венчурное инвестирование в последнее время набирают большую популярность. Идея данного вида инвестирования заключается во вложении в стартапы, инновационные бизнес-идеи и проекты.

Эта область инвестиций имеет очень большие риски. По статистике только 1 из 10 всех запущенных стартапов становится успешной компанией. Очень часто желание сохранить свои деньги вынуждают венчурного инвестора входить в состав совета директоров и лично контролировать дела компании.

Все вышеприведенные разновидности инвестиций при правильном подходе могут принести значительную прибыль. Из чего можно сделать вывод, что важный элемент развития экономики – это инвестиционная деятельность. Вклад капитала в разные производства поднимает уровень жизни и запускает рост экономики [3]. Такую важную деятельность могут осуществлять как государственные, так и частные компании, и организации.

На сегодняшний день требуются долгосрочные инвестиции в основной капитал, а также инвестиционная и экономическая политика, чтобы с усилиями государства и бизнеса реализовать поставленные цели.

#### **Библиографический список**

1. Статистика ЦБ РФ. URL: [https://www.cbr.ru/statistics/macro\\_itm/svs](https://www.cbr.ru/statistics/macro_itm/svs) (дата обращения: 19.03.2020).
2. Как устроены паевые инвестиционные фонды. URL: <https://journal.tinkoff.ru/pif> (дата обращения: 19.03.2020).
3. Инвестирование в современной экономической ситуации. URL: <http://edrf.ru/article/31-05-17> (дата обращения: 19.03.2020).

УДК 658.562

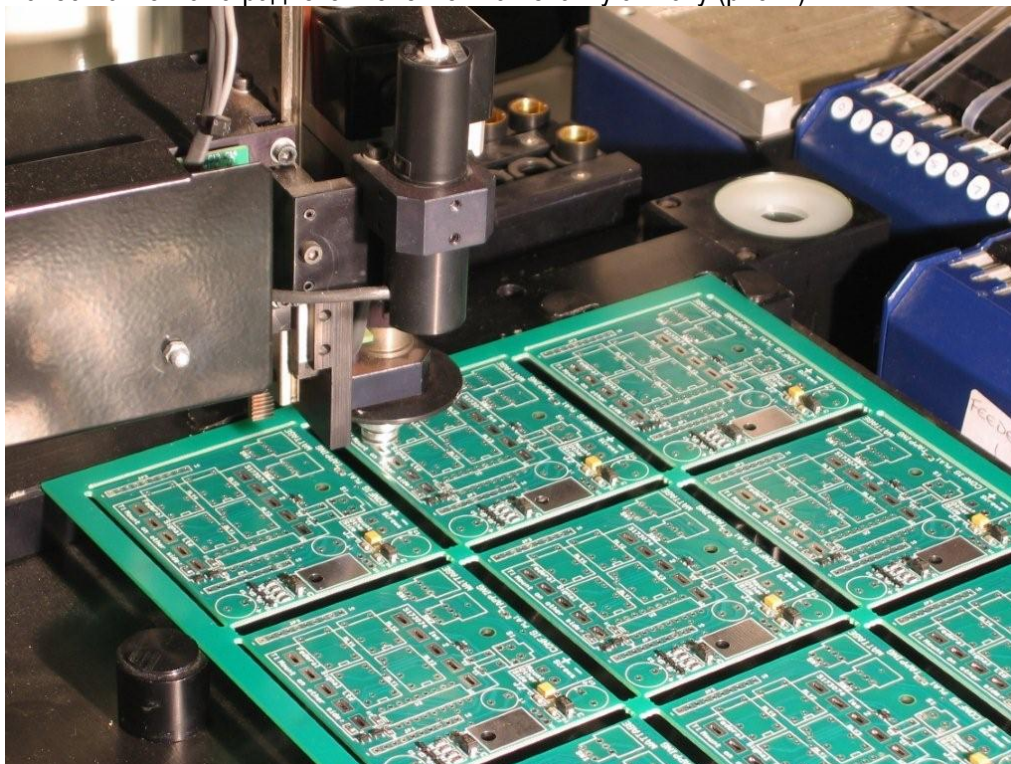
**В. В. Федоров**

студент факультета СПО

**С. Л. Поляков** – кандидат технических наук – научный руководитель**КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МОНТАЖА РАДИОКОМПОНЕНТОВ НА ПЕЧАТНУЮ ПЛАТУ**

По причине увеличения количества внедрения и уменьшению габаритов радиоэлектронной аппаратуры значительно повышаются требования к контролю всех технологических операций производства печатных плат (ПП).

