

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

---

СЕМЬДЕСЯТ ЧЕТВЕРТАЯ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ  
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ГУАП  
(19–23 апреля 2021 г.)

Часть 1

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Сборник докладов



УДК 001  
ББК 72  
С30

С30 Семьдесят четвертая Международная студенческая научная конференция ГУАП (19–23 апреля 2021 г.): сб. докл.: в 4 ч. Ч. 1: Технические науки. – СПб.: ГУАП, 2021. – 360 с.  
ISBN 978-5-8088-1610-7 (Ч. 1)  
ISBN 978-5-8088-1609-1

Представлены доклады Семьдесят четвертой Международной студенческой научной конференции ГУАП, прошедшей в апреле 2021 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

*Д. В. Ворновских*, директор Ивангородского филиала ГУАП

*К. В. Лосев*, доктор экономических наук, профессор

*Н. Н. Майоров*, доктор технических наук, доцент

*М. О. Самоловов*, директор РИЦ

*М. Б. Сергеев*, доктор технических наук, профессор

*В. В. Скуратов*, начальник Военного учебного центра при ГУАП

*А. М. Тюрликов*, доктор технических наук, профессор

*Е. А. Фролова*, доктор технических наук, доцент

*Н. А. Чернова*, кандидат экономических наук

Ответственный секретарь редакционной коллегии *О. Ю. Багиева*

ISBN 978-5-8088-1610-7 (Ч. 1)  
ISBN 978-5-8088-1609-1

© Санкт-Петербургский государственный  
университет аэрокосмического  
приборостроения, 2021

# АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

## Аэрокосмические измерительно-вычислительные комплексы

УДК 629.76.78

**А. А. Аристов, М. А. Епринцев**

студенты кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**В. В. Перлюк** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМА ЕРНР ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ОПТИЧЕСКОГО МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ МИКРОСПУТНИКОВ В ГРУППЕ

#### Введение

В настоящее время наблюдается тенденция к миниатюризации космических аппаратов. Становится возможным использование группы из малых космических аппаратов как альтернативы крупным спутникам. Причины, по которым этот путь интересен и актуален, таковы:

- повышение показателей надежности (сохранение работоспособности группы при выходе из строя одного или нескольких спутников);
- снижение стоимости проекта (необходимость разработки малого количества универсальных платформ, возможность одновременного производства нескольких аппаратов);
- возможность вывода на орбиту нескольких космических аппаратов за один запуск (вывод одной или нескольких групп, пополнение уже существующих формаций).

#### Описание алгоритма ЕРНР

Наиболее распространены следующие алгоритмы определения положения тела в пространстве с помощью оптических устройств.

AD – метод Ansar-Daniilidis, позволяющий найти решения на основе общей процедуры линеаризации квадратичных систем, определить решение в случае, если оно уникально.

Clamped DLT – метод прямой линейной трансформации (direct linear transformation method). Суть его состоит в том, что по двум плоским снимкам можно восстановить третью координату.

LHM – метод, основанный на LU-разложении.

ЕРНР – метод Effective-Perspective-n-Point, основанный на определении координат с помощью трех или более точек.

Был выбран алгоритм ЕРНР. Он позволяет с помощью одной камеры определять положение объекта в трехмерном пространстве, если известны характеристики камеры и некоторые параметры объекта. В основе рассматриваемого метода лежит уравнение [1]

$$sp = A[R | t]P_w, \quad (1)$$

где  $s$  – произвольное масштабирование проективного преобразования (не зависит от параметров камеры);  $p$  – координаты  $[u, v]$  пикселя в плоскости изображения;  $A$  – внутренняя матрица камеры;  $R$  – вращение системы координат относительно мировой системы координат;  $t$  – перемещение системы координат относительно мировой системы координат;  $P_w$  – точка в пространстве, выраженная относительно мировой системы координат.

Внутренняя матрица камеры описывает параметры камеры и имеет следующую структуру [2]:

$$A = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $f_x, f_y$  – фокусные расстояния камеры по двум осям;  $c_x, c_y$  – основные точки (близки к центру изображения).

В качестве стенда для оценки работы алгоритма используется спутник формата CubeSat, на каждой боковой грани которого расположены четыре инфракрасных диода. Излучение этих диодов лежит за пределами видимого участка спектра, что позволяет отсеять лишние участки на изображении и более точно определить координаты диодов. Положение диодов на каждой грани задано изначально. По изображению можно определить координаты центров меток на изображении (в пикселях) и рассчитать положение тела в пространстве, решив систему уравнений [2]:

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} u_j \\ v_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x X_{c_i} / Z_{c_i} + c_x \\ f_y Y_{c_i} / Z_{c_i} + c_y \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} X_{c_i} \\ Y_{c_i} \\ Z_{c_i} \end{bmatrix} = [R | t] \begin{bmatrix} X_{w_i} \\ Y_{w_i} \\ Z_{w_i} \\ 1 \end{bmatrix} \end{cases}, \quad (3)$$

где  $i$  – номер метки (всего меток 3 или больше);  $X_w, Y_w, Z_w$  – координаты  $i$ -й метки в мировой системе координат;  $X_c, Y_c, Z_c$  – координаты  $i$ -й метки в системе координат, связанной с камерой.

Так как исходные данные известны, то решение систем уравнений вида (3) для всех точек единственное. Таким образом, с помощью рассматриваемого метода можно найти решение с помощью всего одной камеры. Это позволяет масштабировать систему, добавляя дополнительные маркеры либо камеры, что повышает достоверность результатов измерений и надежность работы системы.

### Определение факторов, влияющих на точность результатов измерений

При использовании метода EPnP необходимо учитывать влияние факторов, вносящих ошибку в результаты измерений [3]:

- монохроматические aberrации;
- хроматические aberrации;
- погрешности определения параметров камеры;
- ошибку определения координаты точки на двумерном изображении;
- ошибку определения параметров матрицы перехода из одной системы координат в другую;
- ошибку позиционирования светодиодов на боковой панели.

### Выводы

Использование метода технического зрения оправданно и перспективно в решении задач управления пространственным расположением микроспутников в группировке, прежде всего для определения текущего расстояния между соседними спутниками. В ближайшее время планируется составить программное обеспечение для проверки рассматриваемого метода, оценить точностные характеристики работы стенда, скорость обработки данных, динамические характеристики.

### Библиографический список

1. Skrypnik I. Scene modelling, recognition and tracking with invariant image features / I. Skrypnik, D. G. Lowe // International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Arlington, VA, November 2004. P. 110–119.
2. Camera Calibration and 3D Reconstruction. URL: [https://docs.opencv.org/3.4/d9/d0c/group\\_\\_calib3d.html](https://docs.opencv.org/3.4/d9/d0c/group__calib3d.html) (дата обращения: 15.03.2021).
3. Сюрпризы инфракрасной астрономии. URL: [www.scientifically.info](http://www.scientifically.info) (дата обращения: 04.04.2021).

УДК 533.6

**А. А. Аристов, М. А. Епринцев**

студенты кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**В. В. Перлюк** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

**УЧЕБНО-ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ СТЕНД ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДВЕСА  
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

Для определения системой управления электромагнитным подвесом расстояния от электромагнита до испытуемого тела в ее состав должен входить датчик или комплекс датчиков. Основные требования к ним [1, 2] следующие.

1. Быстродействие, так как электромагнит должен переключаться из выключенного в включенное состояние и обратно с высокой частотой. При слишком низкой частоте работы электромагнита амплитуда колебаний будет увеличиваться и в конце концов тело вылетит из зоны испытаний.

2. Точность. Необходимо обеспечить как можно более точное определение малого расстояния, так как от этого зависит положение той самой точки, в которой электромагнит будет отключаться. При низкой точности работы датчика данные эксперимента могут быть ошибочными или он и вовсе может сорваться.

3. Дешевизна. Несмотря на требование к точности, использование дорогостоящих высокоточных датчиков нецелесообразно. Прежде всего это связано с возможностью в случае необходимости (например, при выходе из строя) заменить его. В случае с дорогостоящим датчиком это сложно.

4. Питание. Питание датчиков должно осуществляться стандартными напряжениями (3,3, 5, 12 или 24 В). При питании меньшими напряжениями необходимо добавление усилителя, что приведет к появлению новой точки отказа, изменению характеристик надежности всей системы. Датчики, которые, несмотря на усилитель, повысят точность и надежность системы, скорее всего, не подойдут по предыдущим пунктам.

5. Габариты. Датчики необходимо располагать как можно ближе к испытуемому телу и оси электромагнита. Поэтому большие габариты датчика вызовут сложности в его установке.

Эти требования справедливы как к непосредственно датчикам, так и к системе датчиков в целом.

Основными возможными системами для управления положением испытуемого тела можно назвать:

- компьютерное зрение;
- дальномер (инфракрасный, ультразвуковой);
- фоторезистор и лазерный диод – комплекс, позволяющий задать верхнюю или нижнюю границу, у которой будет колебаться испытуемый объект. Проходя через луч во время работы электромагнита, он будет его перекрывать, что станет сигналом к отключению электромагнита;
- датчик Холла – измерение расстояния до тела (магнита в нем) посредством измерения напряженности магнитного поля.

Преимущества и недостатки каждого из перечисленных методов измерения представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Анализ методов измерения расстояния**

Метод	Преимущества	Недостатки
Компьютерное зрение	Многообразие выполняемых задач. Отсутствие привязки камеры/камер к оси электромагнита, а также вариативность расстояний до испытуемого тела [3]	Дороговизна. Необходимость выполнения аэродинамической трубы из прозрачного материала. Быстродействие связано с оптимизаци-

## АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Метод	Преимущества	Недостатки
		ей программного кода и ограничением количества кадров в секунду у камеры. Сложность работы с объектами разных геометрий
Дальномер инфракрасный	Дешевизна. Доступность	Необходимость выполнения аэродинамической трубы из прозрачного материала. Относительно невысокая точность
Фоторезистор и лазерный диод	Простота. Дешевизна. Быстродействие	Необходимость изготовления аэродинамической трубы из прозрачного материала. Сложность подстройки для тел разных габаритов
Датчик Холла	Дешевизна. Компактность. Менее суровые требования к аэродинамической трубе. Высокая частота работы (для распространенных на рынке ОН49Е составляет свыше 500 Гц)	Материал корпуса – не металл. Необходимость наличия в испытуемом теле постоянного магнита. Нелинейность выходной характеристики

Таким образом, система на основе датчика холла представляется наиболее подходящей для поставленной задачи. Помимо рассмотренных в табл. 1 преимуществ, также появляется возможность использования нескольких датчиков и повышения работы за счет применения фильтрации сигналов, мажоритарного резервирования [4].

### Библиографический список

1. Аэродинамический эксперимент. URL: [www.femto.com.ua](http://www.femto.com.ua) (дата обращения: 30.03.2020).
2. Ахметшин Т. Ф. Сертификация авиационной техники / Т. Ф. Ахметшин. Уфа: ФГБОУ ВО «УГАТУ», 2013. С. 10–18.
3. Сапожников Г. А., Богословский С. В., Кизимов А. Т. Теория и практика измерительных электромагнитных подвесов. СПб.: ГУАП, 2001. 384 с.
4. Кизимов А. Т., Беляков Н. Н., Лебедев А. Н. Динамические ошибки датчиков параметров движения на основе электромагнитного подвеса. Ижевск: ИжМИ, 1984. С. 70–74.

УДК 378.147

**Н. Т. Гизова**

студент кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**А. П. Григорьев** – доцент – научный руководитель

## РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ

### Введение

Учебники, учебные пособия, методические материалы, справочники – методико-дидактическая база теоретического этапа обучения, важная часть образовательного процесса высшей школы во все времена. К сожалению, печатные учебные пособия со временем изнашиваются и количество доступных студентам экземпляров уменьшается.

В эпоху информатизации образования, развития Интернета, информационно-коммуникационных технологий и цифровизации появляется возможность перейти от печатных источников теоретического материала к цифровым, что позволит обеспечить потребность в них каждого студента и существенно уменьшить общую массу учебно-методических материалов, необходимых при ежедневном использовании.

Объем материала, который необходимо усвоить, только увеличивается, а учебное время ограничено. Возникает проблема: обучающийся, не имея достаточных навыков обработки больших массивов информации, начинает испытывать трудности, терять мотивацию, и его интерес к обучению может постепенно угасать. Это создает необходимость в новых методах обучения, которые помогли бы студенту получать знания в различных удобных ему формах, чтобы он быстро и качественно обрабатывал материал. Необходимо облегчить понимание и запоминание понятий, вовлекая слуховую, эмоциональную, фотографическую память на более высоком уровне [1].

### Обоснование выбора электронного учебного пособия для реализации учебного процесса

Электронное учебное пособие (ЭУП) – одно из средств для достижения указанной цели. Оно создается как вспомогательное учебное средство. Можно сказать, что ЭУП является лектором с расширенными возможностями донесения информации до студента. Имея в своем арсенале различные мультимедийные возможности, ЭУП становится прекрасным дополнением к процессу обучения и позволяет представлять различные процессы, недоступные для непосредственного наблюдения учащимся, в графической форме.

ЭУП расширяет возможности обучения, предоставляя студентам:

- материалы в формате видеороликов, аудиофайлов, анимационных моделей;
- интерактивные блоки проверки знаний;
- материал, не теряющий актуальности за счет возможности обновления в любое время без каких-либо затрат.

Использование ЭУП позволит повысить качество обучения, закрепить то, что уже было пройдено на лекциях с преподавателем, организовать самостоятельную работу через тесты и даже обучать студентов дистанционно.

Анализ научно-педагогической литературы и разработок в сфере обучающих программ показал, что использование компьютерных технологий в системе образования актуально. Цель настоящей работы – создание электронного учебного пособия «Бортовые информационные системы» [2]. Данное специальное ЭУП предназначено для ознакомления студентов с устройством БИС ЛА, принципами их построения, методами проектирования, уровнем требований к ним.

### Постановка задач

В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие частные задачи:

- проанализировать методико-дидактические материалы предметной области дисциплины;
- сформировать требования к ЭУП;
- изучить существующие подходы при проектировании ЭУП;

- на основании анализа, осуществить выбор оригинального подхода к проектированию;
- разработать алгоритмическое и программное обеспечение реализующее функционирование ЭУП;
- разработать ЭУП с учетом требований, предъявляемых к нему.

### **Библиографический список**

1. Ахмедова А. М. Использование современных электронных средств обучения в учебном процессе // Science Time. 2015. № 1 (13). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-sovremennyh-elektronnyh-sredstv-obucheniya-v-uchebnom-protsesse> (дата обращения: 05.04.2021).
2. Кучерявый А. А. Бортовые информационные системы: курс лекций / под. ред. В. А. Мишина и Г. И. Клюева. 2-е изд., перераб. и доп. Ульяновск: УлГТУ, 2004. 504 с.

УДК 681.1

**Н. С. Красненков**

студент кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**А. В. Небылов** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО СОЗДАНИЮ БПЛА САМОЛЕТНОГО ТИПА ДЛЯ ПОИСКА И СПАСЕНИЯ ЛЮДЕЙ

### Введение

Главная проблема поисково-спасательных операций на сегодняшний день – ограниченность человеческого ресурса. В связи с этим возникла острая необходимость в создании многофункционального универсального беспилотного летательного аппарата (далее – БПЛА) для поисково-спасательных работ, который поможет существенно снизить проблему нехватки человеческого ресурса при проведении поисковых мероприятий, при этом значительно сокращая время поиска. Помимо этого, важна быстрая доставка необходимого груза в заданное место. Во многом актуальность применения БПЛА также заключается в их преимуществе в сравнении с пилотируемой авиацией, а именно:

- возможность осуществлять незамедлительные вылеты в любых погодных условиях и в любое время;
- способность выполнять поставленные задачи в условиях, опасных для пилотируемой авиации и т. д.

### Выбор энергетической установки

Для выбора оптимальной энергетической установки на борту необходимо исходить из полетного задания БПЛА, а также из требований к источнику энергии. Для спасательных аппаратов существуют два основных вида полетных заданий – длительный полет на большие расстояния с целью поисковых работ и перевозка тяжелой полезной нагрузки с целью оказания помощи. Эти цели требуют источника энергии высокой плотности. На сегодняшний день таким требованиям удовлетворяет водородный источник энергии. На рис. 1 представлен график в двойном логарифмическом масштабе, отражающий удельные плотности энергии разных источников [1].

Таким образом, наилучшей энергетической установкой на борту поисково-спасательного БПЛА будет водородный топливный элемент, когда электроэнергия вырабатывается путем химической реакции между атомами водорода и кислорода. Такая установка позволяет увеличить как полетное время, так и грузоподъемность в 3–4 раза по сравнению с традиционными литиевыми аккумуляторами [1].



Рис. 1. Удельная мощность различных источников энергии

### Оценка точности навигации

Традиционно для навигации в беспилотной авиации используются интегрированные навигационные системы – INS, в основе которых комплексное применение инерциальных систем и глобальной спутниковой навигации. Такая система позволяет с достаточно высокой точностью определять координаты аппарата в идеальных условиях. Однако на практике в помощь основной системе вводят дополнительные: видеонавигацию и определение координат по пеленгационным измерениям на наблюдаемый объект с известными координатами. Точность такой дополнительной навигации не более 30 м [2].

Комплексное же применение приведенных методов навигации позволяет отслеживать координаты летательного аппарата с еще большей точностью.

### Выбор оптимальной скорости и высоты полета

На выбор оптимальной скорости поисково-спасательного БПЛА, как и на выбор высоты его полета, влияют параметры оптики на его борту. Для предотвращения размытия изображения при движении аппарата необходимо регулировать такой параметр камеры, как выдержка. Лучшим ее значением для аэрофотосъемки является 1/250 с при скорости БПЛА в 70 км/ч [3].

Для выбора оптимальной высоты полета необходимо соблюдать такой параметр, как шаг сканирования – GSD. Шаг сканирования определяет расстояние на местности, равное одному пикселю на изображении. Оптимальным шагом сканирования при съемке людей служит значение в 3–5 см/пиксель, что комфортно для восприятия человеческим глазом. Такое значение соответствует съемке с высоты в 120 м [3].

### Расчет максимальной площади покрытия

Зная скорость и высоту полета, а также примерное время нахождения в воздухе поисково-спасательного БПЛА самолетного типа, можно определить, какое максимальное расстояние будет способен он преодолеть. Для времени полета около 14 ч и скорости 20 м/с, примерное расстояние будет

$$L = ST = 20 \cdot 50400 = 1008000 \text{ м.}$$

Длина пути по данной спирали: 541248,8 метров

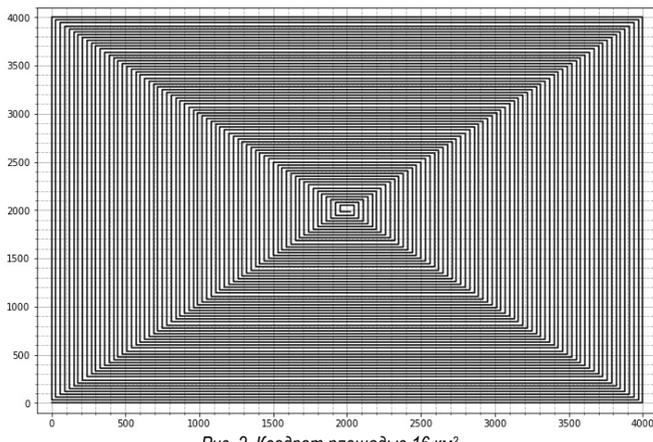


Рис. 2. Квадрат площадью 16 км<sup>2</sup>

Такому расстоянию соответствует покрытие квадрата площадью от 16 км<sup>2</sup> (рис. 2) до 25 км<sup>2</sup> по спиральной траектории с запасом для возвращения на базу. При увеличении площади исследуемого квадрата до 36 км<sup>2</sup> длина пройденного пути увеличивается до 1 212 000 м, а на облет такой местности потребуются примерно 16,8 ч.

**Библиографический список**

1. Российские беспилотники. Источники энергии дронов. URL: <https://russiandrone.ru/publications/istochniki-energii-dronov-razdvigaya-granitsy-elektricheskogo-poleta/> (дата обращения: 06.05.2021).
2. Семенова Л. Л. Современные методы навигации беспилотных летательных аппаратов. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-metody-navigatsii-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov/viewer> (дата обращения: 10.05.2021).
3. Сечин А. Ю., Дракин М. А., Киселева А. С. Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования (часть 2). URL: <https://racurs.ru/press-center/articles/bespilotnye-letatelnye-apparaty/UAV-for-mapping-2/#> (дата обращения: 07.05.2021).

УДК 629.76.78

**А. В. Кудашев**

студент кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**В. В. Перлюк** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТЫ ПОЛЕТА МОДЕЛИ РАКЕТЫ МЕТОДАМИ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

### Введение

Обычно, когда модель ракеты взлетает с пусковой установки и начинается ее самостоятельный полет, специальный персонал испытательного полигона следит за ее движением, измеряет набранную высоту, скорость и т. п. Слежение за полетом модели ракеты непростая задача, требующая хорошего зрения, опыта, глазомера в оценке расстояния и высоты, а также способности концентрировать внимание. При слежении за полетом модели используются различные вспомогательные устройства, например бинокли, теодолиты, буссоли и т. п. [1]. Понятно, что при таких измерениях трудно обеспечить высокую точность, которая возможна лишь при использовании сложной современной измерительной техники, в частности радиолокаторов и т. п. Тем не менее проведение указанных измерений важно. С одной стороны, оно позволяет сравнить результаты теоретических расчетов с опытными данными, с другой – расширяет и углубляет знания ракетомodelистов в различных областях науки и техники, в частности в разработке систем навигации и управления движением [2]. Одна из актуальных задач, возникающих при проведении соревнований по запуску моделей ракет, – точное измерение максимальной высоты их полета. Именно ее решению посвящена статья.

### Результаты проведенных исследований

В настоящее время для измерения высоты полета модели ракеты используются различные методы, которые или требуют дорогостоящего технического оборудования, что, естественно, ограничивает их применение, или обеспечивают довольно низкую точность измерения. К первой группе методов можно отнести применение радиотехнических средств, в которых на ракете устанавливается специальная метка, а наземная станция оборудуется высокоточной радиолокационной системой, отслеживающей ее положение в пространстве. Такие устройства весьма дорогостоящи и могут применяться исключительно на соревнованиях самого высокого (международного) уровня [3, 4]. Более целесообразно использование на ракете автономных систем контроля высоты полета на основе барометрического метода (датчика измерения атмосферного давления) или с использованием приемников спутниковой навигации (GPS или ГЛОНАСС) [5]. Такие устройства наиболее доступны для использования в любительском ракетомodelировании, но имеют точность измерения высоты не выше 20–50 м, а также слишком большое время задержки в измерениях (до 10 с).

В данном проекте предлагается измерять высоту полета на основании обработки изображения, поступающего от размещенной на некотором удалении от точки старта видеокамеры. Схема измерения представлена на рис. 1. Для вычисления абсолютного значения высоты полета ракеты  $H$  в зоне видимости камеры также устанавливается эталонный уровень (объект с заранее известной высотой  $H_0$ ). Для выполнения расчетов необходимо измерить расстояние между местом установки видеокамеры и местом старта ракеты  $L$  и местом установки эталонного уровня  $L_0$ . Указанные значения легко определить с помощью обычного спутникового навигатора в момент развертывания оборудования на стартовом полигоне. Одновременно важно определить высоту над уровнем моря места старта ракеты  $h_0$  и высоту над уровнем моря места установки видеокамеры  $h_1$ . Если эталонный уровень устанавливается в непосредственной близости от видеокамеры, высоту места его установки над уровнем моря измерять не надо, обычно она совпадает с  $h_1$ .

Изображение на экране видеокамеры соответствует рис. 2. При этом координаты изображения по вертикальной оси могут быть получены методами технического зрения с помощью среды графического программирования Labview [6]. Удобнее использовать измерение позиций вертикальных меток линии горизонта  $Y_1$ , эталонного уровня  $Y_0$  и высоты полета ракеты  $Y_p$  с помощью числа пикселей цифр-

рового изображения. Максимальная величина  $Y_{\max}$  будет определяться используемым разрешением получаемого изображения.

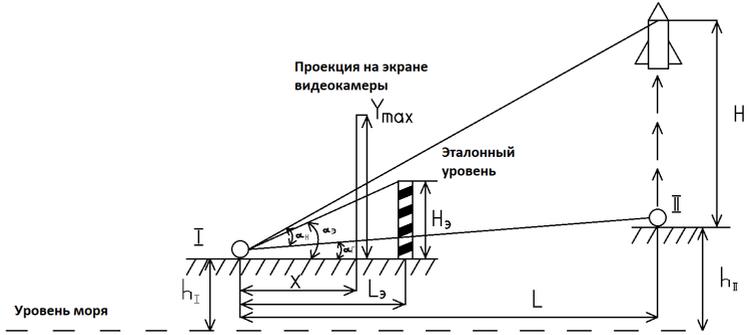


Рис. 1. Схема измерения высоты полета ракеты:  
I – место установки видеокамеры; II – место старта ракеты

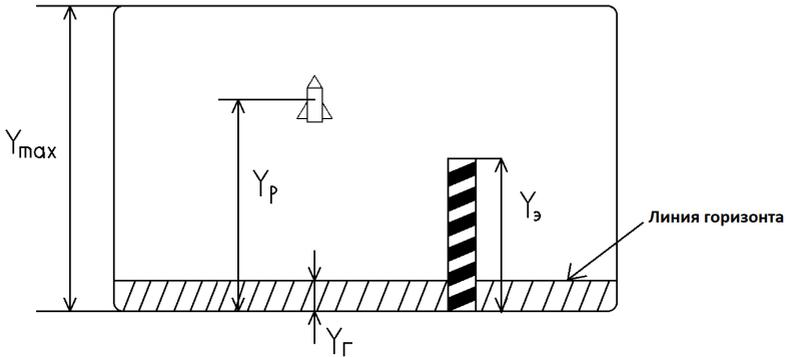


Рис. 2. Изображение на экране видеокамеры

Для вычисления высоты полета можно использовать следующие зависимости, полученные на основе тригонометрических соотношений для рис. 1:

$$\operatorname{tg}(\alpha_H + \alpha_\Gamma) = \frac{H + (h_{II} - h_I)}{L} = \frac{Y_P}{X}, \quad (1)$$

$$\operatorname{tg}(\alpha_3) = \frac{Y_3}{X} = \frac{H_3}{L_3}.$$

В итоге путем взаимной подстановки системы уравнений (1) получаем выражение для вычисления высоты полета:

$$H = \frac{Y_P H_3}{Y_3 L_3} L - h_{II} + h_I. \quad (2)$$

### Заключение

Предварительный расчет показал возможность обеспечить точность измерения высоты до 0,69 м на высотах до 500 м при использовании камеры с разрешением 720 р. Дальнейшее развитие данного подхода позволит вычислять не только высоту полета, но и пространственные координаты его траектории. При этом потребуются использование нескольких камер, одновременно снимающих старт ракеты, установленных с разных сторон относительно точки старта.

### Библиографический список

1. Небылов А. В., Перлюк В. В., Ху С. Опыт разработки бортовых систем макетов микроспутников в рамках международных научно-образовательных программ // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. № 8. С. 685–691.
2. Эльштейн П. Конструктору моделей ракет. М.: Мир, 1978.
3. Высота полета модели ракеты. URL: <http://www.modelizd.ru/rocket/theories/letnye-kachestva-modeley-raket> (дата обращения: 05.04.2021).
4. Воздушно-инженерная школа. URL: [www.roskansat.com](http://www.roskansat.com) (дата обращения: 05.04.2021).
5. Шевчугов В. О., Галактионов Д. Е. Программа расчета максимальной высоты полета модели ракеты // Актуал. проблемы авиации и космонавтики. 2017. Т. 1. С. 99–101.
6. Белиовская Л. Г., Белиовский Н. А. Основы машинного зрения в среде Labview. М.: ДМК-Пресс, 2017.

УДК 681.5

**А. А. Пеньковский**

студент кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**Р. Н. Малаханов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**КОНТУР УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ ПОЛЕТНОГО КОНТРОЛЛЕРА PIXHAWK4****Введение**

Полетный контроллер (далее – ПК) – основная часть беспилотного летательного аппарата (далее – БПЛА). Он предназначен для обеспечения движения объекта по заданной пространственно-временной траектории. Для управления БПЛА наиболее распространено использование метода ПИД-регулирования, что обусловлено простотой его технической реализации, ясностью функционирования и пригодностью для решения большинства задач. Несмотря на перечисленные преимущества классического ПИД-регулятора, при управлении сложными и нелинейными системами, а также при недостатке априорной информации об объекте управления (далее – ОУ) качество регулирования ухудшается. Поэтому более целесообразным становится применение нелинейных методов управления, что позволяет улучшить характеристики регулирования.