Важным вопросом в организации производства и поставок потребителю ПП является объективная оценка качества монтажа радиокомпонентов на печатную плату (рис. 1).



*Рис. 1. Процесс монтажа радиокомпонентов на печатную плату*

Для оценки качества существует достаточное количество документов, касающихся в основном визуальных параметров, при этом данные критерии не разделены на существенные и эстетические (косметические). Как показывает практика, службы входного контроля сосредоточены на дефектах косметических, как легко обнаруживаемых.

До сих пор на многих предприятиях используется неавтоматизированный визуальный контроль, который в свою очередь имеет ряд недостатков. Основными негативными сторонами в данном случае является субъективность и низкая достоверность, а также низкий уровень производительности на сложных этапах производства.

Для решения данных проблем применяют сложные программно-аппаратные автоматические системы и комплексы, относящие к классу систем технического зрения.

Автоматические системы контроля внешнего вида условно разделяют на два больших класса. Первым является система, в которой обработка изображения осуществляется с помощью специально синтезированного анализатора. Его структура определяется алгоритмом обработки изображения, то есть любое изменение в алгоритме контроля или допусков приводит к изменению структуры анализатора, данные системы контроля с жесткой логикой. Примером является система контроля качества изготовления переходных отверстий, разработанная в Московском институте электронной техники.

Устройство позволяет подсчитать суммарное число отверстий на плате, определить площадь каждого отверстия и на основании этого сделать вывод о том, удовлетворяет ли оно требованиям. Данная система имеет высокую скорость контроля, что очень важно для практических целей. Она хорошо работает в серийном производстве, контроль в данных условиях – повторяемый, монотонный на каждой операции; позволяет опознавать дефекты любому оператору в сравнение с рентгеновским методом контроля, где контроль занимает значительное время и требует специального технического обучения операторов для интерпретации изображений и идентификации потенциальных дефектов. Поэтому представляет собой экономически эффективную, высококачественную альтернативу другим методам контроля на производстве. Тем не менее она обладает существенным недостатком – малой гибкостью, сложностью перестройки [1].

Подобного недостатка лишена система контроля с программируемой логикой. Основу такой системы составляет ЭВМ с устройствами ввода визуальной информации. Обработка изображения для выявления дефектов осуществляется программно. Структура таких систем универсальна и слабо зависит от алгоритмов обработки изображений. Примером такой системы, обладающей большими функциональными возможностями предварительной обработки информации, могут стать телевизионные анализаторы изображений «Растр» и «Параметр», разработанные в Институте электроники и вычислительной техники АН Латвийской ССР. На их основе были сделаны последующие более совершенные системы, например, анализатор больших размеров и формы частиц.

Современные системы используют современную оптику, аппаратное и программное обеспечение, а также библиотеки различных алгоритмов нахождения дефектов. Эти алгоритмы работают на основании логических правил, влияющих на принятие окончательных решений. Система получает изображение проверяемой печатной платы и сравнивает его с «эталонной» панелью, хранящейся в памяти. В качестве эталона могут быть использованы данные CAD, фотошаблоны и даже сама печатная плата. Различные алгоритмы нахождения дефектов анализируют несоответствия между проверяемой и эталонной панелями и решают, являются ли данные различия дефектом или нет. Весь процесс принятия решений базируется на предпочтениях и установках пользователя. Данная система имеет больший функционал, чем предшественники, и позволяет определять такие дефекты, как разомкнутость цепи, цепи короткого замыкания, царапины, неровности краев, выступы, прозрачные точки, островки, дефекты ширины линии, дефекты кольцевых площадок, пропуски. Примером такой системы является «АОИ» – автоматическая оптическая инспекция [2].

Однако следует отметить, что реализация функций потребует больших аппаратных затрат. Сложность и стоимость подобных анализаторов превышает соответствующие характеристики многих ЭВМ.

Таким образом, проблема автоматизации контроля остается актуальной для российских производителей, так как данные системы являются дорогостоящими, обладают малой гибкостью и сложной перестройкой. Это приводит к тому, что на большинстве российских предприятий неавтоматизированный контроль является единственным способом отбраковки дефектных ПП, что в свою очередь влияет на качество выпускаемой продукции.

### Библиографический список

1. Системы автоматического оптического контроля компании Camtek. URL: [http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/03\\_04/stat\\_216.htm](http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/03_04/stat_216.htm) (дата обращения: 19.03.2020).
2. *Осипенко А. А., Игнатенкова О. А., Григоров М. С.* Обоснование необходимости совместного применения автоматической оптической инспекции и неразрушающего рентгеновского контроля электронных модулей // Научный результат. Информационные технологии. 2017. Т. 2. № 2. С. 3–8.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>РАДИОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОНИКА И СВЯЗЬ.....</b>	<b>3</b>
<b>Радиотехнические и оптоэлектронные комплексы.....</b>	<b>3</b>
<i>Виноградов И. А.</i> ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ.....	3
<i>Карпов А. Е.</i> ВАРИАЦИИ В ИОНОСФЕРЕ ПЕРЕД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ.....	6
<i>Панов Н. В.</i> ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ СВОЙСТВА .....	8
<i>Сиверс М. А., Басов В. В.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МИМО-OFDM В СИСТЕМАХ ГИДРОЛОКАЦИИ, ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ, НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ.....	10
<i>Смирнов И. Ю.</i> ОЦЕНКА МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ КОНТУРОВ НА ТЕЛЕВИЗИОННОМ ИЗОБРАЖЕНИИ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ .....	15
<i>Сыненко А. Э.</i> АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ НАГРЕВ И ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА КОНСТРУКЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ПОМОЩЬЮ ЭВТИ .....	18
<i>Шаглин И. О.</i> ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОСЛАБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА В ПЫЛИ.....	22
<b>Радиотехнические системы.....</b>	<b>25</b>
<i>Ашмарин А. А., Тарасов В. В.</i> РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ МНОГОЛУЧЕВОГО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ОБЗОРА .....	25
<i>Бессонов К. Д.</i> АНАЛИЗ СФЕР ПРИМЕНЕНИЯ И АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЗВУКОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ .....	28
<i>Безвытный С. А.</i> О НЕОБХОДИМОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ .....	31
<i>Бирюков И. Б., Мищенко И. В.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БРЛС БПЛА И ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТОЧНОСТЬ РАЗРЕШЕНИЯ ОБЪЕКТОВ.....	33
<i>Венедиктов Н. А.</i> ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ БУРЬ НА ТЕХНОСФЕРНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ.....	38
<i>Ермаков А. К.</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИГНАЛА, ОТРАЖЕННОГО ОТ НИЗКОЛЕТЯЩЕЙ ЦЕЛИ .....	41
<i>Гилевский И. И., Федотов Д. О.</i> РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СЕГМЕНТАЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ .....	46
<i>Иваненко П. С.</i> РАЗРАБОТКА СПОСОБА КОМПЕНСАЦИИ ТРОПОСФЕРНЫХ ОШИБОК РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО СУДНА В СИСТЕМАХ МУЛЬТИЛАТЕРАЦИИ .....	49
<i>Кожемякин Р. Д.</i> О НЕОБХОДИМОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ БОКОВЫХ ЛЕПЕСТКОВ ПРИ СЖАТИИ ЛЧМ-СИГНАЛОВ.....	52
<i>Морозов В. Е.</i> ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ МЕЖОБЗОРНОГО СЕЛЕКТОРА ОТМЕТОК ДЛЯ КОРАБЕЛЬНОЙ ОБЗОРНОЙ РЛС .....	54
<b>Конструирование и технологии электронных и лазерных средств.....</b>	<b>56</b>
<i>Акобян И. А.</i> ВЫБОР РЕЖИМОВ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ ЭЛЕКТРОННЫХ МИКРОУЗЛОВ ..	56
<i>Баданин А. В.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОХЛАЖДЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ВЫСОКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ.....	59
<i>Буринова Т. Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ ТЕПЛОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА.....	62