**Применение нечеткой логики**

Методы управления на основе нечеткой логики позволяют разрабатывать нечетко-логические контроллеры (далее – НЛК) по лингвистическим правилам. Динамика системы управления определяется содержанием базы правил, видом заданных функций принадлежности и выбранным алгоритмом нечеткого вывода. Основным достоинством НЛК считается отсутствие необходимости в точном определении и идентификации модели управляемого процесса, так как экспертная база знаний корректируется человеком-оператором в ходе работы [1, 2].

**Описание ПК Pixhawk4**

ПК Pixhawk позиционируются как профессиональные ПК, используемые для всех видов транспортных средств, включая грузовые БПЛА мультироторного типа (далее – МБПЛА). Имеют открытый исходный код и архитектуру. Последняя версия ПК на данный момент – Pixhawk 4 (PX4). Реализованный в PX4 контроллер для управления МБПЛА в воздушном пространстве является каскадным. В структурном плане он содержит контур управления положением и контур управления ориентацией [3].

**Описание и результаты исследования**

Оптимизация параметров ПИД-регуляторов исходной системы выполнена методом линеаризации передаточной функции системы управления и ОУ по критерию быстродействия. Заданное требование по времени переходного процесса – 2 с. Моделирование реализовано для МБПЛА СОЕХ «Пеликан». Введенные допущения: тяга для каждого ротора не превышает 4,5 кгс; предельные углы тангажа и крена 0,43 град.

Альтернативным решением является использование нечеткого регулятора (далее – НР), который полностью заменяет классический ПИД-регулятор в контуре управления ориентацией МБПЛА. Реализованный НР имеет две лингвистические переменные (далее – ЛП). Входная ЛП – рассогласование по углу тангажа, выходная соответствует угловой скорости по углу тангажа. Для каждой ЛП заданы семь функций принадлежности треугольной и трапециевидальной формы, параметры которых выбраны, исходя из введенных допущений. Использован алгоритм нечеткого вывода Мамдани на основе базы, содержащей 7 правил. На рис. 1 и 2 представлены переходные характеристики исходного и полученного контура при подаче на вход сигнала 0,22 град. по углу тангажа. Как следует из графиков, при использовании НР обеспечивается повышение быстродействия (НР – 0,269 с; ПИД-регулятор – 0,714 с) при полном отсутствии перерегулирования и колебательности.

**Заключение**

Проведено экспериментальное исследование контура ориентации ПК PX4. Полученные результаты свидетельствуют о преобладании нечеткого регулятора по отношению к классическому ПИД-регулятору.

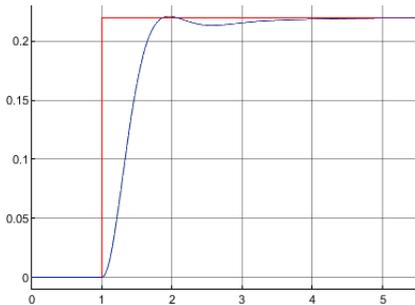


Рис. 1. Переходная характеристика системы при использовании ПИД-регулятора

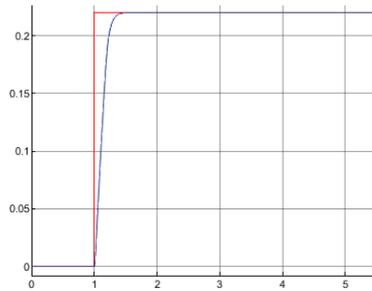


Рис. 2. Переходная характеристика системы при использовании NP

**Библиографический список**

1. Уманский А. С., Абакумов А. И. Применение нечеткой логики для управления компьютерной моделью беспилотного летательного аппарата // Постулат. 2018. № 6. С. 54.
2. Матвеев Е. В., Глинчиков В. А. Нечеткий логический вывод в системе управления беспилотного летательного аппарата // J. of Siberian Federal Univ. Engineering & Technologies. 2011. Vol. 1. P. 79–91.
3. PX4 AutopilotUserGuide (master). URL: <https://docs.px4.io/master/en/> (дата обращения: 14.05.2021).

УДК 623.746

**М. Е. Усольцева**

студент кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**В. А. Небылов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ОБОСНОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЛИКА  
БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ВЕРТОЛЕТНОГО ТИПА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ  
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СОВРЕМЕННОГО МЕГАПОЛИСА**

Беспилотная авиация, появившаяся в XX в. и применявшаяся преимущественно для реализации военных задач, получила в настоящее время новый импульс развития. С середины 2000-х гг. значительно распространились микроБПЛА, разрабатываемые и для сугубо гражданских целей. Гражданская область применения беспилотных воздушных судов (БВС) весьма обширна. БВС гражданского назначения используются службами и ведомствами предупреждения и устранения последствий чрезвычайных ситуаций; предприятиями агропромышленного комплекса; надзорными органами и ведомствами; проектными институтами и организациями; компаниями топливно-энергетического комплекса; средствами массовой информации.

Активное распространение БПЛА вызвано их неоспоримыми преимуществами, к которым относятся отсутствие экипажа, высокая степень автономности, высокая маневренность, малые затраты на производство и эксплуатацию. Более того, различные конструкции БПЛА дают огромную вариативность для их целевого применения.

Наибольшее распространение беспилотная авиация получила в мониторинге наземных объектов и инфраструктуры, а также в воздушной разведке. Для решения широкого круга задач, где требуются маневренность, способность «зависать» в воздухе и где нужны низкие требования к площадкам базирования, обеспечению взлета и посадки используются БАС на основе БПЛА вертолетного типа.

Исходя из опыта использования БПЛА вертолетного типа для решения задач мониторинга целесообразно разработать программу применения и технический облик БПЛА в целях оценки качества атмосферного воздуха мегаполисов.

В настоящее время экологический мониторинг мегаполисов осуществляется посредством автоматических станций, спутникового наблюдения и передвижных станций. Например, в Санкт-Петербурге насчитывается 25 автоматических станций мониторинга атмосферного воздуха и 3 передвижные станции мониторинга. К сожалению, данные способы мониторинга не могут измерять и отслеживать все параметры, необходимые для адекватной оценки качества воздуха.

Спутниковый мониторинг позволяет детектировать тепловые аномалии, однако по данным тепловых и оптических измерений со спутников невозможно выделить нетепловые источники загрязнений. Автоматические и передвижные станции экологического мониторинга отбирают пробы атмосферного воздуха на высоте не более 2 м, что недостаточно в условиях мегаполиса, где находятся многоэтажные жилые здания. Более того, автоматические станции мониторинга атмосферного воздуха проводят анализ ограниченного количества компонентов воздуха. Например, автоматическая станция, находящаяся в центральном районе Санкт-Петербурга, проводит детектирование только CO, NO и NO<sub>2</sub>, что недостаточно для объективного анализа качества воздуха.

При рассеивании в атмосфере концентрация загрязняющих веществ изменяется не только на различных расстояниях от источника загрязнения атмосферы, но и в значительной степени на различных высотах от земной поверхности, поэтому возникает необходимость в создании передвижного объекта экологического мониторинга, способного исследовать воздух на различных высотах. Данный метод имеет следующие преимущества: относительно низкие затраты для получения результата оперативного мониторинга, пригодность полученных результатов, свобода перемещения летательного аппарата, многообразие применения, быстрые сроки получения результата.

Проведение экологического мониторинга качества атмосферного воздуха мегаполисов с применением БПЛА вертолетного типа позволит повысить точность получаемых результатов и увеличить оперативность функционирования систем определения преобладающих зон загрязнения на различных

высотных уровнях от источника загрязнения, а также определить реальную дальность переноса загрязняющих веществ.

### **Библиографический список**

1. Перспективы развития беспилотных вертолетов. URL: <https://russiandrone.ru/publications/perspektivy-razvitiya-bespilotnykh-vertoletov/> (дата обращения: 31.03.2021).
2. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние. URL: <https://arsenal-info.ru/b/book/3398882726/> (дата обращения: 29.03.2021).
3. Характеристика уровня загрязнения атмосферного воздуха по данным государственной сети наблюдений и автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга. URL: <http://www.infoeco.ru/index.php?id=53> (дата обращения: 29.03.2021).

УДК 656.7.025

**А. Э. Азизов, Е. А. Мазуренко**

студенты кафедры системного анализа и логистики

**В. Е. Таратун** – старший преподаватель – научный руководитель

## ДОСТАВКА НА СЛЕДУЮЩИЙ ДЕНЬ

### Введение

Доставка на следующий день – настоящий шедевр логистики, который происходит каждую ночь. Вряд ли это будет дешево, но Вы сможете отправить посылку из Москвы в 15:00 в понедельник и получить ее в Нью-Йорке в 12:00 во вторник [1]. Скорость и эффективность этих мировых сетей доставок по-настоящему удивительна, и все это происходит, пока мы спим.

### Организация работы курьерских компаний за рубежом

Три крупнейшие курьерские компании – Fed Ex, DHL и UPS. У Fed Ex больше самолетов, чем у Emirates, Etihad, и Qatar Airways вместе взятых; DHL осуществляет доставку во все страны мира, включая Северную Корею; а UPS имеет вдвое больше направлений, чем крупнейшая пассажирская авиакомпания American Airlines [1]. У каждой компании есть собственная глобальная сеть, которая обеспечивает молниеносную доставку по относительно низким ценам.

Каждая компания управляет сотнями рейсов каждую ночь, но логистические операции Fed Ex делают их самой большой грузовой авиакомпанией в мире. У них 705 самолетов, которые летают по 400 направлениям [1], неся 6 млн посылок каждый день, и подавляющее большинство из этих рейсов выполняются в их узловых аэропортах – хабах. У компании есть хабы в Сингапуре, Гуанчжоу, Шанхае, Сеуле, Осаке, Анкоридже, Окленде, Далласе, Майами, Ньюарке, Торонто, Париже, Кельне, Милане и Дубае, но самый важный из всех – Мемфис, штат Теннесси, это Super Hub [2].

Мемфис – небольшой город, с населением 650 000 чел. Но причина, по которой Fed Ex сосредоточивает свои операции именно здесь, заключается в его местоположении. Мемфис находится не в географическом центре США, что имело бы логику, но это центр. Всего в 320 км от города расположен округ Райт, штат Миссури, – среднее местонахождение каждого жителя в США [3]. Это означает, что Super Hub в Мемфисе является лучшим местом, чтобы охватить наибольшее количество людей в кратчайшие сроки. По аналогичным причинам у UPS есть хаб Worldport в Луисвилле, штат Кентукки.

Масштабы выполняемых работ Fed Ex и UPS в этих относительно маленьких городах ошеломляют. Логистические операции, осуществляемые Fed Ex в Мемфисе, делают это аэропорт вторым по загруженности грузовым аэропортом в мире, обгоняя такие огромные города, как Токио, Париж, Дубай и Шанхай.

На самом деле Super Hub Fed Ex работает так: каждую ночь с 22:00 до 01:00 прилетает около 150 самолетов со всего мира. Сразу по прибытии они разгружаются, а посылки помещаются в автоматизированную сортировочную систему. Всего за 15 мин каждая посылка прибывает в зону сортировки для следующего рейса, где ее загружают в контейнеры. Таким образом, самолеты могут снова взлететь с 2 часов ночи, а это означает, что в любое место в США самолет Fed Ex может прибыть к 6 утра [4].

Вокруг нескольких часов сортировки в крупных хабах сосредоточено очень много, поэтому самолетам Fed Ex приходится ждать, чтобы прибыть в нужный момент. Некоторые хабы Fed Ex, такие как Мемфис, сортируют посылки в течение дня, но большая часть их работы происходит ночью. Например, рейс Fed Ex из Мемфиса в Флинт, штат Мичиган, отправляется в 04:30 и прибывает в 06:56, но затем самолет ждет 22:00, чтобы вылететь обратно в Мемфис. Это более 15 ч ожидания, и на этом маршруте самолет летит всего около трех часов в день [5]. Между тем пассажирские авиакомпании регулярно

летают на своих самолетах более 12 ч в день. Это означает, что у них в четыре раз выше коэффициент использования самолетов.

Fed Ex никогда не была бы прибыльной, если бы они купили все новые многомиллионные самолеты и использовали их всего пару часов в день. В подавляющем большинстве случаев эта и другие грузовые авиакомпании задействуют старые самолеты в конце их жизни. Вы больше никогда не увидите, как Airbus A300 выполняет пассажирские рейсы, в то время как Fed Ex, UPS и DHL владеют сотнями из них, потому что они дешевы [6]. На покупку этих самолетов компании потратили не так много, поэтому они не беспокоятся об их использовании, достаточно компенсировать их стоимость. У UPS есть несколько новых самолетов Boeing 747–800, которые очень эффективны, но они специально используют их на самых длинных маршрутах, чтобы оправдать высокую закупочную цену за счет более низких затрат на топливо. Со старыми самолетами расходы на топливо могут быть выше, поскольку они менее эффективны, но в целом это оправдывается, поскольку позволяет Fed Ex с выгодой использовать самолеты лишь пару часов в день.

### Заключение

Доставка – чрезвычайно чувствительный к цене бизнес. Курьерские компании полагаются на огромные контракты с розничными торговыми компаниями, и, когда некоторые из них отправляют миллионы посылок в день, каждый цент имеет значение. Однако во многих отношениях модель экспресс-доставки по своей сути очень дорогостоящая в основном из-за того, как компании используют свое самое дорогое имущество – самолеты.

### Библиографический список

1. Flightradar 24: Live Flight Tracker. URL: <https://www.flightradar24.com/> (дата обращения: 08.05.2021).
2. Fed Ex. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/FedEx\\_Express#Sorting\\_facilities](https://en.wikipedia.org/wiki/FedEx_Express#Sorting_facilities) (дата обращения: 08.05.2021).
3. Centers of Population. URL: <https://www.census.gov/geographies/reference-files/time-series/geo/centers-population.html> (дата обращения: 10.05.2021).
4. Fed Ex Super Hub: a dazzling array of tech and speed. URL: <https://www.thehindubusinessline.com/economy/logistics/fedex-superhub-a-dazzling-array-of-tech-and-speed/article8938903.ece> (дата обращения: 10.05.2021).
5. Flight this way for air craft – N749FD. URL: <https://www.flightradar24.com/data/aircraft/n749fd> (дата обращения: 12.05.2021).
6. DHL, About Us. URL: <https://www.dhl.com/global-en/home/about-us.html> (дата обращения: 12.05.2021).

УДК 62-115

**Д. Д. Варкентин**

студент кафедры системного анализа и логистики

**А. Н. Гардюк** – доцент – научный руководитель

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО АНАЛИЗА АО «ПТЗ»

### Введение

В данный момент Российское сельскохозяйственное машиностроение находится на стадии развития, многое делается, чтобы российские машины использовались как внутри страны, так и на внешних рынках, конкурируя с иностранными производителями.

Петербургский тракторный завод занимается производством тракторов, мощность которых составляет более 240 кВт. Данное предприятие – одно из главных по выпуску тяжелых сельскохозяйственных тракторов в России.

### Анализ финансового и производственного состояния АО «ПТЗ»

По данным финансовой отчетности АО «ПТЗ», соответствующей официальным базам налоговой службы и Росстата, составлены графики (рис. 1, 2). На них отобразена финансовая отчетность по объему прибыли, а также по объему выручки предприятия [1].

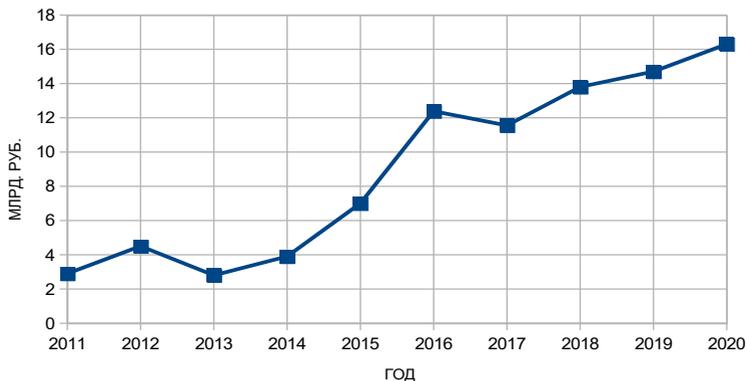


Рис. 1. График объема выручки АО «ПТЗ»

В последние годы статистика АО «ПТЗ» показывает положительные цифры не только по объему выручки, но и по общей прибыли. Стремительно продвигаются модернизация оборудования, открытие новых точек производств, расширение базы дилерских центров по всей России. Рост выручки обусловлен ростом доходов от продаж тракторов, так как основную долю в ней составляют продажи собственной продукции.

Петербургский тракторный завод нарастил производство тракторов за последний год более чем на 15 %, удалось реализовать 2 630 шт., в то время как в предыдущем году было продано 2 102 трактора. Основные поставки приходятся на внутренний рынок, но и количество тракторов, реализованных за рубежом, также увеличилось и составило 338 единиц техники.

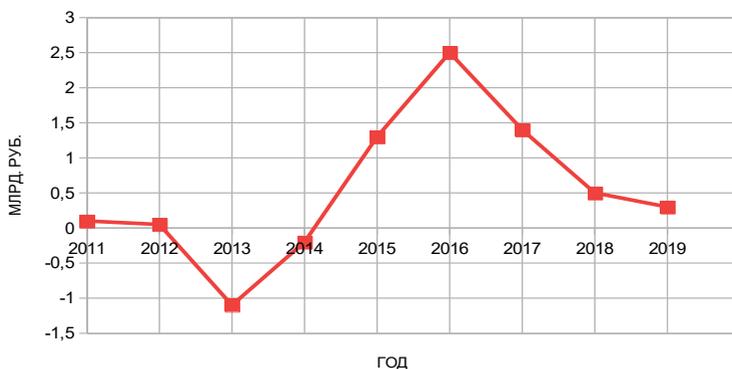


Рис. 2. График объема прибыли АО «ПТЗ»

На рост продаж положительно повлиял ряд факторов:

- 1) государственная поддержка в рамках Стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения на период до 2030 года;
- 2) рост годового выпуска продукции за счет интенсивного развития производства путем внедрения нового оборудования;
- 3) рост качества и ассортимента продукции;
- 4) повышение организации труда;
- 5) участие в международных выставках, открытие новых производств и точек продаж.

Одним из факторов стала разработка Стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения на период до 2030 года. Она подразумевает восстановление производственных мощностей машиностроительных организаций в отрасли сельского хозяйства, включает ряд целей, которые необходимо достичь за счет увеличения производства, а также расширения рынка продаж, в том числе экспорта [2].

Основная цель стратегии – повышение доли отечественных сельскохозяйственных машин на внутреннем рынке, а также увеличение экспортных поставок. В рамках ее достижения предполагается решение следующих задач:

- обеспечение равных конкурентных условий с зарубежными производителями сельскохозяйственной техники;
- создание технической базы для стабильного роста производства;
- создание технологической базы, привлечение и развитие специалистов в данной области;
- стимулирование роста инвестиций в проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, разработка новых видов конкурентоспособных сельскохозяйственных машин.

В целом стратегия включает три этапа.

На первом этапе (2018–2021 гг.) решается задача увеличения спроса на сельскохозяйственную технику российского производства, предполагаются поддержка российского сельскохозяйственного машиностроения, субсидирование и развитие новой технологической и технической базы.

Второй этап (2022–2025 гг.) посвящен экспорту. Главная задача – увеличить экспорт российской сельхозтехники в зарубежные страны, в данный момент он довольно мал.

На третьем этапе (2026–2030 гг.) предусмотрено, что государственное влияние на сельскохозяйственное машиностроение снизится. Мощности, полученные на предыдущих этапах, будут развиваться, и это позволит добиться роста производительности и увеличения экспорта.

Петербургский тракторный завод находится на стадии интенсивного развития. Закупаются новое оборудование, станки восьмидесятых годов заменяются на современные (рис. 3). Процесс модернизации проходит постепенно. Обновляется оборудование не только в цехах, где создают основные ча-

сти трактора, но и на сборочном конвейере. В 2020 г. в Санкт-Петербурге выпускалось по 15 тракторов в день, в ближайшее время эту цифру планируется увеличить до 20.



Рис. 3. Новое и старое оборудование

Новое оборудование позволяет:

- быстрее проводить обработку деталей за счет большего автоматизма оборудования и увеличения скорости обработки деталей;
- уменьшить травматизм во время производства, так как оно безопаснее для рабочих и обладает предохранительными системами;
- уменьшить время на технический ремонт оборудования, потому что новое реже выходит из строя;
- увеличить качество произведенных деталей за счет повышения точности обработки на новых станках.

Учитывая, что новые технологии находятся на стадии внедрения, потенциально можно ожидать роста объема выпуска в ближайшие годы. В целом повышение качества комплектующих приведет к улучшению характеристик тракторов и возрастанию спроса.

В последнее время увеличился ассортимент выпускаемой Петербургским тракторным заводом продукции. Еще недавно предприятие производило только трактора 7- и 8-го тягового класса. Сегодня появились новые К-424 и К-525, которые относятся к 4- и 5-му тяговому классу. Данные модели популярны среди покупателей за счет высокой мощности при относительно небольшой массе и малых габаритах, по сравнению с более тяжелыми тракторами 7-го тягового класса [3]. Также увеличился ассортимент тракторов более мощных классов, появились новые К-730М, К-742, К-726, уже существующие модели постоянно модернизируются и дорабатываются, что обеспечивает улучшение качества техники и увеличение спроса на нее.

В последние годы завод начал выпускать новые строительно-дорожные трактора. К ним относится К-708УДМ (рис. 4), который может выполнять разнообразные дорожные работы, его можно использовать как шовный погрузчик и снегоуборочную машину.



Рис. 4. Строительно-дорожный трактор К-708УДМ

Положительно влияет на рост производства изменение организационной структуры. В связи с появлением нового оборудования совершенствуются технологические процессы на производстве, сотрудники проходят обучение. Укрепляется вертикальная связь, руководство стало больше контролировать сотрудников и взаимодействовать с подчиненными, появляются средства слежения и идентификации. Все сотрудники занимаются своими прямыми обязанностями, новые технологические процессы позволяют минимизировать затраты энергии и сил работников, тем самым повысить нормы выработки. На предприятии регулярно проходят мероприятия в области охраны труда, а также организуется социально-культурный досуг, что помогает сплотить коллектив.

Петербургский тракторный завод участвует в международных выставках, что дает преимущества в привлечении новых клиентов. Продукция завода неоднократно презентовалась на крупной международной выставке AGRITECHNICA, в частности в 2015, 2017 и 2019 гг.

Ежегодно открываются новые точки продаж и предприятия, в том числе за рубежом. Основным импортером на протяжении многих лет был Казахстан, что послужило главной причиной открытия там в ноябре 2019 г. завода по производству тракторов «Кировец». 258 тракторов, проданных в Казахстане, собирались на данном заводе. В последующие годы от этого предприятия ожидается прирост производства тракторов и их продаж за рубежом [3].

География стран, которые закупают Российские трактора у АО «ПТЗ», довольно обширна: кроме Казахстана, покупателями являются Венгрия, Польша, Чехия, Беларусь, Молдова, Узбекистан, Германия и Канада. Недавно поступила информация о начале поставок продукции в Австралию, перспективны страны Северной Африки и Китай.

Для дальнейшего прироста экспорта у Петербургского тракторного завода есть транспортная инфраструктура: он расположен рядом с портом. Кировский завод, на территории которого расположен Петербургский тракторный завод, имеет в распоряжении несколько причалов, а также крупную сеть железнодорожных путей. Железнодорожный и морской транспорт основные для перевозки тракторов. АО «Тетрамет» обеспечивает эксплуатацию причалов на территории завода, занимается хранением, приемкой и отправкой грузов, которые по морским путям доставляются в разные точки России и мира, обладает крановым оборудованием грузоподъемностью от 5 до 50 т [3]. АО «Локомотив» (рис. 5) оказывает услуги по отправке грузов железной дорогой на территории завода. Также отвечает за ремонт железных дорог и подвижного состава [3].



Рис. 5. Акционерное общество «Локомотив»

### **Заключение**

Петербургский тракторный завод в плане мощности производства пока еще отстает от ведущих западных компаний. Тем не менее наблюдаются рост продаж, увеличение прибыли и присутствует ряд факторов, которые положительно влияют на производительность и экспорт сельскохозяйственной техники.

### **Библиографический список**

1. Информация о финансовой отчетности. URL: <https://www.audit-it.ru> (дата обращения: 11.04.2021).
2. Стратегия развития сельскохозяйственного машиностроения на период до 2030 года. URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 12.04.2021).
3. Общая информация о заводе. URL: <https://kzgroup.ru> (дата обращения: 12.04.2021).

УДК 656.34

**В. В. Деомидов**

студент кафедры системного анализа и логистики

**Н. А. Слободчиков** – кандидат военных наук, профессор – научный руководитель**О ВЫРАБОТКЕ ОСНОВНЫХ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕВИТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ****Введение**

Одна из основных проблем современности – рост мегаполисов и связанные с этим транспортные проблемы. Транспорт стал одной из важнейших составляющих развития цивилизации. Социальные и экономические потребности общества постоянно растут. Объемы перевозок пассажиров и грузов увеличиваются и вместе с ними повышаются требования к скорости транспортных средств. С каждым годом становится очевиднее, что транспортные проблемы крупных городов, в особенности мегаполисов, могут быть решены только посредством развития общественного транспорта. Одним из способов избежать большой концентрации населения оказывается возможность жить в одном городе, а работать в другом, используя возможности высокоскоростных магистралей. По протяженности стальных магистралей Россия занимает второе место в мире. Высокоскоростные железные дороги в конкурентной борьбе за пассажира теснят авиацию, водный и автомобильный транспорт. Спрос рождает предложение, и таким предложением становится транспорт на основе магнитной левитации.

**Выработка критериев целесообразности использования магнитолевитационных технологий на железнодорожном транспорте**

Первый критерий целесообразности использования левитационных технологий – *скорость*. Скорость доставки пассажиров и грузов служит важнейшей характеристикой как транспортного комплекса в целом, так и отдельных видов транспорта. Этот показатель грузоотправители и пассажиры называют одним из основных при выборе вида транспорта. Под ним подразумеваются эксплуатационные скорости железнодорожного транспорта.

Второй критерий – *время разгона подвижного состава*, третий – *длина пути, необходимая для разгона поезда до скорости 300 км/ч*.

Следующие критерии – *стоимость строительства 1 км двухпутного полотна и стоимость эксплуатации системы*. Критерии немаловажные: при попытке реализовать тот или иной проект всегда будет возникать вопрос о том, во сколько это обойдется. Стоимость эксплуатации системы магнитного подвеса учитывает количество привлеченного персонала. Вследствие более высокой эксплуатационной скорости и сокращения времени оборота подвижного состава при равных объемах перевозок системы на магнитном подвесе отличаются меньшими эксплуатационными затратами и требуют меньшей численности парка подвижного состава [1].

С повышением скоростей растет износ колесных пар и рельсов [2]. Таким образом, шестым показателем оценки целесообразности внедрения левитационных технологий на железнодорожном транспорте служит *степень износа от контакта подвижного состава с инфраструктурой*.

Седьмой показатель – *безопасность*. Под безопасностью понимается вероятность схода подвижного состава с рельсов. Сходы вагонов на сети РЖД участились. В 2019 и 2020 гг. было зафиксировано по 44 инцидента, на конец марта текущего года их уже около двух десятков.

*Уровень влияния на окружающую среду*. Необходимость оценки по этому параметру очевидна: на сегодняшний день экологический ущерб планете лишь растет и нужно со всей ответственностью подходить к выбору используемых технологий [3]. Здесь выделим несколько сопутствующих критериев: шум, производимый транспортом на высоких скоростях, и воздействие электромагнитного излучения.

*Устойчивость к климатическим воздействиям*. В данном случае необходимо отметить степень разрушительного сезонного и климатического воздействия на путевую структуру (подтопления, размыва, паводковых вод и т. п.), необходимость в сезонных ремонтах.

Важнейший критерий – *трассировка линий для высокоскоростного движения*. Новые линии тем удачнее вписываются в рельеф местности, чем меньше радиусы в плане имеют их кривые участки. Это позволяет оптимизировать длину трассы и снизить общую стоимость строительства [4]. Таким образом, допустимый угол подъема — это свойство, которое крайне важно для обеспечения транспортной доступности в пересеченной местности. Длина пути, необходимого для поворота, – критерий, который поможет оценить, в какой местности можно проложить железнодорожное полотно.

Еще одним критерием оценки будут характеристики *подвижного состава, используемого в системах*. Размерные параметры подвижных единиц на магнитном подвесе позволяют обеспечить максимальную населенность вагонов при соблюдении высокого уровня комфорта [5]. Сопоставимая пассажироместимость поезда с магнитной левитацией обеспечивается при значительно меньшей длине поезда. Отсутствие ограничений по габариту, как на классической железной дороге, позволяет создавать оптимальные для проектируемой дороги вагоны.