<b>Буркова М. А.</b> КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СПУТНИКА.....	66
<b>Голятин В. В.</b> ВЫБОР И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА .....	70
<b>Горюнова Л. К.</b> ВЫБОР УРОВНЯ ФОРСИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УСКОРЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ ЦИКЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ.....	73
<b>Гусаков И. А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ И ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ.....	76
<b>Мужилкина К. С.</b> ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МИКРОКЛИМАТА ГРИБНОЙ ТЕПЛИЦЫ.....	79
<b>Оробинский В. А.</b> УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ БИОНИЧЕСКИМ ПРОТЕЗОМ.....	82
<b>Остапенко Н. А.</b> ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ УПРАВЛЯЮЩИХ УЗЛОВ АППАРАТОВ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ .....	85
<b>Перевязкина А. Ю.</b> АКТИВНАЯ КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ ЭКЗО-СИСТЕМА .....	89
<b>Санько Е. И.</b> ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПАЙКИ В ЭЛЕКТРОНИКЕ .....	92
<b>Федорова А. В.</b> КАЛИБРОВКА МЭМС-ДАТЧИКОВ ДВИЖЕНИЯ .....	95
<b>Медицинская радиоэлектроника .....</b>	<b>98</b>
<b>Белокур Д. О.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УСТАНОВЛЕНИЯ ТАКТОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ.....	98
<b>Боборыкин Е. В.</b> БЛОК УПРАВЛЯЕМЫХ НАГРУЗОК.....	101
<b>Ваганова Д. В.</b> АЛГОРИТМ БИОМЕХАНИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СТРУКТУР КОЛЕННОГО СУСТАВА ПРИ УСТРАНЕНИИ ВАРУСНОЙ ДЕФОРМАЦИИ.....	106
<b>Гагарина Д. С.</b> КОМПЕНСАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ В УСИЛИТЕЛЯХ МОЩНОСТИ ...	109
<b>Есипов Р. А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ ЛИНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМИТАЦИОННЫХ ПОМЕХ.....	113
<b>Кулигин М. А.</b> АНАЛИЗ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ И СИГНАЛЬНО-КОДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАДИОЛИНИИ СПУТНИКОВОГО РАДИОДОСТУПА.....	116
<b>Лебедева В. А.</b> БИОМЕХАНИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ СТРУКТУР БЕДРЕННОЙ КОСТИ ПРИ ДЕФОРМИРУЮЩЕМ АРТРОЗЕ.....	119
<b>Леоненко Е. Е.</b> ЭФФЕКТ МНОГОЛУЧЕВОСТИ ПРИ СВЯЗИ С КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ В ОКОЛОЗЕМНОМ ПРОСТРАНСТВЕ.....	122
<b>Ложкина В. А.</b> РАЗРАБОТКА ПОДОПТИМАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ПРИЕМА СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ МЕЖСИМВОЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ....	124
<b>Мажник И. В.</b> АДАПТИВНАЯ КОРРЕКЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ OFDM-СИГНАЛОВ .....	128
<b>Пайгусова Г. А.</b> АДАПТИВНЫЙ ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СИГНАЛЬНО-КОДОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ ПО НЕСТАЦИОНАРНЫМ КАНАЛАМ СВЯЗИ .....	132
<b>Пучкова Э. С.</b> КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ МИТРАЛЬНОГО КЛАПАНА СЕРДЦА ПРИ ДИЛАТАЦИИ.....	136
<b>Пылев С. А.</b> О ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ И ВИДОМ СИГНАЛОВ, ПОДНЕСУЩИХ OFDM-СИГНАЛОВ .....	139
<b>Резунов Г. М.</b> О ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ПРИ АДАПТИВНОЙ КОРРЕКЦИИ МЕЖСИМВОЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ .....	143
<b>Сафронова А. А., Пашкова П. А.</b> АЛГОРИТМ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТОЯНИЯ СТРУКТУР ПОЯСНИЧНОГО И ГРУДНОГО ОТДЕЛОВ ПОЗВОНОЧНИКА ПОСЛЕ КОРРЕКЦИИ .....	147

<b>Семенова Ю. Д.</b> БИОМЕХАНИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ДЛИННЫХ ТРУБЧАТЫХ КОСТЕЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ПОСЛЕ ТЯЖЕЛЫХ СОЧЕТАННЫХ ТРАВМ .....	150
<b>Тарасов Т. В.</b> ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОЛУЧЕВОСТИ В НЕСТАЦИОНАРНОМ КАНАЛЕ СВЯЗИ.....	153
<b>Ткачева Е. В.</b> РАЗРАБОТКА ПОДОПТИМАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ПРИЕМА СИГНАЛОВ ПРИ НАЛИЧИИ МЕЖСИМВОЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ .....	156
<b>Циглин К. И.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ РАДИОЛИНИЙ ЗАГОРИЗОНТНОЙ СВЯЗИ.....	161
<b>Читайкина О. А.</b> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ .....	164
<b>Шилов Д. И.</b> ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ БУРЬ НА РАБОТУ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ .....	167
<b>Шмелев Ю. А.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ OFDM ТЕХНОЛОГИИ В РАДИОСВЯЗИ .....	169
<b>ВОЕННЫЕ НАУКИ.....</b>	<b>171</b>
<b>Военный учебный центр .....</b>	<b>171</b>
<b>Агаларов Н. Ф.</b> РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФРЕЙМВОРКА DJANGO.....	171
<b>Венедиктов Н. А.</b> ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ НА РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ .....	175
<b>Гришин С. А.</b> РЕЗЕРВНОЕ КОПИРОВАНИЕ ДАННЫХ .....	178
<b>Гусейнов Э. Ч.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ORM ТЕХНОЛОГИИ ПРИ РАБОТЕ С БАЗАМИ ДАННЫХ .....	181
<b>Давидович Б. В., Пономаренко А. Э.</b> РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ПОСТРОЕННЫХ НА БАЗЕ ПЭВМ.....	185
<b>Демиденко А. С.</b> МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ЗАМЕТНОСТИ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ В ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ .....	188
<b>Килин Д. В.</b> ОБЛАЧНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ .....	190
<b>Кульбик В. В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ИПИ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ НА ЭТАПЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА: ЭКСПЛУАТАЦИЯ.....	192
<b>Малашенко А. А.</b> ИСТОРИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И СЛУЖБЫ ЛИНЕЙНОГО КОРАБЛЯ «ИНГЕРМАНЛАНД» (1715 Г.).....	196
<b>Михалев А. А., Ротанов И. А.</b> ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТАХ В ЕДИНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ .....	199
<b>Немилюстив И. Ю., Назаргулов И. Р.</b> ОБУЧАЮЩИЙ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ .....	202
<b>Ненашев С. А.</b> СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ПЕРЕДВИЖЕНИИ .....	207
<b>Попов Д. И., Волков С. А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПРИЕМНИКОВ ВОЗДУШНОГО ДАВЛЕНИЯ ОТ УГЛОВ АТАКИ. ПРИЕМНИК ВОЗДУШНОГО ДАВЛЕНИЯ С СИСТЕМОЙ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА АТАКИ .....	210
<b>Ротач Р. Е.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И НОРМАЛИЗАЦИИ СОСТОЯНИЯ ПИЛОТА ВОЗДУШНОГО СУДНА .....	215
<b>Сердюкова Е. В.</b> ЦИФРОВОЙ ИЗЕРИТЕЛЬ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ.....	218

<b>СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ.....</b>	<b>222</b>
<b>Факультет СПО .....</b>	<b>222</b>
<b>Александрова А. Б. СИСТЕМА БОЛЬШИХ ДАННЫХ В СФЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ .....</b>	<b>222</b>
<b>Блинов И. В. ВЛИЯНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ НА РАЗВИТИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ .....</b>	<b>225</b>
<b>Волоковский Ю. В. ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....</b>	<b>228</b>
<b>Косов В. П. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТА-ГЕКСОПОДА В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА .....</b>	<b>230</b>
<b>Свелеба К. К. ИНВЕСТИЦИИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ.....</b>	<b>232</b>
<b>Федоров В. В. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МОНТАЖА РАДИОКОМПОНЕНТОВ НА ПЕЧАТНУЮ ПЛАТУ.....</b>	<b>234</b>

Научное издание

СЕМЬДЕСЯТ ТРЕТЬЯ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ  
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ГУАП  
(13–17 апреля 2020 г.)

Часть 2

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Сборник докладов

ISBN: 978-5-8088-1506-3



9 785808 815063

Ответственный за выпуск:

А. В. Бобович

Редакторская подготовка *Е. В. Тороповой*  
Компьютерная верстка *А. Н. Колешко*

---

Подписано к печати 21.09.20. Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 14,0. Уч.-изд. л. 20,0. Тираж 150 экз. Заказ № 303.

---

Редакционно-издательский центр ГУАП  
190000, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, д. 67