Также в качестве критериев оценки были рассмотрены привлекательность для пассажиров и туристов поездки на данном виде транспорта и придание импульса развития отечественной промышленности.

Таким образом, для оценки эффективности внедрения левитационных технологий на железнодорожном транспорте будут применяться следующие критерии: 1) стоимость строительства 1 км двухпутного полотна; 2) стоимость эксплуатации системы; 3) эксплуатационная скорость; 4) время разгона подвижного состава; 5) длина пути, необходимая для разгона поезда до скорости 300 км/ч; 6) минимальный радиус горизонтальной кривой; 7) допустимый угол подъема; 8) длина пути, необходимого для поворота; 9) степень износа от контакта подвижного состава с инфраструктурой; 10) безопасность; 11) уровень влияния на окружающую среду; 12) уровень шума, производимый транспортом на высоких скоростях; 13) воздействие электромагнитного излучения; 14) устойчивость к климатическим воздействиям; 15) размерность подвижного состава; 16) привлекательность поездки для пассажиров; 17) придание импульса развития отечественной промышленности.

#### Выбор основных критериев целесообразности использования магнитолевитационных технологий на железнодорожном транспорте

С целью сокращения количества критериев для оценки целесообразности использования левитационных технологий на транспорте был произведен экспертный опрос. В качестве экспертов выступали специалисты в области магнитолевитационных технологий (8 чел.).

Работа по формированию экспертной оценки выполнялась в два этапа. На первом методе анкетирования производился опрос специалистов, целью которого была оценка значимости основных критериев эффективности внедрения левитационных технологий. Экспертам предлагалось в порядке значимости расставить перечисленные в первой части статьи критерии. На втором этапе производилась обработка данных посредством метода ранговой корреляции.

В процессе ранжирования степени интенсивности влияния различных критериев сравниваются, и каждому присваивается номер (ранг). При этом критерий, получивший от специалиста наивысшую оценку, нумеруется как ранг 1. Данный метод позволяет расположить объекты исследования в порядке убывания (или возрастания) какого-то присущего им свойства. На основе результатов анкетного опроса составлена сводная матрица рангов (табл. 1).

Таблица 1

Сводная матрица рангов

Номер критерия	Номер эксперта								Сумма рангов	d	d <sup>2</sup>
	1	2	3	4	5	6	7	8			
1	2	2	1	2	3	2	2	2	16	-56	3 136

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Номер критерия	Номер эксперта								Сумма рангов	d	d <sup>2</sup>
	1	2	3	4	5	6	7	8			
2	5	3	4	5	4	3	1	3	28	-44	1 936
3	3	4	2	1	5	1	3	1	20	-52	2 704
4	7	5	5	7	7	6	8	5	50	-22	484
5	8	11	9	10	9	7	12	10	76	4	16
6	9	12	10	13	13	13	11	12	93	21	441
7	10	13	11	14	15	14	10	11	98	26	676
8	12	14	13	12	10	10	13	13	97	25	625
9	6	6	6	6	6	8	6	7	51	-21	441
10	4	7	7	4	2	9	5	6	44	-28	784
11	1	1	3	3	1	4	4	4	21	-51	2 601
12	13	8	8	8	8	5	7	8	65	-7	49
13	15	15	16	11	12	15	14	14	112	40	1 600
14	11	10	12	9	11	11	9	9	82	10	100
15	14	9	14	15	14	12	15	16	109	37	1 369
16	16	16	15	17	17	17	17	17	132	60	3 600
17	17	17	17	16	16	16	16	15	130	58	3 364
Σ	153	153	153	153	153	153	153	153	1224	-	<b>23 926</b>

В соответствии с данными таблицы, по формуле определяем разность рангов как разность суммы рангов и среднего значения суммы рангов:

$$d = \sum x_{ij} - \frac{\sum \sum x_{ij}}{n} = \sum x_{ij} - 72, \quad (1)$$

где  $x_{ij}$  – ранг  $j$ -го критерия у  $i$ -го эксперта,  $n$  – число критериев.

Проверка правильности составления матрицы на основе исчисления контрольной суммы:

$$\sum x_{ij} = \frac{(1+n)n}{2} = \frac{(1+17)17}{2} = 153, \quad (2)$$

где  $n$  – число критериев.

Суммы столбцов матрицы одинаковы между собой и равны контрольной сумме, значит, матрица составлена правильно.

Исходя из условий ранжирования, параметр с наименьшей суммой рангов имеет наибольшую важность, а параметр с их наибольшей суммой оценивается как наименее значимый. Таким образом,

были сделаны выводы о том, что наиболее значимыми для оценки целесообразности использования левитационных технологий на транспорте эксперты считают такие критерии, как:

- $x_1$  – стоимость строительства 1 км двухпутного полотна;
- $x_3$  – эксплуатационная скорость;
- $x_{11}$  – уровень влияния на окружающую среду;
- $x_2$  – стоимость эксплуатации системы;
- $x_{10}$  – безопасность;
- $x_4$  – время разгона подвижного состава;
- $x_9$  – степень износа от контакта подвижного состава с инфраструктурой;
- $x_{12}$  – уровень шума, производимый транспортом на высоких скоростях.

Затем мы оценили среднюю степень согласованности экспертных мнений. Рассчитали коэффициент конкордации для случая наличия связанных рангов по формуле

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12}m^2(n^3 - n) - m \sum T_i}, \quad (3)$$

где  $S$  – сумма квадратов разности рангов,  $m$  – число экспертов,  $n$  – число факторов,  $T_i$  – число связей (видов повторяющихся элементов) в оценках  $i$ -го эксперта.

Так как в оценках экспертов отсутствовали повторяющиеся элементы, то  $T_i$  будет равно 0.

Таким образом,

$$W = \frac{23926}{\frac{1}{12}8^2(17^3 - 17) - 8 \cdot 0} = 0,92.$$

Средняя степень согласованности экспертных мнений, равная 0,92, говорит о наличии высокой степени согласованности мнений экспертов.

Далее мы произвели оценку значимости коэффициента конкордации. Вычислили критерий согласования Пирсона:

$$x^2 = \frac{S}{\frac{1}{12}mn(n+1) + \frac{1}{n-1} \sum T_i}, \quad (4)$$

$$x^2 = \frac{23926}{\frac{1}{12}8 \cdot 17(17+1) + \frac{1}{17-1} \cdot 0} = 117,28.$$

Вычисленный  $x^2$  сравним с табличным значением для числа степеней свободы  $K$  и при заданном уровне значимости  $\alpha = 0,05$ :

$$K = n - 1 = 17 - 1 = 16. \quad (5)$$

Поскольку рассчитанный  $x^2 = 117,28 \geq$  табличного (26,296 23), то средняя степень согласованности экспертных мнений, равная 0,92, величина не случайная, поэтому полученные результаты имеют смысл и могут использоваться в дальнейших исследованиях (см. таблицу критических точек распределения Пирсона).

### Подготовка решения экспертной комиссии

В результате проведенного исследования на основе экспертных оценок выяснилось, что важнейшими критериями для оценки эффективности внедрения технологий являются: стоимость строительства 1 км двухпутного полотна, эксплуатационная скорость, уровень влияния на окружающую среду, стоимость эксплуатации системы, безопасность, время разгона подвижного состава, степень износа от контакта подвижного состава с инфраструктурой, уровень шума, производимый транспортом на высоких скоростях.

## АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

На основе полученной суммы рангов были вычислены показатели весомости наиболее важных критериев для того, чтобы их можно было учитывать при оценке эффективности.

Матрицу опроса преобразовали в матрицу преобразованных рангов (табл. 2) по формуле

$$S_{ij} = X_{\max} - X_{ij}, \quad (6)$$

где  $X_{\max} = 17$ .

Результаты экспертного опроса отображены на графике (рис. 1).

Таблица 2

**Преобразованная матрица с обратными величинами и показателями весомости**

Номер критерия	Эксперт								Сумма рангов	Показатели весомости
	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	15	15	16	15	14	15	15	15	121	0,097 5
2	12	14	13	12	13	14	16	14	110	0,088 6
3	14	13	15	16	12	16	14	16	119	0,095 9
4	10	12	12	10	10	11	9	12	90	0,072 5
5	9	6	8	7	8	10	5	7	65	0,052 4
6	8	5	7	4	4	4	6	5	49	0,039 5
7	7	4	6	3	2	3	7	6	45	0,036 3
8	5	3	4	5	7	7	4	4	47	0,037 9
9	11	11	11	11	11	9	11	10	94	0,075 7
10	13	10	10	13	15	8	12	11	102	0,082 2
11	16	16	14	14	16	13	13	13	126	0,101 5
12	4	9	9	9	9	12	10	9	83	0,066 9
13	2	2	1	6	5	2	3	3	37	0,029 8
14	6	7	5	8	6	6	8	8	68	0,054 8
15	3	8	3	2	3	5	2	1	42	0,033 8
16	1	1	2	0	0	0	0	0	20	0,0161
17	0	0	0	1	1	1	1	2	23	0,018 5
Итого	-	-	-	-	-	-	-	-	1 241	1

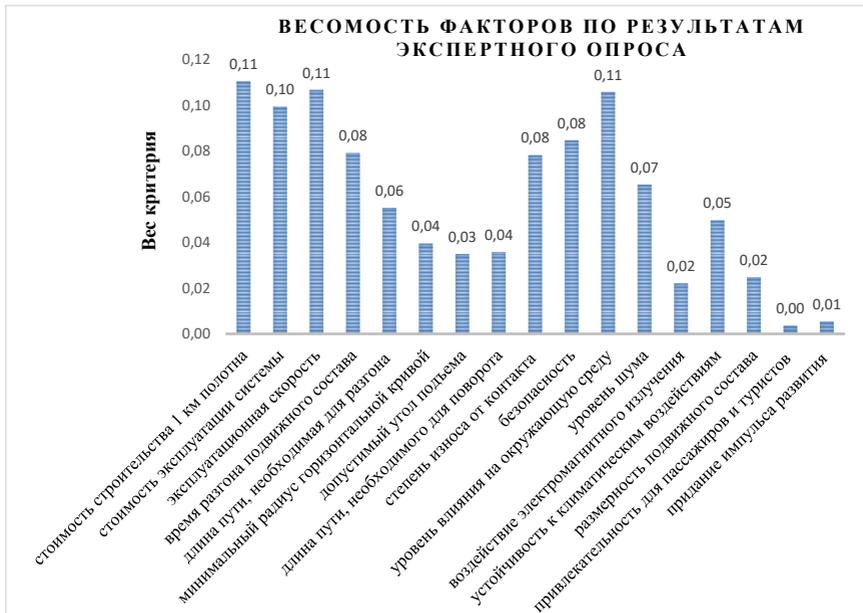


Рис. 1. Влияние исследуемых критериев на принятие решения

Согласно проведенному анализу, наивысшие показатели весомости, а соответственно и наибольшую важность имеют такие критерии, как: стоимость строительства 1 км двухпутного полотна, эксплуатационная скорость, уровень влияния на окружающую среду, стоимость эксплуатации системы, безопасность, время разгона подвижного состава, степень износа от контакта подвижного состава с инфраструктурой, уровень шума, производимый транспортом на высоких скоростях. По оценкам экспертной комиссии, эти показатели являются приоритетными. Оставшиеся факторы относятся к наименее значимым, их значения учитываются в последнюю очередь, либо не берутся в расчет вообще.

#### Библиографический список

1. Антонов Ю. Ф., Зайцев А. А. Магнитолевитационная транспортная технология / под ред. В. А. Гапановича. М.: Физматлит, 2014. 476 с.
2. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией / В. А. Дзензерский, В. И. Омеляненко, С. В. Васильев [и др.]. Киев: Наук. Думка, 2001. 480 с.
3. Давыдова А. М. Мониторинг изменений состояния и тенденций развития магнитолевитационных транспортных систем // Транспорт. системы и технологии. 2019. № 4. С. 5–15.
4. Федорова М. В. Оценка общественной эффективности стратегии развития скоростного городского транспорта // Транспортные системы и технологии. 2019. Т. 5, № 1. С. 26–41.
5. Зайцев А. А., Морозова Е. И. Транспорт в новом технологическом укладе (техника, технология, экономика) // Инновации и инвестиции. 2017. № 3. С. 6–11.

УДК 656.34

**В. В. Деомидов**

студент кафедры системного анализа и логистики

**Н. А. Слободчиков** – доктор военных наук, профессор – научный руководитель

## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МИРЕ

### Введение

Более двух десятков стран обзавелись высокоскоростными специализированными пассажирскими линиями. Система наземного транспорта «колесо – рельс» взяла на себя львиную долю перевозок пассажиров и грузов во всех странах мира и считается классической. Однако рано или поздно всякая система достигает «потолка» своих возможностей и перестает удовлетворять потребности развивающегося сообщества. Для указанной классической схемы достигнут предел возможной скорости в режиме коммерческой эксплуатации.

Главный критерий в оценке работы транспорта – экономия времени. Признано, что время является экономической категорией. Неслучайно в Америке родился афоризм «время – деньги». Самый массовый наземный вид транспорта «колесо – рельс» с электрическим приводом исчерпал свои технологические возможности для увеличения скорости. На смену приходит новая транспортная система, основанная на магнитолевитационном эффекте.

### Отечественный опыт использования левитационных технологий

В 1967 г. для Киевской ВДНХ была построена первая в мире трасса с линейным электродвигателем [1]. Известно, что демонстрационная дорога на Киевской ВДНХ просуществовала по меньшей мере до 1971 г., когда с ней приезжали знакомиться делегаты из Министерства транспорта ФРГ. После распада СССР полигон был закрыт, а оборудование демонтировано.

В 1977 г. в СССР было принято решение строить первую в мире линию магнитолевитационного транспорта, предназначенную для постоянной коммерческой эксплуатации. Провести линию «магнитолета», как тогда это называли, было решено в столице Казахстана, чтобы связать центр города с новыми микрорайонами. Первый в СССР вагон «ТП-01» массой 12 т с магнитной левитацией на постоянных магнитах и линейным электроприводом начал движение на опытном участке длиной 36 м на заводе в Москве в 1979 г. Вагон был создан с левитацией на постоянных магнитах, уложенных в днище вагона в 24 параллельных ряда. Его поперечная устойчивость обеспечивалась колесами. Вагон вмещал 35 чел., длина составляла 9 м, левитационный зазор был принят, по разным данным, от 10 до 20 мм. Завершить строительство первой очереди магнитоплана планировалось в первой половине 1980-х гг. Но скоростная пассажирская транспортная система в Алма-Ате так и не была построена.

В 1977–1978 гг. во ВНИИПИтранспрогресс, в лаборатории линейных двигателей занимались проектом магнитоплана и для дальних сообщений, который имел название «Труба 2000». Это должен был быть поезд, движущийся в трубе с разреженным воздухом со скоростью до 2000 км/ч. Поезд должен был составить конкуренцию самолетам на дальних расстояниях.

Однако основные работы велись по созданию высокоскоростного маглева (скорость до 500 км/ч) для междугороднего сообщения. Главное назначение этих работ – обеспечение перевозок пассажиров по наиболее напряженным направлениям: из Москвы на юг страны (Крымский полуостров, Кавказ), а также из Москвы в Ленинград. При интервале движения в 6 мин суточная провозная способность должна была достигнуть 100 тыс. пассажиров.

В 1977–1980 гг. были созданы опытные образцы односторонних линейных асинхронных двигателей мощностью 800 кВт, не имеющих мировых аналогов. Они были рассчитаны на номинальную скорость 400 км/ч. К 1979 г. был сделан проект полномасштабного транспортного средства – магнитолета со сверхпроводниковыми магнитами на скорость 400 км/ч, строительство которого намечалось в 1980-х гг. Поезд должен был состоять из 10 вагонов на 75 мест каждый, масса вагона 40 т. До скорости 60–80 км/ч поезд должен был двигаться на пневмоколесном шасси, которое убиралось, как у самолета. Был изготовлен и успешно прошел испытания опытный образец массой 5 т.

Дальнейшее развитие магнитолевитационный транспорт получил в 1991 г., когда была утверждена Государственная научно-техническая программа на 1991–2005 гг. «Высокоскоростной экологически чистый транспорт», содержащая направление «Транспортное средство на магнитном подвесе». Постановлением Правительства Москвы от 3 марта 1992 г. № 108 были определены основные меры по ее реализации, включая разработку в 1992 г. ТЭО создания и строительства транспортной системы «Шереметьево – Москва», а в 1992–1995 гг. предписывались строительство и ввод в эксплуатацию экспериментального участка. Завершение строительства системы в целом было намечено на 1997 г. Протяженность линии 35 км, максимальная конструктивная скорость движения 250 км/ч, время доставки авиапассажира до центра Москвы 15–20 мин.

На 1993 г. программой было предусмотрено выполнение работ по магнитолевитационному транспорту в двух направлениях. Первое – проведение комплекса научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по обеспечению создания первого объекта транспортной системы с подвижным составом на магнитном подвесе для связи международного аэропорта «Шереметьево» с центром Москвы с последующим развитием этой трассы до Зеленограда и до аэропорта «Домодедово». Второе направление – создание комплексного Российского полигона для исследования и отработки новых видов транспорта [2].

Таким образом, к 1993 г. в Российской Федерации были все предпосылки для создания коммерческих систем магнитолевитационного транспорта. Но общий системный кризис, вызванный распадом СССР, разрыв экономических связей и галопирующая инфляция привели к тому, что со второй половины 1993 г. централизованное финансирование данной тематики было свернуто и работы в этом направлении прекращены [3].

### Опыт Китая

Показательно развитие магнитолевитационной транспортной технологии в Китае. Страна, не имевшая своих технологий в области электромагнитного транспорта, за несколько лет превратилась в мирового лидера этой отрасли.

Строительство первого участка для технологии Transrapid началось в марте 2001 г., а 1 января 2004 г. была открыта линия, соединившая аэропорт Шанхая со станцией метро Лонгянг. Оператором является компания ShanghaiMaglevTransportationDevelopment. На линии протяженностью 30,5 км поезд развивает скорость 350 км/ч за две минуты (прохождение всей дистанции занимает около 8 мин), максимальная скорость на трассе – 431 км/ч поддерживается около 50 с, поскольку линия небольшого протяжения со сложным профилем. В 2003 г. поезд в испытательном режиме развил скорость 501 км/ч [3]. Следующим этапом применения магнитолевитационных технологий в Китае рассматривается полигон Шанхай – Пекин. Расстояние около 1 400 км.

На сегодняшний день Китай провел успешные испытания поезда на магнитной подушке, который может развивать скорость до 600 км/ч. Прототип нового поезда сошел со сборочных линий в Циндао в мае 2019 г., сейчас его испытывают в Шанхае.

Разработчики утверждают, что новый состав станет самым скоростным транспортным средством для путешествий на расстояния до 1 500 км. Именно такова протяженность пути между Пекином и Шанхаем. Новый поезд сможет перевозить пассажиров между двумя городами за 3,5 ч. Для сравнения: на путешествие Пекин – Шанхай самолетом с учетом всех процедур оформления в аэропорту уходит 4,5 ч, высокоскоростным поездом можно добраться за 5,5 ч.

Ранее китайская пресса писала, что вскоре для повышения скорости железнодорожного транспорта появятся так называемые вакуумные поезда, когда транспорт движется благодаря магнитной левитации по трубе, из которой откачан воздух. Подобные составы смогут развивать скорость до 1500 км/ч (416 м/с).

Испытания сверхзвукового поезда планировалось начать в апреле 2021 г. на базе Юго-западного транспортного университета в городе Чэнду (пров. Сычуань), сообщил один из руководителей проекта профессор Чжан Вэйхуа [4].

### Опыт Японии

Япония использует принцип электродинамической левитации (технология Maglev), которая имеет преимущества перед системой электромагнитной левитации (технология Transrapid), поскольку позво-

ляет поднять транспортное средство выше над путевой структурой, что важно для сейсмоопасной Японии.

В апреле 1997 г. экспериментальный путь для испытаний магнитолевитационного поезда с использованием эффекта сверхпроводимости (технология Maglev) был открыт в префектуре Яманаши [5]. Длина пути 18,4 км, из них 16 км проходят в тоннелях. Основная цель проекта – разработка транспортной системы нового вида для массовых высокоскоростных пассажирских перевозок, в частности между Токио и Осаки, где время в пути не должно превышать одного часа. Испытательный полигон в Яманаши строился с тем расчетом, чтобы впоследствии он стал составной частью проектируемой линии ChuoShinkansen. Испытываемый в Яманаши поезд имеет рабочее название MLX01 (Magnetic Levitation Experimental 01). Он может полностью управляться компьютером. Машинист осуществляет контроль за работой компьютера и получает изображение пути через видеокамеру (кабина машиниста не имеет окон переднего обзора). В ноябре 1997 г. была достигнута скорость 500 км/ч, а в декабре 1997 г. – рекордного значения 550 км/ч.

Первая пробная перевозка пассажиров в Яманаши осуществлена в мае 1998 г. К концу 2004 г. было перевезено более 85 тыс. пассажиров и совокупное число рейсов с пассажирами на борту превысило 300. Не было ни одной отмены рейса. Среднее число перевозимых пассажиров в год за период 2003–2005 гг. составило 20–25 тыс.

Центральная японская железная дорога планирует открытие к 2027 г. линии Maglev от Токио до Осаки, а существующий испытательный путь в Яманаши станет частью этой дороги. Общая длина трассы составит 450 км, наибольшая скорость 581 км/ч [3].

В 2005 г. в Японии, в префектуре Аичи, в окрестностях города Нагоя для выставки «Экспо-2005» была построена линия Maglev под названием Linimo. Это первая коммерческая магнитолевитационная линия в Японии, она обслуживает местное население и играет огромную роль в транспортной системе района. Поезда курсируют между станциями метро Fujigaoka и Yakusa на кольцевой линии Aichi. Длина линии 8,9 км, на ней девять станций. Скорость поезда может достигать 100 км/ч. Высота левитации 8 мм, минимальный радиус поворота 75 м, угол максимального уклона 6 %. Часть линии проходит под землей, а часть по эстакаде.

Линия Linimo рассчитана на перевозку до 30 тыс. пассажиров в сутки в каждом направлении, на работу в условиях снега, обледенения и падающих листьев. Шумы и вибрации сведены к минимуму. Нагрузки на несущие опоры равномерно распределены по всей длине состава, в отличие от обычного рельсового транспорта, где они сосредоточены в местах расположения колесных пар. Это позволяет делать путепроводы уже, а опоры тоньше, т. е. появляется возможность экономить на капитальных затратах. Остановки на пути следования можно создавать внутри зданий, например внутри офисного, торгового центра или здания аэропорта.

В поезде есть машинист, хотя линия полностью автоматизирована. Автоматически контролируются следующие параметры: пуск, скорость, остановки, открытие дверей. В контрольном оборудовании запрограммирован алгоритм в 31 шаг для контроля скорости и остановок (работы тормозов) по всему маршруту, заложенному в программу. Команды посылаются преобразователями переменного напряжения и частоты. В интегрированной системе управления поездом запрограммирована скорость на 3 км/ч ниже, чем максимальная для каждого участка.

### Опыт Южной Кореи

Поезд на магнитном подвесе, похожий на Linimo, был разработан компанией HyundaiRotem (Южная Корея) для выставки 1993 г. в г. Даеджон с населением 1,5 млн чел. В 1997 г. последовала вторая версия этого поезда, а в 2004 г. HyundaiRotem продемонстрировала третью версию на выставке «Иннотранс-2004» в Берлине. Сейчас этот поезд под названием UTM-02 курсирует на линии длиной 1 км. Поезд ходит до парка Науки в Даеджоне два раза в час в обоих направлениях в течение восьми часов в дневное время суток [1].

3 февраля 2016 г. была открыта линия Maglev в аэропорту Incheon (Сеул). При ее строительстве также использовался опыт Linimo. Она соединяет международный аэропорт Инчхон с вокзалом и развлекательным комплексом Ёнью, пересекая остров Ёнджон. Рабочая скорость поезда 110 км/ч [6], поезд состоит из двух вагонов (по 20 т каждый) максимальной вместимостью 100 пассажиров, питается от сети постоянного тока 1,5 кВ.

### Опыт Великобритании

Первая коммерческая нескоростная магнитолевитационная линия была построена в 1984 г. для обслуживания пассажиров Бирмингемского аэропорта. Поезд на этой линии ходил от аэропорта к международной железнодорожной станции в период с 1984 по 1995 г. Длина трассы составляла 600 м, левитационный зазор 15 мм, скорость 42 км/ч. Поезд весил 8 т. Бирмингемский вариант магнитолевитационного транспорта по функциональным характеристикам и параметрам близок японскому Linimo и корейскому UTM-02 в Даеджоне [3].

В печати освещались планы строительства скоростной магнитолевитационной линии под названием *Ultraspeed*, соединяющей Лондон и Глазго через Бирмингем, Манчестер и Нью-Касл с ответвлением в Ливерпуль. Скорость на предполагаемой линии должна была достигать 500 км/ч, протяженность линии 800 км. Стоимость проекта оценивалась в 17 млрд евро, не считая затрат на землеотвод. Официальный информационный документ «Обеспечение устойчивой железной дороги» был опубликован 24 июля 2007 г. В нем категорически отвергалось предложение *Ultraspeed*, приводилось множество причин. В первую очередь это предполагаемые затраты на строительство в размере 31 млрд фунтов стерлингов, что вдвое больше, чем прогнозировала компания. В итоге компания сдалась и прекратила свою деятельность в 2013 г.

### Опыт США

По потенциалу развития магнитолевитационного транспорта США считаются следующим после Китая государством в мире. Исследовательские работы по внедрению магнитолевитационной транспортной технологии проводятся с 1997 г. Среди планируемых проектов линия Лас-Вегас – Лос-Анджелес общей протяженностью 430 км, которая должна соединить два крупных международных аэропорта. Над проектом работают немецкий концерн *Transrapid*, американские *AmericanMaglineGroup* и Комиссия по высокоскоростной линии Калифорния – Невада.

Рассматриваются проекты строительства линий в районе восточного побережья США: от международного аэропорта Питтсбурга до Гринсбурга длиной 86,9 км, от Вашингтона до Балтимора длиной 63 км и от международного аэропорта Атланты до Хартфилда длиной 50 км. Считается, что магнитолевитационная линия обеспечит такой же пассажиропоток, как и 10-полосное автомобильное шоссе.

### Опыт Нидерландов

В Нидерландах корпорация TRI совместно с правительством страны исследует возможность строительства линии *RandstadRapid* по технологии *Transrapid*, которая свяжет кольцом крупнейшие города страны. В качестве первой очереди реализации этого проекта рассматривается участок Амстердам – Алмере [3].

### Библиографический список

1. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией / В. А. Дзензерский, В. И. Омеляненко, С. В. Васильев [и др.]. Киев: Наук. Думка, 2001. 480 с.
2. Полигон для испытаний транспортной системы с магнитным подвесом // Желез. дороги мира. 1999. № 1. С. 1.
3. Антонов Ю. Ф., Зайцев А. А. Магнитолевитационная транспортная технология / под ред. В. А. Гапановича. М.: Физматлит, 2014. 476 с.
4. Китай испытал маглев-поезд, способный развивать скорость до 600 км/ч. URL: <https://ria.ru/20200622/1573284583.html> (дата обращения: 10.04.2021).
5. JR-Maglev. URL: <http://www.en.wikipedia.org/wiki/JR-Maglev> (дата обращения: 10.04.2021).
6. Южная Корея ввела в эксплуатацию маглев. URL: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/uzhnaia-koreia-v-ievkspluatatsiiu-maglev/> (дата обращения: 10.04.2021).

УДК 656.7.043

**Д. А. Елкина**

студент кафедры системного анализа и логистики

**Н. Н. Майоров** – доктор технических наук, доцент – научный руководитель

## СОВРЕМЕННОЕ ВЛИЯНИЕ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ

### Введение

Пандемия COVID-19 изменила не только жизнь людей, но ситуацию на мировом и внутренних рынках. Введение ограничительных мер привело к закрытию границ между странами, осложнению транспортировки товаров, снижению спроса, а также состоянию страха за здоровье. Множество компаний по всему миру были вынуждены сократить производства, как следствие, ограничилась работа транспортных компаний.

### Последствия COVID-19 в сфере воздушных перевозок

Транспорт – общедоступный вид передвижения пассажиров и грузов. До декабря 2019 г. компании были оптимистично настроены на рост услуг в пассажирских и грузовых перевозках. Согласно статистике Министерства транспорта Российской Федерации, мы можем проанализировать пассажиропоток за 2019 и 2020 г. В категории воздушного транспорта он достигал 146,5 млн чел. на внутренних воздушных линиях, и около 74,5 млн на международных за 2019 г. (табл. 1).

Таблица 1

**Объем перевозок через аэропорты России за январь–декабрь 2019 г.  
(регулярные и нерегулярные перевозки) на 31.01.2020 г.**

Месяц	Обслуживание пассажиров (отправлено + прибыло) (чел.)		
	МВЛ	ВВЛ	Итого
Январь	4 509 549	9 901 627	14 411 176
Февраль	3 963 291	9 059 577	13 022 868
Март	4 848 450	10 650 422	15 498 872
Апрель	5 301 811	11 040 056	16 341 867
Май	6 727 172	11 943 037	18 670 209
Июнь	7 689 151	13 843 662	21 532 813
Июль	8 432 294	16 010 095	24 442 389
Август	8 645 425	16 236 858	24 882 283
Сентябрь	7 811 110	14 035 477	21 846 587
Октябрь	6 841 025	12 096 283	18 937 308
Ноябрь	4 930 152	10 744 616	15 674 768
Декабрь	4 777 329	10 852 738	15 630 067

В год влияния пандемии на воздушный транспорт пассажиропоток достиг 112 млн чел. на внутренних воздушных линиях и около 17 млн на международных (табл. 2).

**Объем перевозок через аэропорты России за январь–декабрь 2020 г.  
(регулярные и нерегулярные перевозки) на 01.02.2021**

Месяц	Обслуживание пассажиров (отправлено + прибыло) (чел.)		
	МВЛ	ВВЛ	Итого
Январь	4 929 170	10 467 763	15 396 933
Февраль	4 166 359	9 804 039	13 970 398
Март	2 505 968	9 060 522	11 566 490
Апрель	30 426	1 439 595	1 470 021
Май	48 884	1 844 690	1 893 574
Июнь	69 601	5 590 069	5 659 670
Июль	110 828	13 375 695	13 486 523
Август	912 802	17 142 114	18 054 916
Сентябрь	1 522 681	14 952 022	16 474 703
Октябрь	1 430 033	11 237 949	12 667 982
Ноябрь	720 836	8 287 808	9 008 644
Декабрь	731 440	9 181 520	9 912 960

На международный авиатранспорт приходится основная доля пассажиропотока, и введение правительствами ограничительных мер и закрытие границ для борьбы с распространением коронавирусной инфекции оказало на авиакомпании негативный экономический эффект, не сопоставимый с другими видами транспорта.

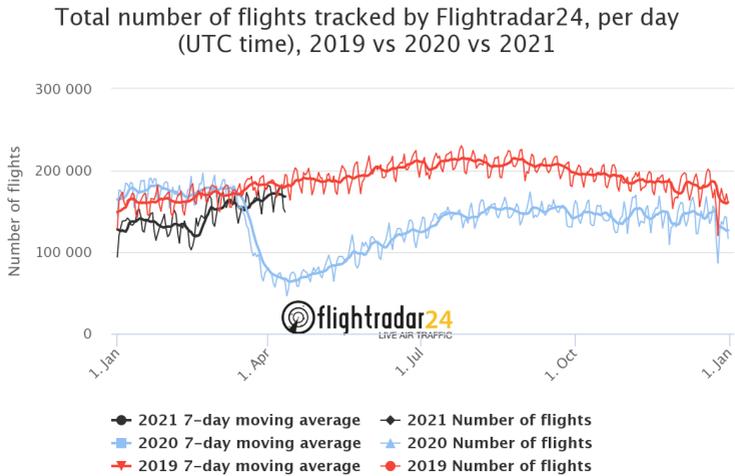
Формула уменьшения числа на заданный процент:

$$A = \frac{x - y}{x} 100\%, \quad (1)$$

где  $A$  – число, на сколько процентов уменьшилось (увеличилось) число;  $x$  – начальное значение;  $y$  – конечное значение.

Основываясь на статистике объемов перевозок (см. табл. 1 и 2), можно сказать, что на 23 % уменьшился пассажиропоток на внутренних линиях и на 77% – на международных.

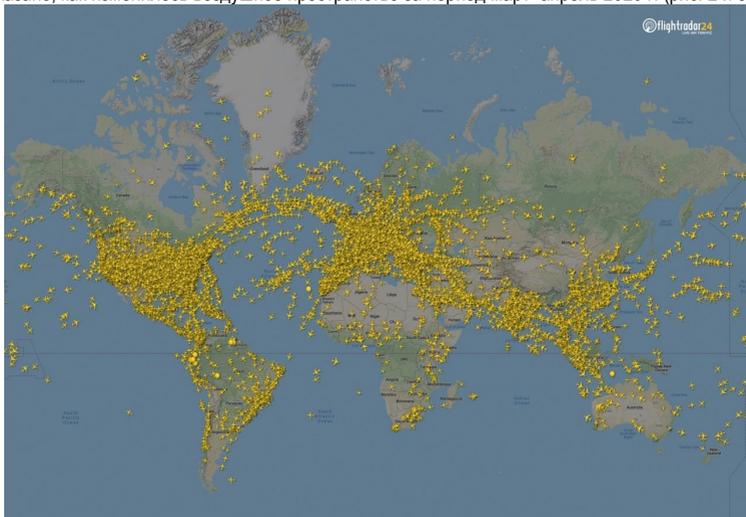
Сравнивая подсчеты с планом Международной ассоциации воздушного транспорта (предполагалось, что по итогам года общее сокращение международного воздушного пассажиропотока может составить 59–66 % от плановых значений) [1], можно заметить, что пандемия сильно повлияла на потери авиакомпаний (и аэропорты). По данным приложения *Flightradar24*, можно посмотреть статистику количества рейсов (рис. 1). Высокий рост спроса на авиаслужбы отмечен в 2019 г., но с началом закрытия границ (в марте 2020 г.) во всех странах мира авиакомпании и аэропорты стали меньше выпускать в рейс самолеты и постоянно менять расписание, из-за чего, по статистике, число полетов было менее 100 тыс.



*Рис. 1. Статистика количества рейсов за период 2019–2021 гг.  
(по данным сервиса Flightradar24)*

Полетная активность возросла в июле, когда авиакомпании стали пополнять свое расписание. Но число как некоммерческих (лидирующих в общем росте авиаперевозок), так и коммерческих рейсов было снижено по сравнению с 2019 г.

Влияние COVID-19 на воздушное движение можно увидеть на карте, приведенной Flightradar24, где показано, как изменилось воздушное пространство за период март–апрель 2020 г. (рис. 2 и 3) [2].



*Рис. 2. Глобальное воздушное движение 7 марта 2020 г. (15 012 рейсов)*



Рис. 3. Глобальное воздушное движение 7 апреля 2020 г. (5 275 рейсов)

Количество рейсов сократилось в 2,8 раза (или на 64,8 %). Глобальный трафик воздушного движения оказался в самой тяжелой (кризисной) ситуации. Большинство крупных и востребованных компаний COVID-19 привел к сокращению (минимизации) доходов, а некоторые обанкротились (одной из таких компаний оказалась FleetwayTravel) [3]. В области воздушных перевозок, как и во многих других отраслях экономики, в результате пандемии сокращение воздушных линий между странами нанесло ущерб как международным, так и отечественным предприятиям.

Основная сфера применения воздушного транспорта – пассажирские перевозки на расстояниях свыше тысячи километров. На сегодняшний момент структуру авиационных линий можно посмотреть с помощью специальной программы *Openflights.org* [4]. На данный момент в аэропорте Пулково действуют 184 постоянных маршрута (рис. 4). У них есть один серьезный недостаток – нерегулярность. Например, прямой перелет Санкт-Петербург – Осло (без пересадок) возможен один раз в две недели, что сильно затрудняет передвижение пассажира.



Рис. 4. Воздушная сеть путей из аэропорта Пулково (Pulkovo (LED))

Если имеется ряд действующих аэропортов и расстояния между ними не превышают дальности беспосадочного полета воздушного судна, то количество прямых воздушных линий можно организовать между этими аэродромами, по формуле

$$N = \frac{n^2 - n}{2}, \quad (2)$$

где  $N$  – количество прямых воздушных линий;  $n$  – количество действующих аэропортов.

$$N = \frac{5^2 - 5}{2} = 10,$$

Следовательно, при наличии пяти аэропортов между ними может быть установлено 10 воздушных связей [5]. Пандемия COVID-19 внесла коррективы в работу этих воздушных линий. Теперь при составлении маршрута приходится включать, как минимум, одну пересадку [5].

Оценивать работу аэропорта принято инструментами и методами, учитывающими не только статистические параметры работы аэропорта, но и динамические факторы, порождающие изменения этих параметров, например имитационное моделирование. Показателем один российский «рекорд». Впервые в истории по количеству выполненных рейсов «Аэрофлот» оказался не первым, а вторым в стране. Национального перевозчика в кризисные времена потеснила компания S7.

### Заключение

По итогам проведенного исследования ясно, что для восстановления пассажиропотока в воздушной отрасли нужно время. В условиях эпидемии воздушному транспорту его потребуется больше, чем в нормальном режиме.

### Библиографический список

1. The International Air Transport Association (IATA). URL: <https://www.iata.org/en/programs/cargo/cargo---covid-19---news/> (дата обращения: 14.04.2021).
2. Flightradar 24. URL: <https://www.flightradar24.com> (дата обращения: 10.04.2021).
3. Туристический бизнес Санкт-Петербурга. URL: <http://www.pitert.ru/news/airlines-bankruptcies-after-covid> (дата обращения: 19.04.2021).
4. Openflights. URL: <https://openflights.org> (дата обращения: 14.05.2021).
5. Майоров Н. Н., Фетисов В. А., Гардюк А. Н. Технологии и методы моделирования пассажирских перевозок на воздушном транспорте: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2014. 215 с.

УДК 639.337

**Е. С. Каргина**

студент кафедры системного анализа и логистики

**С. В. Уголков** – кандидат военных наук, доцент – научный руководитель

## СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ЖИВОЙ ФОРЕЛИ

### Введение

Транспортировка живой форели часто осуществляется в промышленных масштабах, например между рыбноводческими фермами, а также предприятиями торговой сети и общественного питания. Очевидно, что потребители заинтересованы в качественной продукции, однако перемещение сопровождается изменениями окружающей среды, что вызывает у рыб состояние стресса. Таким образом, возникает потребность в условиях перевозки, при которых рыба ощущает себя максимально комфортно и, как следствие, сохраняет свое качественное состояние.

### Факторы стресса

Основной фактор поддержания жизнеспособности рыб – состав воды. При транспортировке в ней накапливаются аммиак и азотистые радикалы, как результат минерализация бактериями соединений азота, находящихся в белках продуктов жизнедеятельности рыб. Изучению изменения состава воды при перевозке живорыбной продукции посвящено много научных работ. В Научно-производственной фирме «СалмоРус» проводили исследование по выявлению концентрации аммония и (или) аммиака, при которых происходило бы явное угнетение форели [1].

Условия эксперимента.

Объем стандартных живорыбных контейнеров – 2,2 м<sup>3</sup>.

Средняя навеска форели в каждом – 640 г (общая масса – 200 кг).

Температура воды – 17,5 °С, затем снизилась до 16,8 °С.

Содержание кислорода – 135–150 % нормального насыщения.

Содержание аммония – 12,6 мг/л, рН 6,3.

Содержание свободного аммиака – 0,01 мг/л.

Измерялось: содержание растворенного кислорода; аммонийного азота; рН, нитритов и нитратов.

Состояние форели оценивалось по положению тела при плавании; реакции на внешние раздражители; возможности поимки руками.

После появления иных признаков угнетения рыбы планировалось провести обработку воды цеолитом (рис. 1).

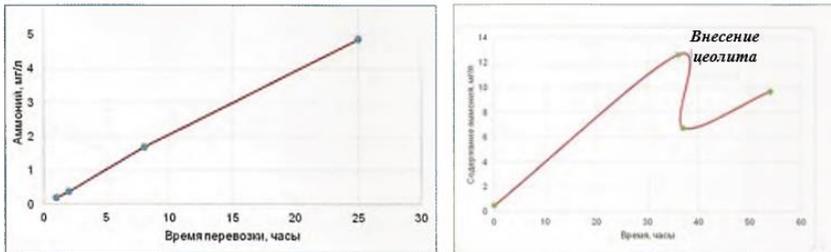


Рис. 1. Динамика содержания аммонийного азота в воде живорыбного контейнера при перевозке радужной форели и его содержание при длительном пребывании форели в транспортной емкости (при внесении цеолита)

Промежуточный результат через 36 ч показал следующее.

Несколько десятков рыб плавали вяло, в основном на боку, вблизи поверхности воды, легко ловились руками. Периодически рыба принимала вертикальное положение головой вверх. Основная часть рыб оставалась в нижней трети контейнера и медленно плавала в нормальном положении. Движения были вялыми и замедлены. Тем не менее массовой гибели рыбы не происходило.

По завершении всего эксперимента было установлено, что угнетение рыбы во время перевозок связано прежде всего с повышенным содержанием азота, а не свободного аммиака. Кроме того, важны следующие факторы.

1. Содержание аммония в воде в конце перевозки не должно превышать 4...5 мг/л.
2. При перевозке товарной форели и в случае, когда гибель небольшой ее части не критична, содержание аммония может достигать 12...13 мг/л. При этом рН воды не должно превышать 6,5...6,9 ед.
3. Поглощающая способность цеолита непосредственно зависит от содержания аммония в воде.
4. Максимальный эффект от внесения ПЦ «Сокирит» (материал для очистки) проявляется в течение 1 ч.
5. Вносить цеолит можно многократно, поддерживая оптимальный уровень аммония.
6. Основой успешной перевозки служит правильная подготовка рыбы и ее хорошее физиологическое состояние.

Еще один значимый фактор – чувствительность рыб к температуре воды. В холодной воде больше растворяется кислорода воздуха. Кроме того, замедляется дыхательный ритм рыбы. С повышением температуры воды растворимость кислорода уменьшается, а потребление его рыбой увеличивается, что резко ухудшает условия перевозки. Чаще всего рыба гибнет именно из-за повышения температуры или ее перепада.

По благоприятным показателям температуры рыбы делятся на два типа: теплолюбивые (сазан, карп, лещ, язь) и холоднолюбивые (форель, стерлядь, сиг, пелядь) [2]. Большинство пресноводных рыб эвритермны, т. е. приспособлены к широкому спектру изменения температур, однако резкий перепад на 5–10 °С может вызвать у них температурный шок, а если температура долго держится ниже 1 °С, возникает риск развития простуды (табл. 1).

*Таблица 1*

**Оптимальная температура воды при перевозке рыб**

Виды рыб	Температура воды (°С)		
	Летом	Весной /осенью	Зимой
Холоднолюбивые	6...8	3...5	1...2
Теплолюбивые	10...12	5...6	1...2

Значимый фактор, вытекающий из двух предыдущих, – насыщенность воды кислородом. Если рыбы не будут получать достаточно кислорода, то у них может развиться асфиксия, последствием которой будет смерть [3]. Асфиксия наступает в перенаселенном бассейне, где кислорода для всех рыб недостаточно, при слишком высоких температурах, в результате гниения погибших рыб и пищевых остатков, не удаленных вовремя из «жилища». Рыбы массово поднимаются к поверхности воды и активно заглатывают воздух в течение нескольких часов.

#### **Способы снижения рисков**

Перед перевозкой рыбу, а также емкость, в которой ее будут перевозить, необходимо заранее подготовить [4].

1. К перевозке допускается только здоровая рыба, которая перед этим выдерживается на проточной воде от двух часов до нескольких суток (в зависимости от дальности перевозки), это помогает очистить ее жабры, освободить кишечник от остатков еды.

2. Тара должна быть чистой, без запаха, гладкой внутри.
  3. Тару для перевозки на 4/5 объема наполняют чистой (без мути) водой из водоема, откуда берут рыбу, или из источника с вполне доброкачественной водой и температурой, равной температуре воды водоема, где находится рыба.
  4. Разница между температурой воды в таре и пруду не должна превышать 2...3 °С, значительная разница уравнивается путем добавления воды из пруда.
  5. Погрузка производится быстро, но без травмирования рыбы.
  6. Если рыбой загружают несколько бочек, то грузить ее надо равными порциями, чтобы наполнение всех бочек было закончено одновременно, а погрузку рыбы в вагон необходимо заканчивать за час до отхода поезда.
  7. Перевозку рыбы осуществляют в прохладное время суток – вечером, ночью, рано утром.
  8. В пути рекомендуется избегать стоянок, так как во время движения вода лучше обогащается кислородом.
  9. Для охлаждения нагретой в пути воды берут запас льда из расчета не менее 5 кг на 100 л воды, который помещают в марлевые или делявые мешки и подвешивают над водой.
  10. Желательна транспортировка рыб под анестезией (наркозом), это вызывает сон с потерей сознания и болевой чувствительности, снижается степень накопления продуктов жизнедеятельности, такая транспортировка снижает травмированность рыб.
  11. По прибытии следует так же постепенно адаптировать рыбу к новым условиям.
- Важно также соблюдение правильного соотношения рыбы и воды к дальности перевозки (табл. 2) [6].

*Таблица 2*

**Соотношение массы форели и объема воды в зависимости от времени перевозки**

Длительность перевозки (ч)	Количество воды (л) на 1 кг массы форели
До 2	8
3...4	9
5...6	10
7...8	12
9...10	15
11...15	18
16...20	20
20...24	25
Более 24	30

При перевозке рыбы в емкостях, где предусмотрена аэрация, плотность посадки может быть выше.

Взрослую форель на расстояния до 1500 км транспортируют в автоцистернах или живорыбных контейнерах, на расстояние до 3000 км – в живорыбных вагонах, более 3000 – авиатранспортом. Водным путем живую рыбу перевозят в прорезях (соймах), живорыбных баржах, изотермических судах [8] (табл. 3).

*Таблица 3*

**Нормы загрузки рыбы в автотранспорт и живорыбный вагон**

Вид рыбы	Живорыбная машина		Железнодорожный вагон, производители
	Молодь	Производители	
Лососевые	0,01...0,03	0,05...0,1	0,1

**Транспортные средства и тара для перевозки живорыбной продукции**

Большая часть живой рыбы перевозится железнодорожным транспортом. Для этого используются специализированные вагоны с принудительной аэрацией системы ВНИОРХ. Такой вагон оснащен специальной электростанцией, которая приводит в движение вентиляторы, насосы, обеспечивает освещение. В вагоне имеются два резервуара для воды емкостью 13,3 м<sup>3</sup> и 17,2 м<sup>3</sup> (самые частые габариты) (рис. 2).

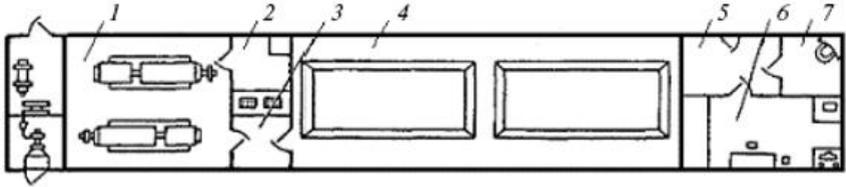


Рис. 2. Вагон для транспортировки живой рыбы:

1 – дизельное помещение, 2 – аппаратная, 3 – щитовое отделение, 4 – грузовое отделение, 5 – коридор, 6 – служебное помещение, 7 – туалет

Нормы загрузки рыбы в вагон зависят от вида рыбы и температуры воды (табл. 4).

Таблица 4

**Нормы загрузки форели в живорыбный вагон [7]**

Температура воды (°С)	Количество рыбы (т)
0...3	3,5
2...5	3,2
5...10	2,8
10...15	2,1
15...20	1,4

Небольшие партии мальков и сеголетков перевозят в основном в пластмассовых мешках [5]. Например, в емкостях 50 л, заполненных на 30 % водой и на 70 % чистым кислородом, в течение 12...15 ч при температуре 10 °С можно перевозить 800...1200 г форели длиной 4...6 см (максимум 500 шт.), 1500 г форели длиной 9...12 см или 2500 г форели длиной 12...15 см, причем вода должна находиться в постоянном движении для насыщения ее кислородом (рис. 3).

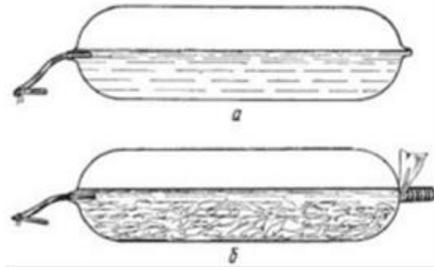


Рис. 3. Полиэтиленовые пакеты для перевозки молоди:

а – запаянный с одной стороны, б – с рыбой, завязанный с одной стороны

Более крупные перевозки сеголетков осуществляют в контейнерах, где кислород подается из стальных баллонов, которые при вместимости не более 3...7 л закреплены внутри, а при больших размерах – на платформе транспортного средства (рис. 4).

При температуре ниже 6 °С в емкость объемом 5 л необходимо подавать 1 л кислорода в час. При длительной транспортировке плотность посадки следует уменьшить до 35 сеголетков форели (6...8 см) при перевозке в течение 5 ч и 20 сеголетков (6...8 см) при перевозке более 5 ч. Соответственно при длине форели 8...10 см посадка составляет 20 и 12 шт./л, при длине 10...12 см – 12...7 и при длине 12...15 см – 5...4 шт./л.



Рис. 4. Многофункциональный изотермический контейнер для живой рыбы FTT от компании SDK Sp. z.o.o

Каждый контейнер [9] – это автономная система, оборудованная устройствами растворения и регулирования уровня растворенного кислорода в воде. Для перемешивания и создания направленного движения воды в изотермической камере установлен диффузор для подачи воздуха. Для загрузки и разгрузки рыбы в камере имеются два люка со специальными крышками. Разгрузочный люк имеет шиббер, позволяющий плавно выпускать рыбу вместе с водой. Для слива воды из камеры установлен двухдюймовый кран. Все металлические части изготовлены из нержавеющей стали. Верхняя часть контейнера оснащена противоскользящим покрытием, которое позволяет безопасно выполнять обслуживание и перемещаться по нему. Конструкция и примененные материалы позволяют эксплуатировать контейнеры в любое время года.

На самолетах [7] и вертолетах перевозят посадочный материал, производителей, оплодотворенную икру и молодь рыб на разных стадиях развития и даже товарную рыбу, применяя для этого полиэтиленовые и хлорвиниловые пакеты емкостью 6...10 л (рис. 5, 6). В изотермических живорыбных судах можно перевозить до 30 т рыбы. На каждый 1 м<sup>3</sup> воды загружают в зависимости от вида от 30...40 (форели, сига) до 140...160 кг (карпа, линя, карася, сазана) рыбы (рис. 7).

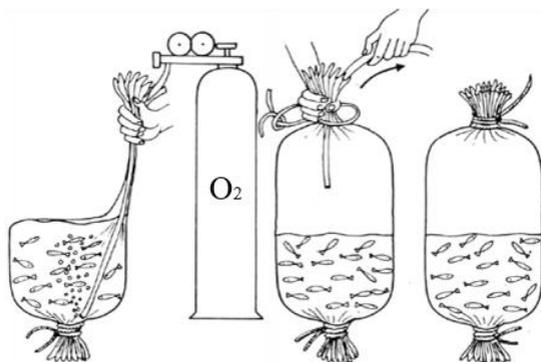


Рис. 5. Упаковка мальков в пакеты

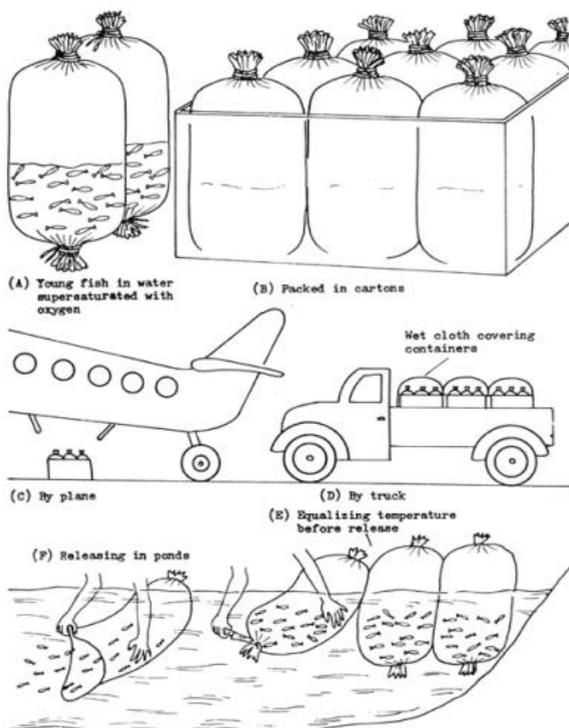


Рис. 6. Перевозка мальков авиационным транспортом и выпуск в водоем

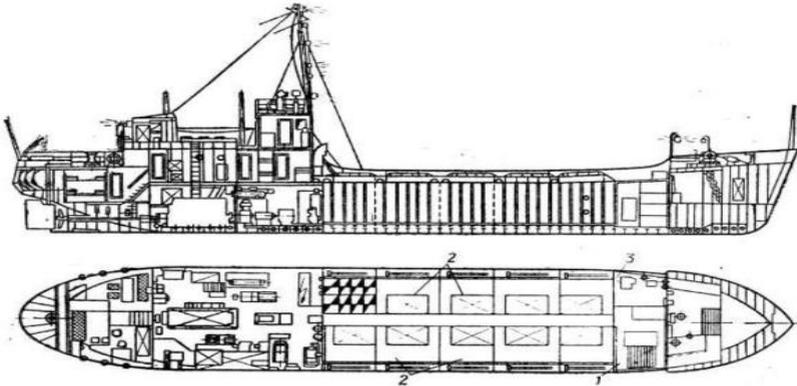


Рис. 7. Живорыбное судно:  
1 – рефрижераторный трюм, 2 – живорыбные отсеки, 3 – холодильная установка

### Альтернативные способы перевозки

Разработана технология транспортировки гидробионтов в состоянии переохлаждения [10]. Быстрым замораживанием рыбы без воды до  $-1...-3$  °С переводят ее в состояние устойчивого переохлаждения и, поддерживая такую температуру, осуществляют перевозку (рис. 8).

Перевозка живой рыбы во влажной атмосфере считается достаточно перспективной, но широкого распространения не получила. Надежность этого метода обеспечивается непродолжительной транспортировкой (1...4 ч) и поддержанием низкой температуры.

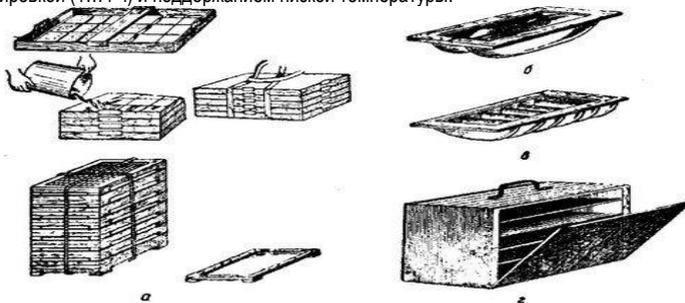


Рис. 8. Инвентарь для безводной перевозки живой рыбы:  
а – рамы для перевозки сеголетков и годовиков и их упаковка, б – рамка (люлька) для перевозки производителей и ремонта, в – рамка с гнездами для перевозки сеголетков, г – ящик с выдвигающимися полками

### Заключение

Перемещение рыбы в живом виде из одного хозяйства в другое или же с целью реализации – довольно тяжелый и специфический процесс. Для проведения этой процедуры важно воспользоваться услугами специализированного транспорта, вид которого выбирается в зависимости от дальности перевозки, разновидности живца, его массы и количественных критериев. Подготовительный процесс перед перевозкой, саму транспортировку и адаптацию рыбы должен контролировать квалифицированный рыбовод. Правильный подбор техники для перевозки и соблюдение всех мер безопасности для продукции гарантируют ее доставку к пункту назначения в сохранном и здоровом виде.

**Библиографический список**

1. Перевозки рыбы: проблемы и решения. URL: <https://www.salmo.ru/info/articles/perevozki-zhivoy-ryby-problemy-i-resheniya/> (дата обращения: 06.04.2021).
2. Влияние температуры на жизнедеятельность рыб. URL: <https://fishx.org/vliyaniye-temperatury-vody-na-zhiznedeyatelnost-ryb/> (дата обращения: 06.04.2021).
3. Зависимость рыбы от концентрации растворенного в воде кислорода. URL: <https://ferma.expert/ryba/rybovodstvo/bolezni-rybovodstvo/bolezni-ryb/> (дата обращения: 10.04.2021).
4. Транспортирование живой рыбы: особенности перевозки и основные требования к процедуре. URL: <https://econom-trans.ru/auto/kak-proishodit-transportirovka-zhivoy-ryby.html> (дата обращения: 07.04.2021).
5. Определение способов перевозки. URL: <https://www.activestudy.info/perevozka-lososevyx-ryb/> (дата обращения: 07.04.2021).
6. Нормы погрузки. URL: <http://www.fishsearch.ru/ribovodstvo/223913.htm#.YJRCAfwwcVc> (дата обращения: 07.04.2021).
7. Rimmer M. A., Franklin B. Development of Live Fish Transport Techniques in IRDC Proit. Fisheries Research & Developmeht Corporation, 1997.
8. Кизеветтер И. В. Технология обработки водного сырья. М., 1976. 696 с.
9. Транспортировка рыбы: Многофункциональные изотермические контейнеры для живой рыбы SDK FTT. URL: [sdk-fishtechnics.ru](http://sdk-fishtechnics.ru) (дата обращения: 10.04.2021).
10. Глушанков К. В. Практические советы рыбоводу. М., 1965. 160 с.

УДК 656.086

**Н. А. Ларионов**

магистрант кафедры системного анализа и логистики

**С. В. Уголков** – кандидат военных наук, доцент – научный руководитель

## АНАЛИЗ ДЕТСКОГО ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ТРАВМАТИЗМА НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОСЕЛЬСКОГО РАЙОНА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

### Введение

Травмы, отравления и другие воздействия внешних факторов в течение последних пятнадцати лет находятся на третьем месте в структуре смертности после болезней сердечно-сосудистой системы и онкологических заболеваний.

Травма – это повреждение тканей или органов тела в результате какого-либо внешнего фактора или воздействия (ушибы, ранения, механические, термические, химические, радиационные и др.) [1]. Травматизм – совокупность травм, полученных при определенных обстоятельствах у одинаковых групп населения или контингента лиц, находящихся в одинаковой обстановке, условиях труда и быта за определенный отрезок времени (месяц, квартал, год и т. п.).

В зависимости от причин и обстоятельств возникновения повреждений различают следующие виды детского травматизма:

- бытовой,
- уличный – транспортный и нетранспортный,
- школьный/дошкольный (во время перемен, на уроках физкультуры, труда и т. п.),
- спортивный (при организованных занятиях и неорганизованном досуге),
- прочий (учебно-производственный, сельскохозяйственный и др.).

Бытовой травматизм у детей занимает первое место среди повреждений и составляет 70–75 %

[1].

### Анализ детского дорожно-транспортного травматизма на территории Красносельского района за 2019–2020 гг.

За 12 месяцев 2020 г. на территории Красносельского района зарегистрировано 49 (–7) дорожно-транспортных происшествий с участием детей, в которых пострадали 54 (–10) детей. По собственной вине 8 (+1), 1 (–4) ДТП произошло на КАД.

Согласно данным табл. 1, за 2020 г. число детей – учащихся и дошкольников образовательных учреждений, пострадавших в ДТП, составило: учащихся ОУ Красносельского района 25 и ОУ других районов 5, дошкольников ДОУ Красносельского района 11, ДОУ других районов 2 и неорганизованных 10. В итоге 43 чел. [2].

Таблица 1

**Образовательные учреждения, к которым относятся дети, пострадавшие в ДТП в 2020 г.**

Образовательное учреждение	Погибло	Ранено
Учащиеся ОУ Красносельского района	–	25
Учащиеся ОУ других районов (регионов)	–	5
Дошкольники, всего	–	23
Из них:		
воспитанники ДОУ Красносельского района	–	11
воспитанники ДОУ других районов	–	2
Неорганизованные	–	10

## АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

В табл. 2 показано, что за 2019 г. было выявлено 56 ДТП с участием детей, из них 7 произошло по вине детей. За 2020 г. эта цифра составила 49, 8 по вине детей. Следовательно, в 2020 г. ДТП с участием детей снизилось на 7 случаев, а случаев ДТП по вине детей увеличилось на 1.

Таблица 2

### Дорожно-транспортные происшествия по вине детей

Показатель	2019 г.	2020 г.	+/-
Всего ДТП с участием детей	56	49	-7
Произошли по вине детей	7	8	+1

Согласно данным табл. 3, дети не знают правила перехода через дорогу и ПДД.

Таблица 3

### Основные нарушения ПДД при происшествиях по вине пострадавших детей

Показатель	2019 г.		2020 г.	
	Погибло	Ранено	Погибло	Ранено
Переход вне зоны пешеходного перехода	-	5	-	4
Неожиданный выход из-за стоящего ТС	-	2	-	4
Неподчинение сигналам регулирования	-	-	-	-
Другое	-	1	-	-

Исходя из данных табл. 4, можно сделать вывод, что основной рост ДТП произошел в возрастной категории с 13 до 15 лет – 20 (+9). Дети в данном возрасте переоценивают свои возможности и не умеют нести ответственность за свои действия.

Таблица 4

### Распределение детей, пострадавших в ДТП, по возрасту

Показатель	2019 г.		2020 г.	
	Погибло	Ранено	Погибло	Ранено
До 12 лет	-	55	-	34
С 13 до 15 лет	-	11	-	20

Анализ табл. 5 показывает, что на дорогах в большей степени подвержены опасности дети-пешеходы как наиболее незащищенные участники дорожного движения – 32 (+7). Профилактика ДТП с их участием должна быть приоритетной [2].

Таблица 5

### Распределение детей, пострадавших в ДТП, по категориям

Категория	2019 г.	2020 г.
Пешеходы	25	32
Пассажиры	39	20
Велосипедисты	1	2
Водитель мотороллера	1	-

### Планы мероприятий для ДДТТ на 2020–2021 учебный год

Согласно плану Главного управления Министерства внутренних дел Российской Федерации по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области, в период с 26 октября по 9 ноября 2020 г. на территории г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области прошло оперативно-профилактическое мероприятие «Внимание – дети!» В его рамках освещались вопросы предупреждения детского дорожно-транспортного травматизма: соблюдение правил дорожного движения пешеходами при переходе проезжей части, использование световозвращающих элементов, детских удерживающих устройств и ремней безопасности при перевозке несовершеннолетних в автомобиле, использование современных средств индивидуальной мобильности (электросамокаты, скейтборды, электроскейтборды, гироскутеры, сигвеи, моноколеса и иные аналогичные средства) и устройств, схожих по конструкции с ними. В Красносельском районе отдел ГИБДД УМВД России по Красносельскому району г. Санкт-Петербурга совместно с Опорным центром по профилактике детского дорожно-транспортного травматизма (ДДТТ) ГБУ ДО ДДТ Красносельского района Санкт-Петербурга провели для педагогов, родителей и учащихся тематические акции с размещением фотографий с соответствующей подписью и хэштегом в социальной сети «ВКонтакте» [3]. План профилактических и просветительских мероприятий, направленных на предупреждение детского дорожно-транспортного травматизма, в 2020–2021 учебном году включает следующие мероприятия:

- «Засветись!» – фотографии со световозвращателями: количество учащихся – 2695, родителей – 823, педагогов – 231;
- «СИМ – это мой выбор!» – фотография или видео с использованием СИМ: количество учащихся – 1321, родителей – 407, педагогов – 65;
- «Я – пристегнулся. А ты?» – фотографии пристегнутых пассажиров и водителя: количество учащихся – 1914, родителей – 952, педагогов – 200.

Для педагогов и воспитателей района РОЦ БДД провел следующие мероприятия:

- совещание «Особенности работы с родительской общественностью по профилактике детского дорожно-транспортного травматизма в образовательных учреждениях» для ответственных за профилактику ДДТТ и БДД в ОУ;
- семинар-консультация по стратегии подготовки к районному конкурсу «Дорога и мы» для руководителей команд – участниц конкурса;
- семинар-консультация по подготовке к детскому творческому конкурсу «Азбука безопасности» для руководителей команд – участниц конкурса;
- районный конкурс методических материалов (среди педагогов) по предупреждению детского дорожно-транспортного травматизма среди детей дошкольного и школьного возраста (сдача работ) для педагогических работников ГБОУ И ГБДОУ района.

16 образовательных учреждений района приняли участие в городской акции «Жизнь без ДТП» приуроченной ко Всемирному дню памяти жертв дорожно-транспортных происшествий, 13 школ – в районной акции. Разъяснительная работа была направлена на всех участников образовательного процесса, в том числе учащихся (воспитанников, школьников и участников кружков в учреждениях дополнительного образования), родителей и педагогов [3].

В качестве профилактических и просветительских мероприятий были использованы следующие формы:

- тематические беседы и классные часы с использованием видеоматериалов и презентаций, литературы и тематических иллюстраций;
- освещение вопросов по теме на уроках в рамках предмета «Основы безопасности жизнедеятельности»;
- подготовка и оформление папок-передвижек (стенгазет) для родителей и воспитанников (в ГБДОУ);
- подготовка и распространение памяток для обучающихся и родителей;
- разъяснительные беседы профилактического характера с родителями в ходе проведения родительских собраний (в том числе в дистанционном формате);
- рассмотрение вопросов профилактики детского травматизма на водных объектах и при ЧС (ПБ) на педагогических советах, а также собраниях с работниками учреждений;

- проведение инструктажей с обучающимися;
- размещение тематических материалов на сайтах учреждений, стендах, в родительских чатах в мессенджерах.

### **Методические рекомендации для проведения мероприятий по профилактике детского дорожно-транспортного травматизма**

Методические рекомендации разработаны в целях активизации деятельности по повышению у участников дорожного движения уровня правосознания и правовой культуры в области дорожного движения, организации мероприятий, направленных на профилактику дорожно-транспортных происшествий (далее – ДТП) с участием детей и снижение тяжести их последствий, а также информационно-пропагандистского сопровождения данной деятельности в средствах массовой информации (далее – СМИ). Методические рекомендации предусматривают ведение профилактической работы с обучающимися, педагогами и родителями (законными представителями). При их разработке учтено состояние детского дорожно-транспортного травматизма в Российской Федерации, проанализированы общие тенденции, факторы и причины ДТП с участием несовершеннолетних.

Анализ статистических данных состояния безопасности дорожного движения в Российской Федерации за 8 месяцев 2020 г. (по сравнению с аналогичным периодом 2019 г.) свидетельствует о тенденции сокращения основных показателей аварийности с участием детей в возрасте до 16 лет. Количество ДТП снизилось на 18,5 %, число раненых детей – на 18,2, число погибших детей – на 12,7 % [4]. Практически в половине ДТП (46,9 %) дети участвовали в качестве пассажиров транспортных средств. Каждый третий ребенок (34,9 %) пострадал в ДТП в качестве пешехода. Каждое восьмое ДТП произошло с детьми-велосипедистами.

Особую тревогу вызывает значительное увеличение количества ДТП с участием несовершеннолетних водителей мототранспорта (4,9 %, каждое 19-е ДТП). За 8 месяцев 2020 г. их количество возросло на 25,2 % и на 25,9 % число раненых детей.

В августе 2020 г. зафиксирован рост показателей аварийности с участием детей-пассажиров в возрасте до 12 лет в случаях, когда водители нарушили правила перевозки детей, рост количества ДТП с участием детей-пешеходов и раненых в них детей, в том числе произошедших по их неосторожности, а также показателей аварийности с участием детей – водителей вело- и мототранспорта (в том числе мопедов и приравненных к ним транспортных средств).

Для организации и проведения мероприятий по профилактике ДДТТ, в том числе недели безопасности дорожного движения, территориальным органам МВД России по субъектам Российской Федерации совместно с органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, осуществляющими государственное управление в сфере образования, рекомендуется реализовать следующие межведомственные мероприятия.

1. Актуализировать информацию в паспортах дорожной безопасности в общеобразовательных организациях, организациях дополнительного образования и дошкольных образовательных организациях, схемах безопасных маршрутов движения детей «дом – школа – дом» и уголках по безопасности дорожного движения.

2. Обеспечить разработку индивидуальных схем безопасных маршрутов движения детей «дом – школа – дом» для обучающихся 1–4-х классов с привлечением родителей (законных представителей) и использованием моделирующей программы, размещенной по адресу <http://passportbdd-eor.edu.ru>; организовать их изучение посредством проведения практических занятий и пешеходных экскурсий.

3. Инициировать комплексную реализацию Концепции информационно-пропагандистского проекта по организации работы по привитию детям навыков безопасного участия в дорожном движении и вовлечению их в деятельность отрядов юных инспекторов движения (далее – ЮИД) с учетом предлагаемой структуры функционирования отрядов ЮИД (далее – Концепция ЮИД) с использованием возможностей региональных комиссий по обеспечению безопасности дорожного движения (далее – БДД) (письмо Минпросвещения России и МВД России от 25 мая 2020 г. № ДГ-522/07, № 1-5540).

4. При создании организационных условий для профилактики ДДТТ и вовлечения детей в деятельность отрядов ЮИД в соответствии с Концепцией ЮИД использовать методические рекомендации

для образовательных организаций по профилактике ДДТТ и организации деятельности отрядов ЮИД, разработанные МВД России по согласованию с Министерством просвещения России, которые размещены на интерактивном образовательном портале «Дорога без опасности» (<http://bdd-eor.edu.ru/>) и сайте юидроссии.рф.

5. Инициировать проведение на базе региональных институтов развития образования курсов повышения квалификации преподавательского состава (в том числе по модульным курсам) общеобразовательных организаций, организаций дополнительного образования и дошкольных образовательных организаций в сфере формирования у детей навыков безопасного участия в дорожном движении с приглашением на курсы сотрудников территориальных органов МВД России по субъектам Российской Федерации.

6. Направить в региональные комиссии по БДД предложения о приобретении органами местного самоуправления световозвращающих элементов и распространении их среди обучающихся 1–4-х классов, а также рекомендации региональным производителям детской одежды о размещении на ней световозвращающих элементов.

7. Принять меры по активизации деятельности отрядов ЮИД, общественных, молодежных и волонтерских объединений, родительской общественности по организации и проведению конкурсов и челленджей, направленных на формирование у детей безопасного образа жизни и просвещению родителей (законных представителей) обучающихся в сфере БДД «Мой ребенок в автокресле», «Любимый ребенок – самый яркий», с размещением материалов в региональных разделах официального сайта МВД России и аккаунтах в социальных сетях.

8. Организовать проведение в жилых зонах и дворовых территориях муниципальных образований просветительских мероприятий для детей и родителей (законных представителей) с информированием о необходимости соблюдения правил дорожного движения и использования средств пассивной защиты при управлении вело- и мототранспортом, запрете передвижения на велосипедах по проезжей части дороги детям в возрасте до 14 лет и на управление мототранспортными средствами детям до 16-летнего возраста при отсутствии водительского удостоверения соответствующей категории.

9. Обеспечить соблюдение требований Правил организованной перевозки группы детей автобусами, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 17 декабря 2013 г. № 1177, при осуществлении выездных мероприятий.

10. В период с 21 по 25 сентября 2020 г. провести во всех образовательных организациях неделю безопасности дорожного движения, в рамках которой:

– обеспечить проведение родительских собраний по тематике БДД, а также уроков, конкурсов, викторин, флешмобов и акций с обучающимися, используя материалы, размещенные на порталах «Дорога без опасности» ([bdd-eor.edu.ru/eor/396](http://bdd-eor.edu.ru/eor/396)) и «Город дорог» ([pdd.fcp-pbdd.ru](http://pdd.fcp-pbdd.ru)), сайтах юидроссии.рф и [dddgazeta.ru](http://dddgazeta.ru);

– ежедневно проводить «минутки безопасности» с обучающимися в конце последнего урока;

– обеспечить проведение 23 сентября 2020 г. «Единого дня безопасности дорожного движения» для обучающихся, педагогических работников и родителей (законных представителей) обучающихся;

– организовать 23 сентября 2020 г. участие представителей образовательных организаций и родительской общественности (в том числе родительских комитетов и патрулей) субъекта Российской Федерации во Всероссийском «родительском всеобуче» по профилактике ДДТТ с привлечением общероссийской общественной организации «Национальная родительская ассоциация социальной поддержки семьи и семейных ценностей» (в онлайн-формате).

С целью широкого освещения мероприятий, направленных на обеспечение БДД, материалы рекомендуется размещать в средствах массовой информации, социальных сетях, на официальных сайтах органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления, образовательных организаций и общественных организаций, в региональных разделах официального сайта МВД России с использованием хештега #НеделяБезопасности2020.

При планировании и проведении мероприятий целесообразно учитывать положение санитарно-эпидемиологических правил СП 3.1/2.4.3598-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, содержанию и организации работы образовательных организаций и других объектов социальной инфраструктуры для детей и молодежи в условиях распространения новой коронавирусной инфекции

(COVID-19)», утвержденных постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 30 июня 2020 г. № 16, а также иных документов по вопросам противодействия распространению новой коронавирусной инфекции (COVID-19) [4].

### **Заключение**

Для успешной профилактики детского дорожно-транспортного травматизма необходимо предпринять ряд усилий.

1. Организовать проведение дополнительных инструктажей с нарядами ДПС о применении мер административного воздействия в пределах санкций действующего законодательства к водителям транспортных средств за неиспользование ремней безопасности и детских удерживающих устройств, а также такие грубые нарушения Правил дорожного движения, как превышение скоростных режимов, непредставление преимущества движения пешеходам, а также Правил перехода проезжей части.

2. Усилить работу личного состава ДПС в плане контроля за соблюдением Правил перехода проезжей части несовершеннолетними пешеходами, особое внимание обратить на нерегулируемые пешеходные переходы.

3. Продолжить проведение разъяснительной работы, направленной на предупреждение и пресечение нарушений Правил дорожного движения, среди всех участников дорожного движения, обратив особое внимание на несовершеннолетних пешеходов, с использованием средств массовой информации, а также дистанционных форм.

### **Библиографический список**

1. Детский травматизм и его профилактика. URL: <https://sad41borisov.schools.by/pages/detskij-travmatizm-i-ego-profilaktika> (дата обращения: 08.04.2021).

2. Анализ детского дорожно-транспортного травматизма за 2020 год. URL: [https://ddtks.ru/files/documents/bdd/analiz/analiz\\_ddtt\\_za\\_12\\_mesiatcev\\_2020.pdf](https://ddtks.ru/files/documents/bdd/analiz/analiz_ddtt_za_12_mesiatcev_2020.pdf) (дата обращения: 08.04.2021).

3. Планы на 2020–2021 учебный год. URL: <https://ddtks.ru/otdel/bdd/planu> (дата обращения: 10.04.2021).

4. Методические материалы опорного центра по профилактике ДДТТ. URL: <https://ddtks.ru/otdel/bdd/met> (дата обращения: 20.04.2021).

УДК 004.42

**М. Г. Паньков**

магистрант кафедры системного анализа и логистики

**Д. Л. Головцов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ БЕССЕРВЕРНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ БЕССЕРВЕРНЫХ ФУНКЦИЙ

### Введение

Сложно представить себе современные компании без внутренних и внешних информационных систем. Приложения и программы используются повсеместно. Основная стратегия развития информационной системы – написание приложения, базы данных и размещение их на собственном сервере, но в данный момент набирает популярность новый подход, называемый бессерверными вычислениями.

Бессерверные вычисления на основе serverless functions – стратегия организации платформенных облачных услуг с определенными правилами, которые будут разобраны в данной статье [1]. Рассмотрим, что такого особенного нам могут предложить такие компании, как Yandex Cloud, AWS Lambda, Google Cloud Functions, занимающиеся предоставлением облачных услуг.

### Преимущества бессерверных функций

#### *Фокус на бизнес-логике*

Если представить себе типичное устройство веб-приложения, состоящее из множества компонент, то можно заметить, что продуктовый код – это совсем небольшая доля от всей кодовой базы. Основная сложность разработки приложения заключается в настройке контейнеров приложений, создании и оптимизации кэшей, балансировщиков, организации защиты и т. д. [2]. Описанные проблемы могут стать большой головной болью для бизнеса, особенно на начальных этапах развития.

Основная сила бессерверного подхода в том, что всю техническую составляющую берут на себя провайдеры услуг, а конечный пользователь должен писать только специальные лямбда-функции, реализующие бизнес логику [3]. Лямбда-функции отвечают следующим требованиям: эфемерность, отсутствие состояния, масштабируемость, управляемость событиями. Можно сказать, что каждая функция представляет собой отдельное маленькое приложение. После их написания они размещаются на облаке, и далее провайдер занимается поддержанием жизни и работоспособности приложения.

#### *Независимая масштабируемость*

Благодаря свойствам лямбда-функций получилось достичь независимого расширения. Данное новшество возможно из-за отсутствия состояния у функций, это означает, что каждую из них можно запустить параллельно.

Что означает эфемерность? Свойство эфемерности подразумевает автоматическое выключение функций после некоторого периода неактивности. При наличии собственного сервера запуск новой единицы приложения может занимать десятки секунд, а то и минуты, это может быть критично при высокой нагрузке. Запуск нового экземпляра лямбда-функции занимает в среднем пару секунд.

Масштабируемость позволяет увеличивать количество функций, которые часто используются, для увеличения скорости работы функции, что благополучно влияет на лояльность пользователей [4].

#### *Эффективное управление ресурсами*

Масштабируемость и свойства функций также положительно влияют на эффективность управления ресурсами.

Рассмотрим простенький график нагрузки системы за 24 ч. Нагрузку на сервер принято измерять в специальных единицах RPS, т. е. количестве запросов, получаемых сервером за 1 с. На рис. 1 приведен график зависимости количества запросов в секунду от времени.

Как видно из графика, нагрузка на приложения достигает пика в рабочие часы, а в определенное время ее практически нет. При использовании собственного сервера придется поддерживать постоянный размер ресурсов, который способен обслужить больше, чем пиковое число, запросов в секунду. В итоге бизнес вынужден платить за ресурсы, которыми никто не пользуется.

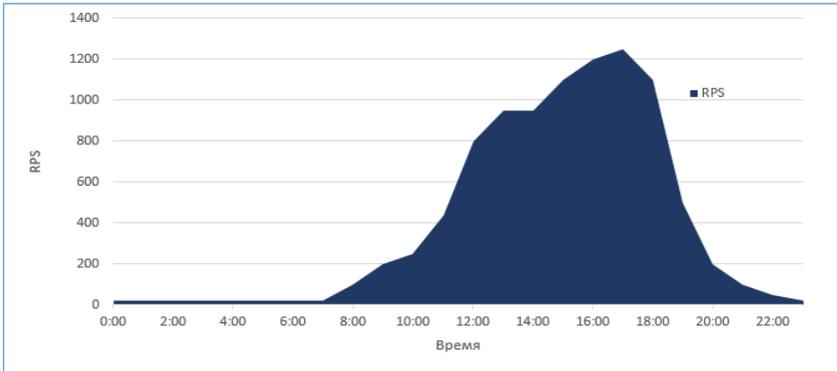


Рис. 1. Зависимость RPS от времени

Благодаря способности лямбда-функции выключаться в период неактивности облачные сервисы автоматически регулируют запущенные ресурсы. То есть когда нет пользователей, запущено минимальное количество лямбда-функций для поддержания жизни приложения, при росте нагрузки количество одновременно работающих функций увеличивается.

Облачные провайдеры предоставляют выгодный план тарификации для конечных пользователей, позволяющий платить только за то количество ресурсов, которое было потрачено [3].

### Недостатки бессерверных функций

Как и все технологии, данная концепция неидеальна и имеет некоторые недостатки. Они не критичны, можно даже назвать их не недостатками, а особенностями.

Первая особенность – холодный старт функции. Возникает после периода неактивности, когда функции запускаются с нуля. На этом этапе происходят поднятие окружения, инициализация приложения и старт кода, все перечисленные действия занимают некоторое небольшое количество времени. Количество времени, занимаемое запуском, зависит от выбранного языка программирования и от сложности приложения.

Далее можно выделить такое понятие, как «золотая клетка», в которую загоняют пользователей провайдеры услуг. Облачные провайдеры навязывают свои сервисы, фреймворки в своей экосистеме, которая несовместима с экосистемами других провайдеров. При таком подходе будет очень сложно перейти на использование другого провайдера, предоставляющего аналогичные услуги.

Существует также проблема локальной отладки, присущая провайдерам, не предоставляющим механизмов эмулирования поведения функций в облаке. На локальной машине кодовая база может быть полностью покрыта тестами, а в облаке выявятся какие-то проблемы и баги, которые протестировать будет уже непросто.

Но проблема холодного старта может быть решена самим пользователем, существует два варианта:

- держать функцию всегда прогретой с помощью вызова ее раз в определенное время;
- оптимизировать саму функцию.

Также на рынке услуг существуют совместимые провайдеры, такие как YandexCloud, AWS.

### Области применения

Описываемая технология не панацея от всех бед программирования, и не стоит сразу переносить свои серверы в бессерверные функции.

Рассмотрим, где обычно применяется новая технология:

- утилитарные сервисы;

– небольшие сервисы, решающие одну задачу, например калькуляторы, сокращатели ссылок. Также можно реализовать компоненты приложений, выполняющие авторизацию, манипуляцию с запросами к основному приложению и т. д. Последней группой можно выделить фоновые задачи, действия по расписанию;

– боты. Логика работы бота прописывается в функции и при вызове веб-хука пользователем, например в приложении telegram, функция просыпается и начинает работу;

– Backend API. С помощью функций появилась возможность тонко масштабировать конечные точки API приложения.

### Заключение

Технология облачных вычислений стала на данный момент самой популярной и передовой при организации информационных систем в крупных IT-компаниях. Бессерверные функции только набирают популярность у разработчиков. Данный подход неидеален и имеет сильные и слабые стороны, но можно смело сказать, что у технологии есть будущее. Использовать ее надо вдумчиво и в областях, наиболее подходящих для этого.

Бессерверные функции и облачные технологии дают возможность молодым компаниям с малыми бюджетами развернуть собственные информационные системы в сжатые сроки. А успешные компании с высоконагруженными системами смогут сэкономить значительное количество денег, затраченных на трафик и ресурсы и ускорить работу своих систем, что скажется на лояльности пользователей.

### Библиографический список

1. Steven H. Serverless computing with AWS Lambda, Part 1. URL: <https://www.infoworld.com/article/3210726/serverless-computing-with-aws-lambda.html> (дата обращения: 02.04.2021).
2. Microsoft: сайт. URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/architecture/serverless/> (дата обращения: 03.04.2021).
3. Aws: сайт. URL: <https://aws.amazon.com/ru/serverless/> (дата обращения: 03.04.2021).
4. Cloud.yandex: сайт. URL: <https://cloud.yandex.ru/services/functions> (дата обращения: 03.04.2021).

УДК 656.029.4

**А. В. Умнов, А. Д. Сидоров**

студенты кафедры системного анализа и логистики

**В. Е. Таратун** – старший преподаватель – научный руководитель

## ЛОГИСТИКА ФОРМУЛЫ-1

### Введение

Нет ни одного такого логистически сложного вида спорта, как Формула-1. Выступление команды напрямую зависит от наличия нужных деталей в нужное время в нужном месте, именно поэтому логистика становится частью соревнования.

Формула-1 – самые глобальные спортивные соревнования. За двадцать одну ежегодную гонку команды посещают пять континентов с перерывом в неделю или две [1]. Грузовики, корабли и самолеты переносят все это шоу каждый год по всему миру.

### Логистическое обслуживание Формулы-1

В Формуле-1 соревнуется десять команд. Несмотря на то что гонки проходят по всему миру, это все же европейский вид спорта: 9 из 10 команд зарегистрированы в Европе. Только американская команда HAAS фактически базируется в США, штат Северная Каролина, однако у нее есть дополнительная база в Англии [2] для того, чтобы сотрудникам не надо было ездить в США между европейскими гонками, которые в последние годы проводятся последовательно, с коротким перерывом на Гран-при Канады, в середине сезона летом.

Европейская часть сезона относительно проста в плане логистики, потому что внутри Европы можно удобно передвигаться на грузовиках. Стоимость доставки грузовиками достаточно низкая, что позволяет командам брать с собой целые здания, их скромно называют автодомами (motorhome). Они могут быть большими, как трехэтажное здание одной из команд – RedBull, которое включает офисы, а также бары и рестораны с целой кухней. Все это упаковывают в несколько грузовиков так, чтобы можно было собрать менее чем за два дня.

Обычно гонки проводятся каждые две недели по воскресеньям, что дает командам достаточно времени, чтобы перевезти все оборудование перед тем, как мероприятия начнутся, в четверг перед самой гонкой. Но иногда гонки проводятся каждую неделю [1]. Это представляет собой более сложную логистическую задачу, поскольку у команд есть всего три полных дня на разборку, транспортировку и сборку своего оборудования на новом месте проведения гонки. Впервые в сезоне 2018 г. были три уик-энда с тремя гонками подряд: 24 июня – Гран-при Франции в Ле-Кастелле, в следующие выходные – в Австрии, а еще через неделю команды переместились в Англию. Трансфер из Австрии в Англию стал самым сложным, так как необходимо было преодолеть более 1600 км, включая тоннель между Европой и Англией. Для этого в каждом грузовике находились по три водителя, чтобы пока один ведет, остальные могли отдохнуть. Таким способом грузовики смогли преодолеть этот маршрут с остановками только для дозаправки [3].

Но логистически эти гонки легки, в сравнении с теми, что проходят за пределами Европы. Как и в случае с европейскими гонками, они проводятся с перерывом в две недели, но время от времени планируются каждую неделю за тысячи километров друг от друга. Именно эти гонки самые сложные в плане логистики Формулы-1.

Конечно же, все планируется за месяцы до соревнований. За три месяца до первых гонок сезона каждая из десяти команд упаковывает пять комплектов транспортных контейнеров. Каждый из этих комплектов содержит столы, стулья, технику, оборудование для кухни и некоторые части гаражей. Более громоздкое и менее дорогое оборудование отправляется морем, поскольку это намного дешевле, чем самолетом. Количество контейнеров зависит от команд, но в чаще всего команды имеют три 40-футовых контейнера. Конечно же, доставка морем долгая, но так как есть пять комплектов контейнеров, один из них всегда будет в нужное время в нужном месте. Январской партией отправляют первые пять комплектов на первые пять гонок за пределами Европы – Мельбурн, Австралия, Сахир, Бахрейн,

Шанхай, Китай, Баку, Азербайджан и Монреаль, Канада. По их завершении комплект упаковывают и отправляют в следующий пункт назначения: австралийский – в Сингапур, из Бахрейна – в Россию, китайский – в Японию, азербайджанский – в США, канадский – в Мексику, а когда сезон подходит к концу, контейнеры возвращаются на базы команд [4].

В воскресенье, 8 апреля 2018 г. проходило Гран-при Бахрейна, а уже через неделю все команды переместились в Шанхай для Гран-при Китая. Более 6 500 км разделяют две эти трассы, а Шанхай на пять часов опережает Бахрейн по времени, что означает на пять часов меньше для выполнения работы. Несмотря на это, все было разобрано в воскресенье ночью в Бахрейне, чтобы быть готовым к утру четверга в Китае. Для трансфера из Бахрейна в Китай вся работа началась в четверг перед гонкой. Именно тогда менеджер по логистике каждой команды начал составлять план демонтажа, решая, в каком порядке и в какие контейнеры следует поместить различные части оборудования. И уже в воскресенье утром, еще до начала гонки, начался сбор необходимого оборудования [5].

Многие из запасных частей не могут быть использованы во время гонки, например команды не могут заменять двигатель во время Гран-При, поэтому эти части первыми упаковываются в контейнеры. Во время самой гонки мало что происходит, но уже через 15 мин после ее окончания начинается основной сбор. Автомобили, наиболее важные части оборудования тщательно проверяются, чтобы убедиться, что никаких незаконных модификаций не было сделано. Все оборудование, которое команды хотели получить в пункте назначения в первую очередь, было помещено в один из трех приоритетных паллет.

Все приоритетные паллеты каждой из команд заполнили первый самолет до Шанхая. Как только они были упакованы, их отвезли прямо в аэропорт всего через несколько часов после окончания гонки, чтобы подготовить к раннему утреннему вылету в Шанхай. Примерно через шесть–восемь часов после взмаха клетчатого флага все паллеты были упакованы и отправлены в аэропорт. К полудню понедельника все шесть Боингов-747, которые используют для перевозки оборудования команд в Китай, были в воздухе. Эти самолеты были специально заказаны для нужд Формулы-1, но команды все равно платят за место в каждом из них. Также в понедельник весь персонал отправился в Шанхай.

После девяти часов полета первый самолет приземлился в Шанхае ранним вечером по местному времени. Груз был выгружен и доставлен на таможенку. К полудню все приоритетные паллеты были уже на пути к гоночному треку. За ночь работники распределили грузы разных команд по соответствующим гаражам. Ни одной команде не разрешается прикасаться к своему грузу до тех пор, пока все грузы других команд не прибудут, как в целях справедливости, так и в целях безопасности, чтобы гарантировать, что вокруг не будет много людей во время разгрузки и перемещения паллет.

К утру вторника начинается монтаж необходимого оборудования. У каждой из команд были три приоритетные паллеты и морской комплект. В приоритетные паллеты команды помещали то, что нужно было собрать в первую очередь, – основу гаража, включающую панели на стену, основную часть их электрической системы и большую часть коммуникационного и IT-оборудования. К вечеру вторника сборка была завершена, и трасса снова стала недоступной для команд, поскольку неприоритетные контейнеры были доставлены ночью.

Рано утром в среду около шести часов утра команды вернулись на трассу и приступили к окончательной сборке гаража. И примерно через четыре часа, к середине дня, гаражи всех команд заработали.

### Заключение

В общей сложности десять команд Формулы-1 успешно собрали и отправили все свое оборудование на 6500 км и собрали паллеты за 58 ч. Благодаря тщательному планированию и опытным работникам, Формула-1 ежегодно справляется с этим впечатляющим достижением безотказно.

### Библиографический список

1. Formula One World Championship Race Calendar. URL: <https://www.formula1.com/en/racing/2018.html> (дата обращения: 09.05.2021).
2. Break down Of F1 Teams. URL: <https://f1experiences.com/blog/breakdown-of-formula-1-teams-ahead-of-the-2018-season> (дата обращения: 10.05.2021).

3. The Logistics Behind Formula 1. URL: <https://www.thedrive.com/accelerator/22063/the-logistics-behind-formula-1-are-baffling> (дата обращения: 11.05.2021).

4. Building the greatest racing spectacle on the planet. URL: [https://www.youtube.com/watch?v=MН6Loko0BOA&ab\\_channel=FORMULA1](https://www.youtube.com/watch?v=MН6Loko0BOA&ab_channel=FORMULA1) (дата обращения: 11.05.2021).

5. The Complex Web of Formula 1. URL: <https://medium.com/formula-one-forever/the-complex-web-of-formula-1-circus-21-races-across-5-continents-871d713912cc> (дата обращения: 12.05.2021).

УДК 656.025.2

**Д. О. Федотов**

студент кафедры системного анализа и логистики

**С. В. Уголков** – кандидат военных наук, доцент – научный руководитель

## АНАЛИЗ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕВСКОГО РАЙОНА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

### Введение

Невский район (рис. 1) образован в 1917 г., находится в восточной части Санкт-Петербурга. Это единственный район в городе, расположенный по двум берегам Невы. На севере он граничит с Красногвардейским и Центральным районами, на западе – с Фрунзенским, на юго-востоке – с Колпинским, а на востоке его к нему примыкает Всеволожский район Ленинградской области.



Рис. 1. Невский район

Площадь Невского района – 6 177,4 га (4,3 % от общей площади Санкт-Петербурга). Протяженность с севера на юг – около 20 км, с запада на восток – 8 км. Площадь жилой застройки более 100 га. Район продолжает расти за счет интенсивного жилищного строительства.

Транспортное сообщение через Неву обеспечивают три моста: неразводной Большой Обуховский (Вантовый) мост, Володарский мост, Финляндский железнодорожный мост.

### Административно территориальное деление Невского района

Добрую половину длины Невы в пределах города по обоим берегам занимает Невский район. Это речные ворота Санкт-Петербурга.

Площадь жилой застройки составляет более 70 % площади района. На территории расположено 7 станций метрополитена: в левобережной части района 5 станций Невско-Василеостровской линии: Елизаровская, Ломоносовская, Пролетарская, Обухово, Рыбацкое, в правобережной части – две станции Правобережной линии: Проспект Большевиков и Улица Дыбенко.

Основные магистрали левого берега – проспект Обуховской Обороны, переходящий в Шлиссельбургское шоссе, улицы Седова и Ивановская; правого берега – Октябрьская набережная, Дальневосточный проспект, проспект Большевиков, Народная улица, переходящая в Мурманское шоссе (трасса «Кола»). Связывает оба берега Володарский мост.

**Социально-демографические показатели [1]**

Невский район – один из крупнейших промышленных районов города, второй среди всех районов города по численности постоянного населения (на 01.01.2020 г., по данным Петростата, 536 137 чел.). По сравнению с 2019 г., количество жителей увеличилось более чем на 8 тыс. чел. [1].

Численность и структура постоянного населения Невского района Санкт-Петербурга представлены на рис. 2.

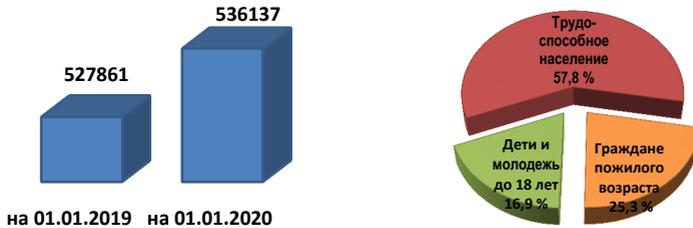


Рис. 2. Основные социально-экономические показатели района за 2020 г.

По возрастной структуре в Невском районе преобладает трудоспособное население, которое составляет 57,8 %, что на уровне среднего значения по Санкт-Петербургу. Коэффициент демографической нагрузки на 1 000 чел. трудоспособного населения в Невском районе составляет 730,06.

**Производственно-коммерческая деятельность [1]**

На территории района работают 19 310 тыс. хозяйствующих субъектов, из них свыше 15 тыс. субъектов малого бизнеса. Инвестиции в основной капитал крупных и средних предприятий и организаций района за январь–сентябрь 2020 г. составили 4 482,6 млн руб., или 67,9 % к январю–сентябрю 2019 г. Оборот организаций Невского района, не являющихся субъектами малого предпринимательства, в январе–ноябре 2020 г. составил 138 815,1 млн руб. и уменьшился по сравнению с показателями соответствующего периода 2019 г. на 2,5 %.

По объему промышленного производства в Невском районе лидируют следующие отрасли (рис. 3, 4): производство прочих транспортных средств и оборудования; производство кожи и изделий из кожи; производство резиновых и пластмассовых изделий; производство машин и оборудования; производство прочей неметаллической минеральной продукции.

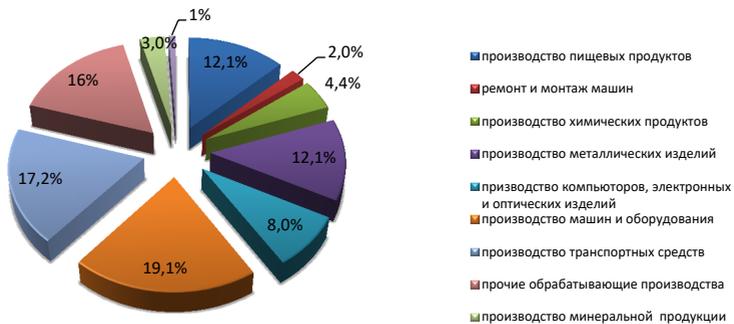


Рис. 3. Объем промышленного производства в Невском районе [1]

Средняя численность работников по организациям, не являющимся субъектами малого предпринимательства, за январь–октябрь 2020 г. составила 83,1 тыс. чел. и увеличилась по сравнению с аналогичным периодом прошлого года на 2,3 тыс. чел., или на 2,8 %.

За отчетный год практически все предприятия района показали положительную динамику роста заработной платы (рис. 5). Среднемесячная начисленная заработная плата работников по организациям района, не являющимся субъектами малого предпринимательства за январь–октябрь 2020 г. составила в сумме 63 050,1 руб. и увеличилась по сравнению с аналогичным периодом 2019 г. на 5,3 %.



*Рис. 4. Динамика производства по отраслям*



*Рис. 5. Динамика среднемесячной заработной платы*

Предприятия района вносят весомый вклад в решение социальных и экономических вопросов, оперативно откликаются на участие в традиционных районных мероприятиях. Несмотря на экономические сложности, прославленные предприятия Невского района по-прежнему остаются в строю и наращивают объемы производства: АО «Обуховский завод», ЗАО «Невский завод», ПАО «Звезда», ОАО «Ленинградский комбинат хлебопродуктов им. С. М. Кирова», АО «Императорский фарфоровый завод», АО «Октябрьский электровагоноремонтный завод» и ряд других.

### **Направления дальнейшего развития района, строительство новых жилых кварталов [2]**

Невский район – один из самых динамично развивающихся районов города: район практичен и удобен для жизни, активно строятся новые дома, окруженные развитой общественной инфраструктурой; торговля, коммерция, услуги и социальные услуги – все, что нужно современному жителю мегаполиса.

Качественные, ценовые и потребительские характеристики жилья в Невском районе существенно различаются в зависимости от периода строительства и местоположения объекта. Большая часть жилого фонда Невского района состоит из квартир советского строительного периода. На левом берегу находятся дореволюционные рабочие общежития, довоенные городки для рабочих, жилые дома сталинского периода, а также много пятиэтажек. Самый крупный новый проект правобережной части – ЖК «Пасточкино гнездо» в Уткиной заводи. Это комплекс из 12 высоток, рассчитанный в общей сложности на 8 тыс. квартир.

Однако в Невском районе имеются не только классические квартиры, но и апартаменты, например строительная компания «Монолит» строит здесь комплекс апартаментов «WINGS апартаменты на Крыленко», также в ближайшем времени должны поступить в продажу апартаменты бизнес-класса в жилом комплексе NevaSky. Таким образом, в настоящее время строящийся рынок жилья в Невском районе представлен 17 жилыми комплексами разных размеров, сегментов и типов.

Невский район имеет запасы для застройки на границах с Колпинским районом, а основной прирост недвижимости произойдет за счет перепланировки бывших промышленных территорий. Сейчас крупные застройщики активно осваивают участки вдоль набережной Невы. Учитывая нехватку новых площадок для застройки в городе, в ближайшее время Невский район останется одним из основных поставщиков новых квадратных метров.

### **Анализ состояния городского пассажирского транспорта и перспективы развития пассажирских перевозок**

В районе действует семь станций метро. Значительная часть Невы в пределах города с обеих сторон занята Невским районом, а три моста через Неву соединяют левый и правый берега района. В Невском районе 5 маршрутов автобусов, 10 трамвайных и 7 троллейбусных маршрутов.

Системная проблема транспортной инфраструктуры Невского района заключается в несоответствии уровня ее развития, эффективности и качества функционирования растущим потребностям экономики и общества в транспортных услугах. Это проявляется следующим образом [3]:

1) состояние транспортной сети не соответствует существующим и предполагаемым грузовым и пассажирским перевозкам;

2) уровень доступности и качества транспортных услуг не соответствует потребностям населения Невского района. Общественный пассажирский транспорт в этом районе не в состоянии удовлетворить спрос на качественные пассажирские перевозки;

3) наблюдается значительная задержка в темпах развития дорожной сети в районе по отношению к темпам автомобилизации общества. Сегодня около трети протяженности автомобильных дорог в Невском районе работают в режиме перегрузки, в основном в часы пик;

4) основные фонды всех видов общественного транспорта в Невском районе обновляются с низкой скоростью, вследствие чего их износ достиг 55–70 % и продолжает увеличиваться. Это приводит к снижению уровня безопасности транспортного процесса, увеличению транспортных расходов и может вызвать нехватку транспорта и пропускной способности в некоторых элементах транспортной системы района;

5) транзитный потенциал Невского района не используется в полной мере (с учетом близости кольцевой дороги);

6) показатели безопасности транспортного процесса, прежде всего дорожного движения, не соответствуют мировому уровню. Общие потери от таких негативных последствий транспортной деятельности, как уровень аварийности, загрязнение окружающей среды, потеря экономики и общества из-за перегрузки транспортных коммуникаций в районе, весьма значительны;

7) значительно обострились проблемы обеспечения транспортной безопасности и антитеррористической стойкости транспортной системы района;

8) недостаточна насыщенность территории района парковочными местами, нехватка транспортно-пересадочных узлов.

### Заключение

Важнейшей проблемой существующей транспортной инфраструктуры в Невском районе Санкт-Петербурга остается несоответствие ее развития темпам автомобилизации и темпам городского освоения новых территорий, что порождает низкий уровень транспортных услуг для жителей новых районов и, следовательно, снижает качество жизни населения.

Скорость сообщения в час пик на автомобильном транспорте составляет в среднем по району 10–15 км/ч, в пределах плотной застройки – 20–26, а на заторных направлениях – всего 6–10 км/ч. Периоды неблагоприятных условий движения в Невском районе – с 7:30 до 10:30 и с 17:00 до 20:30.

### Библиографический список

1. Стратегия социально-экономического развития Санкт-Петербурга до 2030 года: Анализ социально-экономического развития Санкт-Петербурга. Версия 2 / Комитет по эконом. политике и стратег. планированию Санкт-Петербурга. СПб., 2013. 440 с.
2. Стратегия экономического и социального развития Санкт-Петербурга на период до 2030 года / Комитет по эконом. политике и стратег. планированию Санкт-Петербурга. СПб., 2015 г. 128 с.
3. Итоги социально-экономического развития Санкт-Петербурга. URL: <http://cedipt.spb.ru/monitoring-pokazatelej/analiz-socialno-ekonomicheskogo-razvitiya/itogi-socialno-ekonomicheskogo-razvitiya-sankt-peterburga/> (дата обращения: 15.05.2021).

УДК 004.584

**В. С. Шаперова**

студент кафедры системного анализа и логистики

**Н. Н. Майоров** – доктор технических наук, доцент – научный руководитель

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ КОЛИЧЕСТВА СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И НЕОБХОДИМЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ДОЛЖНОСТНЫХ ОБЯЗАННОСТЕЙ СОТРУДНИКОВ АДМИНИСТРАЦИИ**

**Введение**

Широкое распространение информационно-коммуникационных технологий позволяет повысить качество предоставления государственных услуг путем внедрения различных организационных инноваций, изменения организации деятельности государственных учреждений [1].

**Реорганизация зоны приема горожан**

Для упрощения процесса приема документов от граждан в администрации Центрального района было открыто «единое окно», так называемый центр «Открытый район» (рис. 1). Новый центр государственных услуг работает по принципу многофункциональных центров предоставления государственных услуг (МФЦ), расположенных в каждом районе города, однако имеет некоторые преимущества перед ними. У входа в зону «Открытого района» расположен специальный терминал с перечнем услуг, которые предоставляет администрация (рис. 2).



*Рис. 1. Новый центр приема обращений*



*Рис. 2. Терминал с перечнем услуг, предоставляемых администрацией*

Выбрав сначала нужный отдел администрации, а затем конкретную услугу, человек получает талон с номером. В этот момент сотруднику, отвечающему за определенную услугу, приходит смс-сообщение. В течение следующих 10 мин он должен спуститься в центр, чтобы принять посетителя. В администрации действует система оценки эффективности работы на основании ключевых показателей, при которой результат деятельности высших должностных лиц напрямую зависит от качества работы всех подчиненных. Глава администрации Максим Мейксин отметил, что если в течение заявленных 10 мин вызванный специалист не подходит на свое место, то аппарат посылает смс-сообщение ему, а также начальнику отдела о том, что заявитель не обслужен [2]. Таким образом, система помогает отслеживать качество обслуживания и стимулирует сотрудников лучше выполнять свои обязанности.

Появление «единого окна» облегчает взаимодействие между властями и населением. До внедрения системы для обращения к специалистам требовалась предварительная запись, прием осуществлялся строго в отведенные часы, а горожанам каждый раз приходилось искать нужный кабинет, «пробиваясь через закрытые двери на разных этажах» [2]. «Открытый район» упрощает взаимодействие граждан с районной администрацией, делает его более открытым и доступным. Также, в отличие от районных МФЦ, в новом центре петербуржцы могут получить предварительную консультацию по вопросам заполнения документов, что позволяет избежать повторных возвратов документов.

В зоне обслуживания горожан предусмотрены моноблоки, обеспечивающие работу окон приема посетителей и специальный компьютер, отвечающий за электронную очередь. Из-за использования смс-сообщений очередь работает с подключением к сети Интернета, в то время как моноблоки хранят личные данные сотрудников и находятся в закрытой сети, соответственно, для начала приема работник должен выполнить вход в систему.

### **Зона обслуживания горожан с точки зрения теории массового обслуживания**

Для решения задачи внедрения и оценки эффективности таких инноваций, как организация работы администрации по принципу «единого окна», следует рассматривать зону приема горожан с точки зрения теории массового обслуживания (ТМО). Теория массового обслуживания основывается на теории вероятностей и математической статистике. Ее предметом является установление зависимости между основными характеристиками системы обслуживания с целью улучшения управления системами [3]. Процессы, моделируемые на основе этой теории, обычно сводятся к задаче определения максимального количества заявок, которое может обслужить система за промежуток времени [4]. В данном случае заявкой будет каждый пришедший и взявший талон человек. Совокупность заявок образует очередь на обслуживание, которое осуществляет сотрудник администрации. Следует учитывать тот факт, что в случае слишком долгого ожидания заявка может покинуть систему, не получив обслуживания. Кроме того, в системе по разным причинам периодически могут возникать сбои, например неисправность терминала или табло, перебои в сети, человеческий фактор. С помощью теории массового обслуживания можно определить такие параметры, как число каналов, характер входного потока заявок, производительность канала и др., свести количество необслуженных заявок и сопровождающие их потери к минимуму и, таким образом, добиться оптимальной работы центра.

Рассматриваемая система состоит из множества частей: зоны перемещения людей в зале, сидячих мест ожидания, столов с бумагой и ручками для заполнения документов, стойки информации, табло с номерами талонов на обслуживание, количества и расположения стандартных окон и отдельных мест для приема и обсуждения особых вопросов. Каждый элемент вносит свой вклад в общий результат и качество работы системы.

### **Применение метода имитационного моделирования**

Использование имитационного моделирования позволяет исследовать работу системы в целом, а также отдельных ее элементов, предоставляет возможность проводить различные эксперименты, меняя параметры системы и вводя случайные сбои в работе. Имитационное моделирование служит мощным инструментом выполнения прогнозирования и краткосрочного планирования [5].

Имитационное моделирование – вид аналогового моделирования, реализуемый с помощью специальных компьютерных программ-симуляторов, позволяющих создавать в памяти компьютера

процессы-аналоги, с помощью которых можно провести целенаправленное исследование структуры и функций реальной системы в режиме ее «имитации», осуществить оптимизацию некоторых ее параметров [4].

Существуют три метода моделирования – системная динамика, дискретно-событийное (процессное) и агентное моделирование (рис. 3). Широко распространенное программное обеспечение Any Logic, разработанное российской компанией The Any Logic Company, поддерживает все подходы к созданию имитационных моделей, а также обладает удобным графическим интерфейсом, множеством инструментов и различных библиотек, что позволяет учесть любой аспект моделируемой системы с любым уровнем детализации [6].

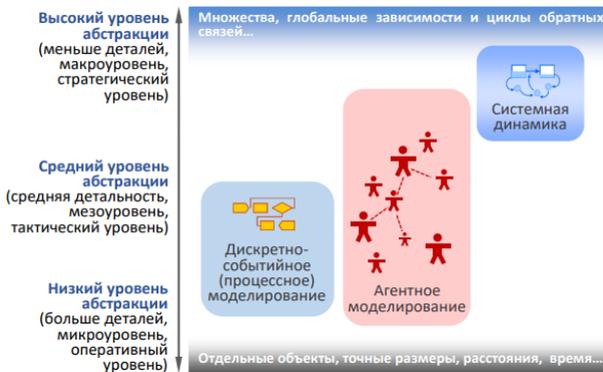


Рис. 3. Методы имитационного моделирования

Для моделирования работы центра предоставления государственных услуг может быть использована пешеходная библиотека AnyLogic, специально разработанная для моделирования и анализа пешеходных потоков. В набор инструментов библиотеки входят такие элементы, как карта плотности, статистика пешеходного потока и элементы для подсчета времени ожидания в очереди и времени обслуживания [7]. Пешеходная библиотека совместима с библиотекой моделирования процессов, что дает возможность создавать в среде AnyLogic более сложные и детализированные модели, которые лучше отражают происходящие в реальной жизни процессы.

При реорганизации работы администрации большое значение имеет эргономика создаваемого пространства. Хорошо спроектированное помещение создает правильную рабочую атмосферу и делает пребывание посетителей комфортным. С помощью пешеходного моделирования в среде AnyLogic можно оценить вместимость зала, протестировать планируемые изменения, а также выявить возможные проблемы и найти их решения [7].

### Заключение

Каждое нововведение, изменение в существующей системе, особенно на ранних этапах внедрения, неизбежно сопровождается сбоями в ее работе. Администрация Центрального района первой в городе стала работать по принципу «единого окна» в феврале 2021 г., и требуется время, чтобы стабилизировать новую систему обращения граждан. Несмотря на то что в центре есть специальная стойка информации, где сотрудник отвечает на все вопросы горожан и помогает им сориентироваться, некоторым людям труднее адаптироваться к новым условиям. Не все могут сразу разобраться, к какой именно категории услуг относится их вопрос. В связи с этим возникают ситуации, когда на вызов приходит не тот специалист. В таком случае возрастает время ожидания приема, что может негативно сказаться на общем впечатлении от работы госструктуры. Кроме того, некоторым сотрудникам приходится лишний раз спускаться в центр, что также занимает их рабочее время. Для решения данной проблемы может быть разработано более понятное горожанам определение всех предоставляемых администра-

цией категорий услуг, расширено их описание на терминале либо размещены дополнительные стойки информации.

«Открытый район» – первый в городе подобный центр государственных услуг. С учетом полученного в администрации Центрального района опыта в ближайшем будущем возможно создание таких же структур в других районах.

### Библиографический список

1. Смотрицкая И. И., Черных С. И. Организационные инновации в сфере государственного управления // Вестн. Ин-та экономики Рос. акад. наук. 2021. № 1. С. 9–25.
2. Григорьева Я. В администрации Центрального района открылось «единое окно» по приему документов от горожан // Петерб. дневник. URL: <https://spbndnevnik.ru/news/2021-02-03/v-administratsii-tsentralnogo-rayona-otkrylos-edinoe-okno-po-priemu-dokumentov-ot-gorozhan> (дата обращения: 10.04.2021).
3. Солнышкина И. В. Теория систем массового обслуживания: учеб. пособие. Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2015. 76 с.
4. Иванов Н. В. Имитационное моделирование как инструмент исследования пассажиропотоков // Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии: сб. докл. II Междунар. науч. конф. / ГУАП. СПб., 2021. С. 100–102.
5. Таратун В. Е., Шаперова В. С. Имитационное моделирование как подход в решении задач систем массового обслуживания // Систем. анализ и логистика. 2020. № 4 (26). С. 35–44.
6. Майоров Н. Н., Фетисов В. А. Моделирование транспортных процессов: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2011. 163 с.
7. Документация AnyLogic. URL: <https://help.anylogic.ru/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Fpedestrian%2Freference%2Fpl.html> (дата обращения: 10.04.2021).

УДК 001.891

**В. Д. Шарпова**

студент кафедры системного анализа и логистики

**Н. Н. Майоров** – доктор технических наук, доцент – научный руководитель

## НАУКОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ В ОБЛАСТИ РУКОВОДСТВА ДАННЫМИ НА ОСНОВЕ БАЗ ДАННЫХ РИНЦ И SCOPUS

### Введение

Руководство данными становится стандартной практикой для многих организаций, ведь новые технологии обеспечивают возможность сбора и использования «больших данных» (неструктурированных или полуструктурированных данных в самых различных форматах). К тому же осознание важности соблюдения этических принципов при обращении с данными и принципов их хранения все время растет, равно как и растет объем больших данных вместе с нашей способностью исследовать эти объемы и применять их с целью развития организации. Данные – это не только источник обогащения, но и риск [1]. Этот факт постепенно становится очевидным для руководства компаний-гигантов после ущерба в результате массовых нарушений в области сбора и хранения данных, а также многочисленных утечек информации.

Согласно опросу старших специалистов по аудиту, проведенного компанией Gartner в 2019 г., руководство данными поднялось на первое место среди вопросов, интересующих руководителей служб аудита (CAEs), по сравнению с годом ранее [2]. Значит, руководство данными представляет собой более серьезную проблему, чем даже обеспечение кибербезопасности.

Цель статьи заключается в исследовании актуальности вопроса руководства данными посредством анализа публикационной активности в данной области знаний, которая находит отражение в российском индексе научного цитирования (далее – РИНЦ), а также в библиографической и реферативной базе данных Scopus (далее – Scopus), включающей более 38 млн записей научных публикаций [3]. РИНЦ – это национальная библиографическая база данных научного цитирования, аккумулирующая более 12 млн публикаций российских авторов, а также информацию о цитировании этих публикаций из более 6000 российских журналов [4]. Таким образом, база РИНЦ способна дать представление о том, насколько актуально то или иное направление в научных исследованиях, проводимых в России, и, соответственно, показать перспективы его развития.

### Практическое исследование публикационной активности в РИНЦ

Для наиболее точного формирования запроса на поиск научных работ произведем поиск по ключевому слову: «руководство данными» и «datagovernance». Поисковая выдача по первому запросу оказалась равной нулю, а вторая показала результат 19 научных работ. Добавим найденные результаты в подборку и произведем более глубокий анализ. Столь малое число научных работ может свидетельствовать о том, что тема является новой, мало изученной российскими исследователями.

Произведем поиск, отражающий распределение публикаций по организациям (рис. 1).

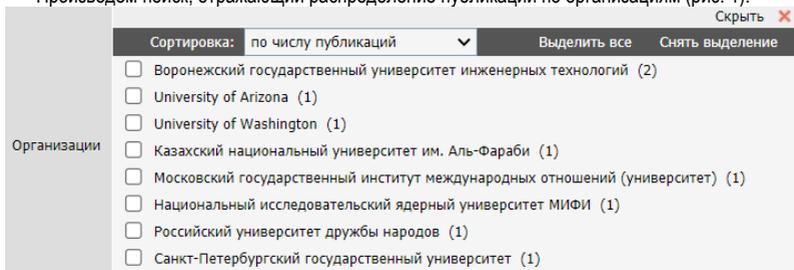


Рис. 1. Поиск публикаций по организациям на портале eLibrary

Из поисковой выборки видно, что лидером по числу публикаций (2 шт.) на тему «datagovernance» является Воронежский государственный университет инженерных технологий. Рассмотрим авторов, публикации которых представлены в РИНЦ (рис. 2).

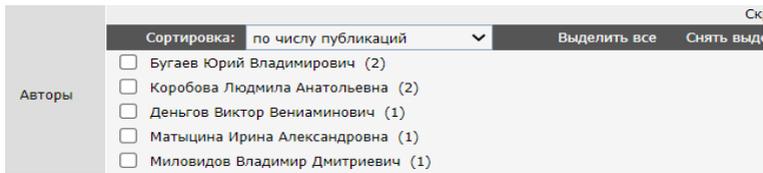


Рис. 2. Результат выборки авторов по числу публикаций по выбранной теме

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что работы авторов Ю. В. Бугаева и Л. А. Коробовой представлены в наибольшем количестве (по 2 шт.).

Для того чтобы определить, существует ли тенденция к увеличению/уменьшению интереса к теме руководства данными, выполним анализ количества публикаций по годам (рис. 3).



Рис. 3. Публикационная активность на тему руководства данными (2013–2020 гг.)

На основании полученных результатов были выявлены следующие научные статьи, имеющие наибольшее количество цитирований (табл. 1). Отсюда можно сказать, что основными трендами оказываются безопасность данных, влияние больших данных на экономику, а также развитие систем для корпоративного управления.

Таблица 1

**Статьи, имеющие наибольшее количество цитирований**

Название	Авторы	Год	Количество цитирований
Влияние современных технологических изменений на финансовую безопасность	Линников А. С., Масленников О. В.	2017	27
«Большие данные» как фактор изменения процессов принятия решений в экономике	Королев О. Л., Апатова Н. В., Круликовский А. П.	2017	13
Корпоративное управление 2.0: эволюция системы корпоративных отношений в информационном обществе	Миловидов В. Д.	2017	12

Для сравнения произведем анализ наукометрии базы данных Scopus (рис. 4, 5). Как видно, более 15 000 документов образовали кластер.

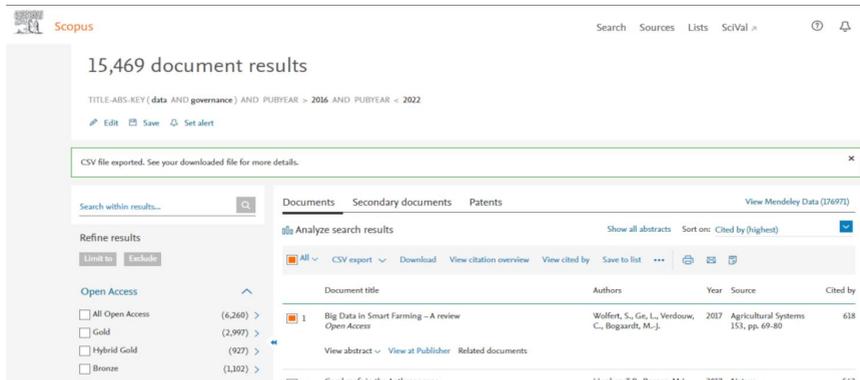


Рис. 4. Результат поисковой выдачи при запросе «datagovernance»

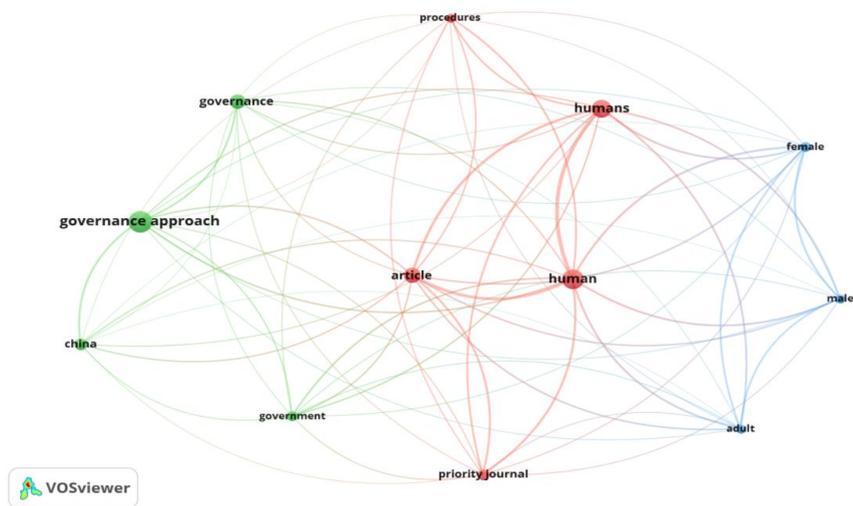


Рис. 5. Концептуальная карта взаимосвязей областей знаний

## Заключение

Из полученной публикационной активности видно, что, несмотря на малоизученность темы руководства данными, число публикаций в 2020 г. возросло в 2 раза, по сравнению с таковым в 2019 г., что говорит о тенденции увеличения интереса к данной проблеме. Небольшое число найденных работ и в то же время актуальность темы в мире свидетельствуют о том, что теория не успевает за практикой, равно как и то, что данная область крайне перспективна для дальнейших исследований.

## Библиографический список

1. DAMA-DMBOK: Свод знаний по управлению данными / DamaInternational; пер. с англ. Г. Агафонова. 2-е изд. Москва: Олимп-Бизнес, 2020. 828 с.

2. Gartner says companies need better data governance in 2020. URL: <https://techwireasia.com/2019/11/gartner-says-companies-need-better-data-governance-in-2020/> (дата обращения: 03.05.2021).

3. Scopus // Википедия: свобод. энцикл. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Scopus> (дата обращения: 09.05.2021).

4. Российский индекс научного цитирования // eLIBRARY.RU: науч. электрон. б-ка. URL: [https://www.elibrary.ru/project\\_risc.asp?](https://www.elibrary.ru/project_risc.asp?) (дата обращения: 09.05.2021).

УДК 656.029.4

**К. В. Щекина**

магистрант кафедры системного анализа и логистики

**С. В. Уголков** – кандидат военных наук, доцент – научный руководитель

## СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ЦЕПОЧКАМИ ПОСТАВОК

### Введение

Изменения в управленческой сфере фирмы существенно влияют на то, насколько конкурентоспособна она будет. Разветвление сети поставок, расширение интернет-бизнеса, особенно в период пандемии, развитие информационных технологий, увеличение разнообразия запросов от клиентов (увеличение объема производства по индивидуальным заказам), колебание спроса, повышение уровня сервиса – все это приводит к уменьшению или увеличению конкурентоспособности, вместе с постоянным развитием коммуникационных и транспортных технологий способствовало эволюции цепочки поставок и методов управления ею.

### Схема цепочки поставок

Цепочка поставок, которая также называется логистической сетью, состоит из поставщиков, производственных центров, складов, распределительных центров и торговых точек, а также сырья, производственных запасов и готовой продукции, которые перемещаются между объектами. Управление цепочкой поставок контролирует три основных потока. Поток продукции включает движение товаров и материалов в процессе производства от поставщиков к потребителям. Информационный поток включает передачу заказов и отслеживание товаров и продуктов в процессе доставки. Финансовый поток состоит из графиков платежей, условий кредитования, консигнаций и соглашений о праве собственности.

Цепочка поставок состоит из различных звеньев, прямо или косвенно участвующих в выполнении запроса клиента, начинается и заканчивается покупателем. Простая цепочка состоит из нескольких элементов, которые связаны движением продукта по ней, в частности:

1) клиент – начинает цепочку событий, когда он решает приобрести продукт, который был предложен для продажи компанией;

2) производители – производят продукт в соответствии с требованиями заказчика. Компания закупает сырье в соответствии с требованиями к продукту;

3) закупка – компоненты продукта покупаются на рынке, запрашивая тендеры у продавцов;

4) оптовики / дистрибьюторы – закреплены производителем за распространением продукта среди розничных продавцов;

5) транспортировка – является ключевым фактором цепочки поставок, она транспортирует материалы и продукцию от компании к дистрибьютору, к розничному продавцу, а также доставляет грузы на производственное предприятие от поставщиков и продавцов.

Цепочку поставок можно представить в виде схемы (рис. 1). Узлы этой сети представляют объекты, связанные между собой ребрами – прямыми транспортными связями [1].

Операции цепочки поставок выполняются на основе параметров (например, время выполнения заказа, точка повторного заказа и т. д.), установленных на стратегическом и тактическом уровнях управления цепочкой. Можно выделить следующие ключевые процессы:

– управление взаимоотношениями с клиентами, управление обслуживанием клиентов – маркетинг, продажи, call-центры;

– управление процессами снабжения – поиск источника снабжения, закупка, поставка, анализ качества закупки;

– управление производственными процессами – производство товара, сборка готового изделия, управление производственным циклом и мощностями;

– управление спросом – процесс разработки продукта;

– управление распределением [2].

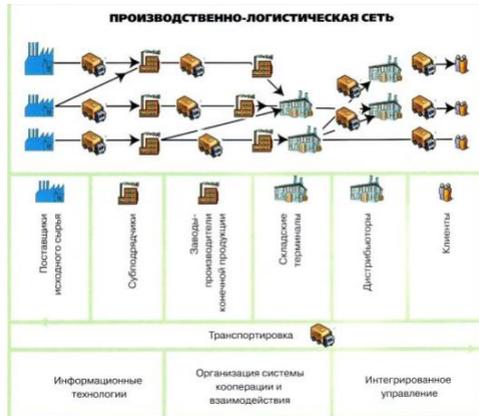


Рис. 1. Схема цепочки поставок

Конечная цель успешной стратегии управления цепочкой поставок состоит в минимизации общих логистических издержек при удовлетворении фиксированного спроса. Такие издержки могут включать стоимость сырьевых ресурсов, транспортные расходы, инвестиции в оборудование, производственные затраты, затраты распределительных центров, затраты по содержанию запасов и другие. Например, обеспечить доступность продуктов, когда они необходимы, тем самым уменьшая потребность в хранении больших объемов запасов.

### Стратегии управления цепочкой поставок

Стратегии управления цепочкой поставок должны содержать конфигурацию распределительной сети. Распределительные сети включают количество и местонахождение поставщиков, производственных мощностей, распределительных центров, складов и клиентов. Они должны быть интегрированы со всеми информационными системами, обрабатывающими перемещение товаров и материалов, включая прогнозирование, инвентаризацию и транспортировку.

Цепочку поставок можно разделить на 1PL÷5PL провайдеров.

1PL ((First Party Logistics) — так называемая автономная логистика, все функции выполняет грузополучатель.

2PL (Second Party Logistics) – простая форма аутсорсинга, когда третья сторона предоставляет ограниченный набор услуг по транспортировке и управлению складскими запасами.

3PL (Third Party Logistics) – более продвинутая форма аутсорсинга, выходит за пределы простой транспортировки товара, может предоставить такие дополнительные услуги, как консолидация отправок, экспедирование, оформление платежей за перевозку, услуги таможенного брокера, но при этом со значительной добавочной стоимостью.

4PL (Fourth Party Logistics) – интегрированная логистика, объединение компаний, участвующих в цепочке поставок. 4PL-оператор управляет всеми логистическими процессами в цепочке поставок.

5PL (Fifth Party Logistics) – это уровень 4PL, но реализуется средствами современных сетевых информационных платформ [3].

### Технологии цепочек поставок

В современном мире с развитием информационных технологий одним из эффективных решений оптимизации цепочки поставок является ее цифровизация, обеспечивающая эффективность, надежность и клиентоориентированность.

На сегодняшний день цепочка поставок представляет собой серию в значительной степени разрозненных этапов: маркетинг, разработка продукта, производство и его распространение. С применением цифровых технологий будет осуществлен переход от разрозненной технологической структуры к системным платформам, что сделает ее более прозрачной для всех участников.

Сеть будет зависеть от ряда ключевых технологий: интегрированные системы планирования и исполнения, прозрачность логистики, автономная логистика, умные закупки и складирование, управление большими данными, блокчейн, облачные решения, беспилотный транспорт и расширенная аналитика. Результат позволит компаниям реагировать на сбои в цепочке поставок и даже предвидеть их, осуществить полное моделирование сети, создание сценариев «что, если» и корректировку цепочки поставок в реальное время по мере изменения условий. Примерами новых технологий являются GPS-слежение, штрих-коды, радиочастотная идентификация (RFID) и сети беспроводных датчиков. При такой настройке производительность и безопасность данных являются ключевыми, и поэтому облачные технологии, работающие с веб-службами, обеспечивают эффективное сотрудничество и видимость для торговых партнеров.

### **Факторы, влияющие на формирование спроса и предложения**

Один из важных элементов цепочки поставок – обмен информацией. Для его эффективности необходимо обеспечить высокую степень прозрачности системы, которая требует технической сложности и вмешательства человека, что в итоге даст большие преимущества, не ограничивающиеся экономией запасов и улучшением планирования. Уже сейчас сбытовые сети накопили массу статистики о зависимости баланса спроса и предложения от внешних факторов. Например:

- данные из внутренних и внешних источников, таких как отслеживание транспорта устройства и социальные сети, объединены в единую платформу;
- данные объединены и дополнены перекрестными ссылками на информацию, такую как события цепочки поставок, влияющие на поставку (изменение погоды, трафика и новостные ленты, контроль социальных сетей может предвидеть такую проблему, как забастовка рабочих);
- информация генерируется внутри платформы и сводится с помощью аналитики и моделирования, что позволяет оптимизировать маршрутные сети;
- полученные данные позволяют компаниям оптимизировать свой выбор в различных условиях, используя информацию для предупреждения фабрики, складов и клиентов.

На рынок оказывают влияние и внутренние факторы: могут меняться правила и тарифы на стивордном рынке, возрасти тарифы в системе «Платон», увеличиться налоговое обложение компаний, которые стремятся сохранить высокие качественные показатели в сложных финансовых условиях.

### **Заключение**

В описанных условиях возможно обострение конкуренции в борьбе за клиентов: компаниям придется искать новые маршруты и даже усложнять существующие цепочки поставок. Это может ускорить некоторые операционные процессы, побудить к развитию в непростых условиях [4].

### **Библиографический список**

1. Операции в цепях поставок. URL: <https://www.fnc-group.ru/operacii-v-cepiah-postavok.html> (дата обращения: 13.12.2020).
2. Бочкарев А. А. Планирование и моделирование цепи поставок. СПб.: СПбГИЭУ, 2007. 330 с.
3. Крылатков П. П. Управление цепью поставок (SCM): учеб. пособие/ Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Ин-т новых материалов и технологий. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. 140 с.
4. Российский рынок транспортно-логистических услуг 2019. URL: <https://rzdlog.ru/upload/iblock/073/07325e0bdce051e0d4e33c778ce8edc3.pdf> (дата обращения: 12.12.2020).

## Эксплуатация и управление аэрокосмическими системами

УДК 004.627

**С. А. Баталев**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**Е. П. Овсянников** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## АЛГОРИТМ СЖАТИЯ ВИДЕОДАННЫХ ДЛЯ АВТОНОМНОГО НАКОПИТЕЛЯ

Тема исследования связана с разработкой алгоритма сжатия видеоданных для автономного накопителя. В ходе работы должно быть разработано устройство очень похожее на видеорегистратор. Оно будет прикрепляться на рабочую форму должностного лица, медика или пожарного, записывать на флеш-карту весь рабочий день. С помощью этого видео можно будет анализировать работу человека, а также правильность действий в той или иной ситуации. Главной особенностью данного устройства должны быть автономность работы и хорошее сжатие данных, сравнимое с JPEG. Устройство должно работать целый день без замены аккумуляторов и подзарядки, допускается его выключение в перерывах или на обед.

Видеопоток данных можно представить как набор кадров, которые идут с определенной частотой. На данный момент существуют два вида сжатия таких данных [1]:

- покадровое;
- межкадровое.

Покадровое сжатие — это очень простой тип сжатия, когда каждый кадр видео сжимается независимо друг от друга. В межкадровом сначала происходит анализ всего кадра целиком, выявляются различия с предыдущим и кодируется только покадровая разница. Такой метод позволяет значительно сэкономить объем видеофайла. С другой стороны, нужны большая мощность процессора и больший объем оперативной памяти устройства, чтобы хранить несколько предыдущих кадров для анализа.

В автономном накопителе главным ограничением выступают ресурсы – размер оперативной памяти (RAM) и емкость аккумулятора. Данное устройство будет работать на базе программируемой пользователем вентильной матрицы (FPGA) XilinxKintex, поэтому нужно провести анализ алгоритмов и способов сжатия и выбрать лучший из них, учитывая специфику программируемой логической интегральной схемы. Количество памяти для хранения одного HD кадра в памяти устройства приведено в табл. 1. Видеокодеры работают с сигналами в формате YUV4:2:0, поэтому цвет каждого пикселя можно представить с помощью 12 бит, поле Y является полным и занимает 8 бит, поля U и V прорежены вчетверо, вдвое по горизонтали и вдвое по вертикали, поэтому занимают по 2 бита [2].

Таблица 1

## Характеристики HD кадра

Формат видео	Размер кадра (пиксели)	Размер кадра (Мбайт)
HD	1 920 × 1 080	3,11
HD ready	1 080 × 720	1,66
SD	720 × 576	0,622

Для хранения одного HD кадра в оперативную память надо загрузить 3,11 Мб данных. Если выбрать способ межкадрового сжатия, то можно получить очень хороший выигрыш в занимаемом объеме видео на флеш-накопителе. Но чтобы использовать межкадровое сжатие, нужно одновременно держать в оперативной памяти устройства несколько кадров, производить расчет их разности. Для хранения предыдущего кадра, текущего и накопленного, устройству потребуется 9,33 Мб памяти. XilinxKintex не обладает таким объемом встроенной оперативной памяти, поэтому придется использовать дополнительные внешние блоки. Данное решение приведет к увеличению размеров устройства, энергопотребления и конечной стоимости.

Существуют два основных метода, использующих межкадровую разность.

1. Поблочное сравнение, при котором изображение разбивается на отдельные блоки аналогично алгоритму JPEG. Сравнение между кадрами производится на уровне блоков в соответствии с выбранным критерием. Первый кадр сжимается независимо от остальных аналогично алгоритму JPEG. Последующие кадры сжимаются только в объеме изменившихся блоков. Блоки, считающиеся неизменными, заимствуются из предыдущего кадра [3].

2. Метод, использующий компенсацию движения. В этом случае выявляются не только изменившиеся блоки, но и анализируется направление перемещения фрагментов изображения. При этом удается определить вектор движения отдельных блоков и достичь дополнительного эффекта сжатия видеопоследовательности за счет исключения информации о самих движущихся блоках, заменив ее на векторы движения этих блоков [3].

При использовании метода межкадрового сжатия без компенсации движения необходимо держать в памяти три кадра – прошлый (опорный) кадр, текущий и накапливающийся.

Для метода с использованием компенсации движения, необходимо вычислять суммы абсолютных разностей двух блоков в определенной окрестности. Если использовать размер блока  $16 \times 16$  пикселей и выбрать размер области  $\pm 32 \times \pm 32$ , то необходимо будет сделать 4 096 вычислений разности для каждого обрабатываемого блока. В HD кадре вмещается 8 100 блоков  $16 \times 16$ , то для анализа кадра потребуется 33 177 600 вычислений абсолютных разниц между блоками, что энергозатратно, количество операций будет расти в квадратичной зависимости при увеличении размера окрестности поиска [4].

Использование межкадрового сжатия усложняет схемотехнику устройства, увеличивает его размеры и уменьшает время автономной работы от аккумулятора, потому что требует больших вычислений. Логичным шагом будет отказ от межкадрового сжатия и использование только покадрового. Увеличение объема записываемого файла можно компенсировать размером флеш-накопителя, так как его стоимость невысока.

Для покадрового сжатия в качестве прототипа был выбран кодек MJPEG, позволяющий сжимать каждый кадр видеопотока с помощью алгоритма сжатия JPEG. Его основной плюс – простота реализации, а отсюда возможность использовать в устройствах с ограниченными ресурсами. Еще один плюс – качественные стоп-кадры: легко можно разглядеть лицо человека или номер проезжающей машины. Из недостатков можно отметить довольно низкий коэффициент сжатия по сравнению с другими потоковыми методами, например MPEG-4. Чтобы получить лучшее сжатие, можно заменить преобразование  $8 \times 8$  на  $16 \times 16$ . Благодаря этому будет лучшая локализация энергии в спектрах. Также можно заменить фиксированный код на адаптивный контекстный код Хаффмана, который позволяет иметь память на полосу видео  $16 \times 1\,980$  пикселей. С такой схемой не потребуются установка дополнительных блоков оперативной памяти и устройство станет более энергоэффективным.

Используя рассмотренные приемы кодирования и правильно настроив их, можно получить энергоэффективное сжатие потока видеоданных с последующей записью на флеш-память, при этом сохранить автономность устройства. На данный момент проект разрабатывается на языке программирования Си, для того чтобы понять какие алгоритмы и способы сжатия рационально использовать, оценить их уровень сжатия и энергоэффективность. В дальнейшем планируется перенос проекта на язык программирования аппаратуры Verilog с использованием программируемой логической матрицей XilinxKintex.

### Библиографический список

1. Poynton C. Digital Video and HDTV, Algorithms and interfaces. Morgan Kaufmann Publ., 2003. 736 с.
2. Ghanbari M. Video Coding: An Introduction of Standard Codecs / Inst of Engineering & Technology, 1999. 264 p.
3. Wangeta Y. Video Processing and communications. URL: [https://www.researchgate.net/publication/242477641\\_Video\\_processing\\_and\\_communications](https://www.researchgate.net/publication/242477641_Video_processing_and_communications) (дата обращения: 10.02.2021).
4. Mitrovic D. Video Compression. URL: [https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL\\_COPIES/AV0506/s0561282.pdf](https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/AV0506/s0561282.pdf) (дата обращения: 10.02.2021).

УДК 629.78

**И. Д. Беликов**

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

**Ю. А. Кузьмичев** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА, ОБОРУДОВАННОГО ЗАЩИТНЫМ ЭКРАНОМ

Космические роботы (КР) – это космические аппараты (КА), выполняющие сервисные функции в окрестности геостационарной орбиты (ГСО).

Для реализации маневров по сближению КР с КА, находящимся на ГСО [1], время ожидания необходимых фазовых ограничений может достигать нескольких дней. Но в случае наступления необходимых фазовых соотношений маневры могут быть отложены, так как при выходе на линию визирования, соединяющую центры масс КР и КА – цель сближения, опто-электронные приборы окажутся под воздействием естественных источников света.

Одним из возможных решений задачи сближения с КА в условиях засветки опто-электронных приборов может быть использование выдвижного защитного экрана, создающего искусственную тень на заданную поверхность КР. Использование защитного экрана потребует учета ряда особенностей в управлении угловым положением КР [2].

Защитный экран, который в выдвинутом состоянии создаст тень на аппарате, позволит осуществить предполагаемый маневр, при котором источник света не осуществит засветку опто-электронных приборов, используемых для построения линии визирования (ЛВ). Реализация маневра КР потребует применения специальных алгоритмов управления угловым движением, учитывающих указанные особенности. На рис. 1 изображены КА, находящийся на геостационарной орбите, и КР, осуществляющий сближение по линии визирования, для реализации которого используются опто-электронные приборы.

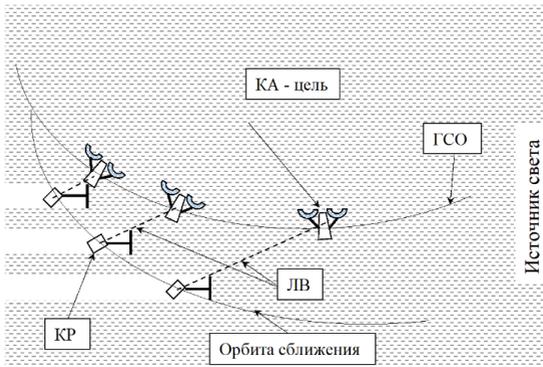


Рис. 1. Применение КР защитного экрана при реализации метода параллельного сближения по линии визирования с орбитальным объектом

Рассмотрим особенности управления КР с защитным экраном с точки зрения системы ориентации и стабилизации.

Первая особенность заключается в создании подсистемы ориентации и стабилизации выдвижного защитного экрана, обеспечивающего искусственную тень опто-электронным приборам КР. Эта задача решается известными способами с использованием специальных измерительных, преобразу-

ющих и исполнительных органов и устройств. В качестве закона управления положением защитного экрана целесообразно использовать пропорционально-дифференциальный алгоритм.

Вторая особенность состоит в учете упругих колебаний защитного экрана относительно корпуса КР. Предлагаемую конструкцию КР нельзя выполнить как абсолютно жесткое тело в силу строгих ограничений на массу КР. Способы компенсации таких колебаний описаны в литературе [3, 4]. Так как масса КР составляет около 50 кг, габариты не превышают нескольких десятков сантиметров, то для подавления упругих колебаний целесообразно использовать метод амплитудной стабилизации [3, 5], так как частота упругих колебаний будет существенно больше рабочей частоты системы угловой стабилизации КР.

При выдвигении защитного экрана будет создаваться внешний возмущающий момент за счет взаимодействия гравитационных и центробежных сил и за счет смещения центра масс КР. Третью и четвертую особенность управления угловым положением КР можно учесть с помощью реализации принципа управления угловым положением КР не только по отклонению, но и по известной составляющей возмущающего воздействия. Применение принципа управления по отклонению и возмущению (известной составляющей) позволит обеспечить устойчивость и требуемые качества управления, прежде всего точность и быстродействие.

Результаты исследования показали, что переходные процессы системы без возмущающих воздействий и системы с принципом управления по известной составляющей внешних возмущающих моментов практически идентичны. С учетом упругих колебаний и внешнего, заранее известного, момента система защиты от солнечного излучения сможет быть безопасно интегрирована в КР. При ее добавлении мы получим главное преимущество, которое избавит от проблем, связанных с отсутствием визуального контакта с объектом в космическом пространстве на ГСО. Это позволит значительно сократить время ожидания КР в окрестности ГСО для необходимого обслуживания КА. Формирование управляющих воздействий с учетом особенностей эксплуатации защитного выдвигного щита возможно и при использовании нелинейных законов управления [6]. С их помощью можно существенно улучшить качества функционирования систем стабилизации КР.

#### Библиографический список

1. Кузьмичев Ю. А., Сасункевич А. А., Фоминов И. В. Исследование влияния высоты орбиты космического робота на временные и энергетические затраты обслуживания орбитальных объектов на геостационарной орбите // Тр. ВКА им. А. Ф. Можайского. СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2018. Вып. 661. С. 198–206.
2. Механика полета. Ч. 2. Системы управления космических аппаратов: учебник / В. В. Ефимов, В. И. Миронов, С. Б. Силантьев [и др.]; под ред. В. В. Ефимова. СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2010. 529 с.
3. Лапшин Ю. В. Системы управления ракет и космических аппаратов: курс лекций. СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2012. 158 с.
4. Кузьмичев Ю. А., Дорофеев Н. А. Способ активного подавления колебаний упругих элементов конструкции космического аппарата на основе применения резонансного фильтра в контуре системы угловой стабилизации // Тр. ВКА им. А. Ф. Можайского. СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2019. Вып. 672. С. 209–215.
5. Бесекинский В. А., Попов Е. П. Теория автоматического управления. СПб.: Профессия, 2004. 752 с.
6. Будариева П. С., Кузьмичев Ю. А. О нелинейных законах управления в ракете-носителе // 73-я Междунар. студ. науч. конф. ГУАП: сб. докл. Ч. 1. Технические науки. СПб, 2020. С.143–146.

УДК 629.735

**А. А. Беляков**

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

**П. А. Назаренко** – ассистент – научный руководитель

## **ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРХМАЛЫХ БАС МУЛЬТИРОТОРНОЙ СХЕМЫ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ**

### **Введение**

Развитие технологий набирает обороты год за годом. Ярким примером служит стремительно изменившийся за последние 20–30 лет рынок потребительской микроэлектроники. На рубеже 2000–2010-х гг. были созданы первые экземпляры беспилотных авиационных систем (БАС) общего назначения с мультироторными беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) сверхмалого класса, взлетной массой от 0,25 до 30 кг.

На данный момент самым крупным игроком рынка в области производства сверхмалых БАС мультироторной схемы является китайская фирма DJI Innovations [1], чьи мультироторные БПЛА типов Phantom и Mavic составляют более 60 % от общего числа всех эксплуатируемых мультироторных БПЛА.

### **Проблемы применения авиации при осуществлении поисково-спасательных работ**

Помимо выполнения прочих задач, БАС со сверхмалыми БПЛА нашли применение в поисково-спасательных работах. Ранее при поиске пропавших и потерявшихся в лесных массивах, а также прочей враждебной для человека местности гражданами сотрудниками Министерства чрезвычайных ситуаций Российской Федерации (МЧС РФ) и добровольческих поисково-спасательных отрядов (ДПСО) были вынуждены использовать вертолетную авиацию. Однако применение находящихся у МЧС РФ и ДПСО вертолетов Ми-8, Robinson 44 и другой аналогичной техники затруднено большими затратами на их покупку, обслуживание и хранение, подготовку и содержание квалифицированного персонала, а также отсутствием большого количества действующих аэродромов.

Использование БАС с БПЛА сверхмалого класса вместо вертолетной авиации значительно удешевляет проведение поисково-спасательных работ. Многократно меньшая стоимость покупки и эксплуатации системы, возможность ее транспортировки и эксплуатации рядовым членом поисковой группы, а также точность и мгновенность применения мобильных беспилотных авиационных систем выгодно отличают их от вертолетной авиации.

### **Задачи, решаемые мультироторными БАС**

При проведении работ по поиску и спасению терпящих бедствие и потерявшихся на местности людей использование мультироторных БАС помогает решить следующие задачи:

- 1) одновременный обзор и фотовидеосъемка большого участка местности;
- 2) обзор труднодоступных или недоступных участков местности, таких как болото или акватория реки/озера;
- 3) «контрастный поиск», при осуществлении которого наблюдатель занимается обнаружением незаметных с земли примет или следов, таких как примятая к земле трава, голова утопающего над водой или колея в поле.

На рис. 1 изображено передаваемое бортовой телекамерой БПЛА-демонстратора изображение. На нем хорошо заметен имитирующий голову провалившегося под лед утопающего буй (обведен овалом).

Указанные достоинства мультироторных БАС сверхмалого класса привели к тому, что на данный момент МЧС РФ [2] и ДПСО «Лиза Алерт» применяют [3] два основных типа мультироторных БПЛА: DJI Phantom 3 и DJI Mavic 2.



*Рис. 1. Передаваемое камерой БПЛА изображение*

### **Недостатки имеющихся мультироторных БАС**

Однако БПЛА типов Mavic и Phantom предназначены в первую очередь для художественной фотографии, а не для поиска людей. Соответственно, они обладают рядом недостатков, таких как:

- 1) высокая цена и плохая ремонтпригодность;
- 2) отсутствие возможности отключить встроенный автопилот, запрет на внесение корректировок пользователем;

- 3) наличие программных ограничений;

- 4) затруднения при передаче изображения в реальном времени на ряде моделей.

Следовательно, актуальна постройка специализированной БАС для поисково-спасательных операций. При ее проектировании и создании должны использоваться комплектующие и материалы, не обладающие указанными недостатками. Наличие возможности купить их у отечественных и зарубежных производителей делает данную задачу осуществимой.

### **Библиографический список**

1. Официальный сайт компании DJI Innovations. URL: <https://www.dji.com> (дата обращения: 19.05.2021).

2. МЧС РФ. Применяемые БПЛА. URL: <https://www.mchs.gov.ru/ministerstvo/o-ministerstve/tehnika/aviacionnaya-tehnika/bespilotnye-letatelnye-apparaty> (дата обращения: 19.05.2021).

3. Группировка беспилотной авиации МЧС России. Задачи и применение. URL: <https://www.mchs.gov.ru/uploads/resource/03.09.2019/f195b575aeb8d28675e6a380c9fa16ff.pdf> (дата обращения: 19.05.2021).

УДК 004.383

**Я. С. Волков**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**Е. Н. Яблоков** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## **ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ УРОВНЯ РЯДОВОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ**

### **Введение**

Вне зависимости от времени, места и эпохи развития человеческой цивилизации проблема пожарной безопасности актуальна всегда. Вплоть до XX в., когда службы получили необходимое оборудование, достаточно эффективное для борьбы с пожарами, огонь уничтожал целые города, как в 1571 г. Москву.

Однако с появлением достаточно развитых устройств пожаротушения, накоплением опыта и математического аппарата разрушительность преднамеренных или случайных возгораний сильно снизилась. Один из крупнейших и значимых городских пожаров XXI в. в соборе Парижской Богоматери был локализован, и ужасных последствий удалось избежать.

Тем не менее для рядового человека пожар и по сей день остается страшным событием, способным повлечь за собой как материальные траты, так и угрозу жизни. МЧС России в 2019 г. зарегистрировало 471 246 пожаров, на которых погибло 8 559 чел. и получил травмы 9 461 чел. Прямой материальный ущерб от пожаров составил 18,2 млрд руб. При этом более 75 % всех возгораний произошло именно в зданиях жилого назначения и надворных постройках [1]. Цифра могла быть более значительной. Благодаря действиям пожарных в 2019 г. было спасено 226 319 чел. Очевидно, что грамотные и своевременные детекция и сигнализация о риске возгорания важны на производстве и в повседневной жизни.

### **Формализация**

Необходимо определить значение термина «системы пожарной безопасности», о которых в дальнейшем пойдет речь. Федеральный закон от 21.12.1994 г. № 69-ФЗ определяет систему обеспечения пожарной безопасности как совокупность сил и средств, а также мер правового, организационного, экономического, социального и научно-технического характера, направленных на профилактику пожаров, их тушение и проведение аварийно-спасательных работ [2]. На практике этот термин используется применительно к инженерным, научным, организационным и программно-аппаратным решениям, обеспечивающим сбор информации и сигнализацию о нестандартных ситуациях, связанных с пожаром, а также комплекс средств по недопущению возникновения и распространения огня.

Слишком широкое определение не дает обычному пользователю конкретных инструментов по противодействию пожарам и профилактике их возникновения. Введем определение, в рамках которого будет вестись дальнейшая работа.

Система пожарной безопасности – комплекс программно-аппаратных средств (ПАС), обеспечивающих сбор информации, ее обработку и передачу в целях недопущения возгораний или снижения их последствий. Основные ее компоненты:

1) блоки сбора данных (БСД) – различные датчики, камеры и иные приборы, позволяющие с высокой долей достоверности оценить состояние среды, за которой ведется наблюдение;

2) блоки обработки информации (БОИ) – программно-аппаратные средства, обеспечивающие получение информации от БСД, ее обработку и передачу всем компонентам системы;

3) блоки сигнализации (БС) – различные инженерные решения, позволяющие в доступной пользователю форме вывести информацию о пожароопасной ситуации или о возможности ее возникновения;

4) блоки передачи сообщений (БПС) – ПАС, позволяющие в автоматическом режиме или при контроле оператора передавать сообщение о возникновении пожароопасной ситуации в соответствующую организацию.

### Требования к детектируемым признакам

Приступая к разговору о системах пожаробезопасности, стоит сформулировать требования к ним, как с точки зрения пользователя, так и технико-эксплуатационные. Для этого нужно определить основные характеристики пожара, а также причины его возникновения.

Согласно информации МЧС [1], к главным причинам пожаров относятся:

- неосторожное обращение с огнем;
- нарушения правил устройства и эксплуатации (НПУиЭ) электрооборудования;
- НПУиЭ печей и дымовых труб.

Разрабатываемая или уже функционирующая система пожаробезопасности должна с заданной точностью распознавать возникший пожар, а при определенных условиях и детектировать риск возгорания. Используя рациональный подход, легко сформулировать основные параметры, которые с высокой вероятностью помогут предупредить или распознать пожар.

1. Температура помещения. В среднем, температура открытого пожара газов равна 1 200...1 350 °С, жидкостей – 1 100...1 300, твердых веществ – 1 100...1 250 °С. Однако согласно Сан-ПиН 2.1.2.2645-10 температура выше 28 °С уже является превышением нормы в жилых помещениях [3]. Значит, стоит ввести разбивку уровней температуры в зависимости от риска пожара.

2. Скорость изменения температуры в помещении. Отличительная особенность температуры при пожаре – большая скорость ее повышения, что позволит однозначно определить пожар, исключив влияние нагревания помещения, например в жаркий день.

3. Задымленность помещения. Критический признак, сообщающий об активной стадии пожара, однозначно подходит для детектирования наличия открытого огня и опасности для жизни людей и имущества.

4. Состав воздуха. Помимо определения концентрации угарного газа и иных продуктов горения также полезно замерять концентрацию таких пожароопасных веществ, как пропан, бутан, пары алкоголя и др. [5].

5. Наличие открытого пламени достаточного размера. Подобный признак должен быть подвержен особо тщательному контролю, чтобы исключить ложное срабатывание систем от штатной работы газовых плит, зажигалок и печей.

### Требования со стороны пользователя

Помимо однозначного определения параметров, по которым возможно определить пожар, не стоит забывать о конечном пользователе. Именно удобство, простота и интуитивность использования будут определять востребованность системы пожаробезопасности и, следовательно, распространенность ее применения. К параметрам, которые будут оказывать решающее влияние, можно отнести:

- 1) простота установки и настройки системы;
- 2) технологическая сложность системы;
- 3) способы взаимодействия системы и пользователя;
- 4) малые габариты.

Кажется логичным желание максимально упростить как саму систему, так и общение конечного пользователя с ней, однако не следует забывать об эффективности. Система, которая в 10 % случаев срабатывает ложно, подвергает человека слишком большому риску, а потому не может быть допущена в производство и, тем более, пользование.

### Формирование итоговых характеристик

Исходя из начальных условий, можно определить основные требования к системе пожаробезопасности на основании технологических критериев и с точки зрения удобства пользователя:

- использование более одного датчика для обнаружения пожароопасной ситуации;
- высокая отказоустойчивость;
- высокий диапазон измерения компонент среды;
- простота и понятность системы сигнализации.;
- малые физические размеры элементов;

- простота конфигурации;
- наличие пороговых параметров срабатывания.

### Обзор имеющихся решений

На практике конечный пользователь часто не имеет возможности установить полноценную систему пожаробезопасности в связи с рядом ограничений. Одно из самых главных – экономический фактор. По данным Росстата, медианный среднедушевой доход по РФ составляет 26 363,6 руб. в месяц [5]. В связи с этим реальная устанавливаемая система должна быть минимальной по цене при максимальной эффективности.

Исходя из заданных требований, наиболее доступным для населения вариантом остаются автономные дымовые извещатели. Регистрирующие задымление помещения путем оценки падения освещенности, они позволяют определить факт горения продуктов, однако не способны предупредить или сигнализировать о пожаре на раннем этапе.

Другой распространенный прибор – тепловые извещатели. Они регистрируют изменение температуры окружающей среды и гарантируют раннее обнаружение пожароопасной ситуации, однако крайне чувствительны к нагретым потокам веществ, например пару. Кроме того, лишь малая часть из них обладает встроенными системами оповещения, а большинство требует подключения дополнительных элементов.

Наиболее эффективным вариантом системы пожаробезопасности оказываются приемно-контрольные приборы (ПКП) с подключаемыми к ним извещателями. Такая система обладает достаточно невысоким бюджетом [6] (для Санкт-Петербурга можно найти варианты суммарной стоимостью до 5 тыс. руб.), а кроме того позволяет отслеживать показания сразу множества датчиков по всему помещению. Подобная система также имеет недостатки: затраты на монтажные работы, ограниченное взаимодействие с пользователем. Иначе говоря, большинство систем предоставляют лишь базовую информацию и несколько режимов работы, не позволяя конечному потребителю осуществить гибкую настройку системы. Кроме того, подобные системы необходимо устанавливать в помещении с извещателями, прокладывая проводку. Автономных устройств, помещенных в одном корпусе и выполняющих сразу несколько функций, на рынке не представлено, производители выбирают модульность системы пожаробезопасности, позволяя каждому потребителю сконфигурировать необходимый ему образец.

### Имеющиеся проблемы

Исходя из требований, характеристик к системам пожаробезопасности и обстановки на рынке, можно сформулировать проблемы их создания на уровне рядового потребителя:

- 1) ограниченность материальной базы – большинство устройств представлено однотипными извещателями;
- 2) сложность разработки системы – для грамотного ее построения нужно разместить сразу несколько устройств;
- 3) сложность монтажа системы – из-за необходимости организации проводной системы связи и установки ПКП накладываются ограничения на минимальный размер и дизайн помещений;
- 4) сильная зависимость стоимости системы от размеров помещения – при увеличении площади и количества комнат необходимо наращивать количество БСД, БОИ и БС, что ведет к повышению цены;
- 5) отсутствие дружелюбного пользовательского интерфейса – большинство устройств среднего класса цен имеют лишь примитивные системы сигнализации;
- 6) отсутствие развитых интерфейсов параллельной обработки информации – на открытом рынке почти не представлены доступные рядовому пользователю решения, позволяющие создать продвинутую систему пожаробезопасности.

### Пути решения проблем

Сформулируем возможности решения перечисленных трудностей.

1. Разработка сложных устройств, совмещающих несколько датчиков. Это решение позволит увеличить надежность систем, повысить пожаробезопасность и вероятность корректной работы.

2. Создание устройств, совмещающих функции датчика, обработчика и сигнализатора в одном корпусе. Подобные универсальные блоки будут достаточны для обеспечения пожаробезопасности одного помещения, а их сети – любого помещения заданного размера.

3. Применение беспроводных технологий передачи данных. Это позволит избавиться от необходимости прокладки проводов, но появится сложность настройки подобных систем.

4. Снижение цены составных элементов датчиков и компонент путем повышения эффективности производства и создания более совершенных и простых устройств.

5. Внедрение пользовательских программ на персональных компьютерах и смартфонах, позволяющих отслеживать информацию, поступающую из/в систему пожаробезопасности.

Дифференцирование блоков по степени обработки информации. Введение простейших коммутирующих и маршрутизирующих устройств позволит не плодить лишние БОИ, что снизит стоимость сложной системы.

### Заключение

Обеспечение пожаробезопасности остается одним из важнейших направлений как охраны труда, так и обеспечения безопасности жизни граждан. В связи с низкой доступностью сложных и технически развитых систем большинство людей не имеет доступа к возможности создания систем пожаробезопасности.

Полагаем, что с ростом мировых объемов производства и общего уровня обеспеченности населения, а также улучшения существующих технологий создание систем пожаробезопасности для рядового пользователя станет проще и доступнее. Внедрение относительно «молодых» технологий, таких как развитые сети искусственного интеллекта и компьютерного зрения, а также интеграция пользовательских систем в государственную систему мониторинга чрезвычайных ситуаций также положительно скажется на решении обозначенных в тексте статьи проблем.

### Библиографический список

1. Физико-химические основы развития и тушения пожара: учеб. пособие / С. С. Тимофеева, Т. И. Дроздова, Г. В. Плотникова, В. Ф. Гольчевский. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. 178 с.

2. О состоянии защиты населения и территорий российской федерации от чрезвычайных ситуаций природного техногенного характера в 2019 году: гос. докл. / М-во Рос. Фед. по делам гражд. обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. М., 2020. URL: [mchs.gov.ru/dokumenty/4602](https://mchs.gov.ru/dokumenty/4602) (дата обращения: 18.02.2021).

3. Ведерников М. И. Техника безопасности при производстве, хранении и транспортировании аммиака. М.: Химия. 1978. 127 с.

4. Россия в цифрах 2019: крат. стат. сб. / Федер. служба гос. статистики. М., 2020. 549 с.

5. Средний, медианный и модальный уровень денежных доходов населения в целом по России и по субъектам Российской Федерации: обновл. 29.12.2020 г. / Федер. служба гос. статистики. URL: [https://www.gks.ru/free\\_doc/new\\_site/population/bednost/tab1/tab-bed1-2-6.htm](https://www.gks.ru/free_doc/new_site/population/bednost/tab1/tab-bed1-2-6.htm) (дата обращения: 18.02.2021).

6. Интернет-магазин систем безопасности. URL: <https://teko-shop.ru/> (дата обращения: 18.02.2021).

УДК 004.93

**Д. И. Гребенщиков**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**В. Р. Луцев** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

### ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА СПУТНИКОВЫХ ФОТОГРАФИЯХ

Первый снимок земли из космоса был сделан 24 октября 1946 г., он был очень плохого качества, имел низкое разрешение. Но технологии не стояли на месте, и к настоящему времени созданы высокотехнологичные космические системы наблюдений, способные делать фотографии высокого качества и разрешения, это позволяет не только различать объекты, сделанные с высоты спутника, но и отслеживать ситуацию в целом.

Тема исследования связана с мониторингом дорожно-транспортной ситуации по данным спутникового наблюдения. Первоначально необходимо решить задачу распознавания транспортных средств на аэрофотоснимках. Для этого существуют алгоритмы детектирования объектов, различающиеся по цене, эффективности и скорости работы. В последнее время все большую популярность набирают сверточные нейронные сети, архитектуры которых используются не только для нахождения объектов, но и для их классификации. Разработано множество различных моделей сверточных нейронных сетей (СНН), которые могут подойти для обнаружения автомобилей на спутниковых снимках, наиболее популярные и современные Faster R-CNN, R-FCNN, SSD, FPN, Retinanet и YOLOv3. Каждая архитектура имеет сильные и слабые стороны, а выбор модели определяется условиями и требованиями к разрабатываемому проекту. Подходы, используемые СНН для детектирования объектов, можно условно разделить по трем направлениям [1]:

1) модели, которые используют скользящее окно на разных масштабах изображения, поданного на вход;

2) двухступенчатые методы: сначала RegionProposalNetwork сканирует входное изображение и определяет области интереса, после чего данные области классифицируются. Сверточные нейронные сети с такой архитектурой достаточно точны, но требуют высокой вычислительной мощности;

3) одноступенчатые методы. Основное отличие данного подхода от предыдущего состоит в том, что нахождение областей расположения объектов и их классификация происходят в один шаг.

Для определения наиболее подходящего подхода были отобраны три популярные модели сверточных нейронных сетей, которые используются в задаче детектирования объектов на изображениях: SSD, FasterR-CNN, YOLOv3. Перед сравнением каждая СНН была обучена на одном и том же наборе данных Cars Overhead With Context (COWC) [2]. Применяемый в работе датасет включает 32 716 уникальных аннотированных автомобилей и 58 247 уникальных отрицательных примеров. Обучение производилось на GPU с использованием CUDA. Результаты отображены в табл. 1 [2].

Таблица 1

#### Результаты сравнения моделей по mAP (от англ. meanAveragePrecision «средняя точность») и быстродействию (FPS от англ. framespersecond «количество сменяемых кадров за одну секунду»)

Model	mAP, %	FPS
YOLOv3	68,71	19
Faster R-CNN	75,64	3
SSD	71,37	10

Сравнение позволяет не только подтвердить теоретические сведения, но и сделать вывод о том, какую архитектуру лучше использовать: одноступенчатые методы выигрывают по производительности, но уступают в точности. Для решения поставленной задачи основным параметром является точность, лучший ее показатель у FasterR-CNN. Архитектура данной сети представлена на рис. 1 [4].

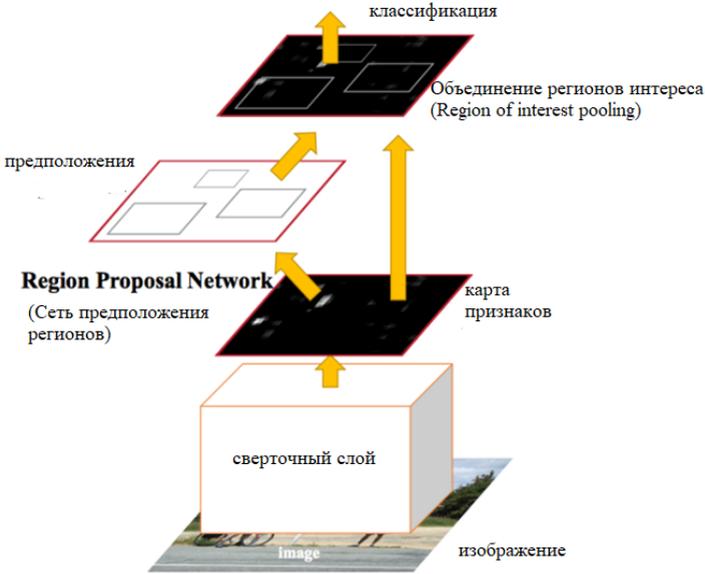


Рис. 1. Архитектура сверточной нейронной сети FasterR-CNN

В рамках сети предположений регионов (RPN) по извлеченным CNN признакам передвигается скользящее окно размером  $n \times n$  (Faster-RCNN использует  $n = 3$ ). Полученные таким образом значения передаются в два параллельных полносвязных слоя. Один из них используется для классификации, которая предсказывает присутствие объекта (не классифицирует объекты, а только определяет их присутствие), а второй уточняет расположение ограничивающей рамки. Выходы этих слоев базируются на так называемых «якорях» –  $k$  рамках для каждого положения скользящего окна, имеющих разные размеры и соотношения сторон. Слой регрессии для каждого такого «якоря» выдает по четыре координаты, корректирующие положение охватываемой рамки. Слой классификации выдает по два числа – вероятности того, что рамка содержит хоть какой-то объект или не содержит. В документации разработчик это иллюстрирует схемой (рис. 2) [4].

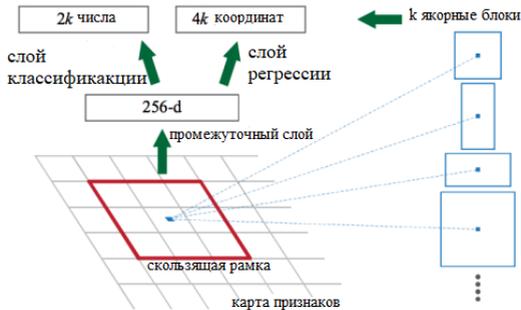


Рис. 2. Сеть предположений регионов (RPN)

Процесс обучения слоя классификации и слоя регрессии объединенный, функция потерь для них является общей. Она представляет собой сумму функций потерь каждого из них с учетом балансирующего коэффициента:

$$L(\{p_i\}, \{t_i\}) = \frac{1}{N_{cls}} \sum_i L_{cls}(p_i, p_i^*) + \lambda \frac{1}{N_{loc}} \sum_i p_i^* L_{reg}(t_i, t_i^*),$$

где  $i$  – номер якоря;  $p_i$  – вероятность нахождения объекта в  $i$ -м якорю;  $p_i^*$  – правильный номер класса (обозначен выше);  $t_i$  – четыре предсказанные поправки к координатам;  $t_i^*$  – ожидаемая (ground truth) поправка к координатам;  $L_{cls}(p_i, p_i^*)$  – бинарная перекрестная функция потерь (los-loss);  $L_{reg}(t_i, t_i^*)$  – функция потерь Хьюбера (активируется только в случае  $p_i^* = 1$ , т. е. если гипотеза содержит какой-либо объект);  $\{p_i\}$  и  $\{t_i\}$  – выходы классификационной и регрессионной модели соответственно;  $\lambda$  – коэффициент для настройки баланса между классификацией и регрессией.

Оба слоя RPN предоставляют только предложения для регионов-кандидатов. Регионы, которые с высокой вероятностью содержат предмет интереса, передаются в модуль обнаружения объекта и спецификации рамки покрытия.

Для разделения признаков, получаемых в СНН, между RPN и модулем детектирования процесс обучения всей сети построен итерационно, в несколько шагов:

- 1) инициализируется и обучается на определение регионов-кандидатов RPN-часть;
- 2) с использованием предлагаемых RPN регионов заново обучается Fast R-CNN часть;
- 3) обученная сеть обнаружения используется при инициализации весов для RPN. Однако общие слои свертки фиксированы, и перенастраиваются только специализированные для RPN слои;
- 4) с зафиксированными сверточными слоями окончательно донастраивается Fast R-CNN.

На данный момент уже существуют разработки, связанные с данной тематикой, но они используют устаревшие архитектуры сверточных нейронных сетей, обладающие более низкой точностью. Например, команда специалистов в 2017 г. в рамках инновационного вызова НАТО разработала проект, использовав архитектуру RetinaNet [5]. В будущем планируется разработка алгоритма, для оценки дорожной-транспортной ситуации на дорогах общего пользования.

### Библиографический список

1. Python Deep Learning: Exploring deep learning techniques and neural network architectures with PyTorch, Keras, and TensorFlow / Vasilev I., Slater D., Spacagn G. et al. 2nd ed. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd. 2019.155 p.
2. Cars Overhead With Context (COWC). URL: <https://gdo152.llnl.gov/cowc/> (дата обращения: 01.12.2020).
3. Faster R-CNN: A Step towards Real-Time object Detection URL: <https://towardsdatascience.com/faster-r-cnn-a-step-towards-real-time-object-detection-98c186732a69> (дата обращения: 01.12.2020).
4. FasterR-CNN: архитектура современной нейронной сети для сегментации объектов на изображениях. URL: <https://habr.com/ru/post/421299/> (дата обращения: 30.11.2020).
5. Object Detection with Deep Learning on Aerial Imagery. URL: <https://medium.com/data-from-the-trenches/object-detection-with-deep-learning-on-aerial-imagery-2465078db8a9> (дата обращения: 15.05.2020).

УДК 629.7.054

**О. В. Дудина**

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

**В. К. Пономарев** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## НАВЕДЕНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ЦЕЛЬ ПО МЕТОДУ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО СБЛИЖЕНИЯ

### Введение

Метод пропорционального сближения является в настоящее время основным при решении задач наведения летательного аппарата (ЛА) на подвижные и неподвижные цели [1–3]. Реализуется он преимущественно в системах самонаведения, которые строятся на базе специального измерителя, определяющего взаимное угловое положение ЛА и цели в пространстве (координатора цели).

Принципиальная особенность метода заключается в том, что закон наведения формируют как функцию управления перегрузками ЛА, пропорциональную измеренной с помощью координатора скорости вращения линии визирования в пространстве – линии, соединяющей ЛА и цель. От выбора коэффициента пропорциональности, называемого навигационным коэффициентом, во многом зависит характер траектории наведения и ее параметры, такие как кривизна, текущая перегрузка и промах [2].

Системы самонаведения относятся к классу нестационарных систем с особой точкой, точного решения уравнений которых в общем случае не существует [4]. Поэтому основным инструментом исследования процессов самонаведения служат методы математического и полунатурного моделирования. В работе представлены результаты исследования влияния величины навигационного коэффициента на основные параметры траектории наведения, полученные методом математического моделирования. Они актуальны для упрощенного варианта задачи, в котором не учитываются динамические характеристики координатора и система управления перегрузками, т. е. на основе кинематического анализа процесса наведения.

### Математическая модель кинематики системы самонаведения

Модель кинематики самонаведения может быть представлена следующей системой уравнений:

$$\Theta = \int_0^t \dot{\Theta} dt + \Theta_0; \quad (1)$$

$$\dot{\Theta} = K_H \dot{\varphi}; \quad (2)$$

$$r = \int_0^t \dot{r} dt + r_0; \quad \varphi = \int_0^t \dot{\varphi} dt + \varphi_0; \quad (3)$$

$$\dot{r} = -V \cos(\varphi - \Theta) + V_u \cos(\varphi - \Theta_u); \quad (4)$$

$$\dot{\varphi} = \frac{1}{r} [V \sin(\varphi - \Theta) - V_u \cos(\varphi - \Theta_u)]; \quad (5)$$

$$x = r \cos \varphi; \quad (6)$$

$$y = r \sin \varphi; \quad (7)$$

$$r_0 = \sqrt{(x_u - x)^2 + (y_u - y)^2}; \quad (8)$$

$$\varphi_0 = \operatorname{arctg} \frac{y_u - y}{x_u - x}; \quad (9)$$

$$n_y = \frac{V}{g} \dot{\Theta}; \quad (10)$$

$$h = \frac{r^2 \dot{\varphi}}{\dot{r}}, \quad (11)$$

где  $\Theta$  – угол наклона траектории;  $\dot{\Theta}$  – угловая скорость наклона траектории;  $\Theta_0$  – начальное значение угла наклона траектории;  $K_H$  – навигационный коэффициент;  $\dot{\varphi}$  – угловая скорость вращения линии визирования;  $r$  – дальность до цели;  $\dot{r}$  – скорость изменения дальности;  $r_0$  – начальное значение дальности;  $\varphi$  – угол поворота линии визирования;  $\varphi_0$  – начальное значение угла визирования;  $V$  – скорость движения ЛА;  $V_c$  – скорость движения цели;  $\Theta_c$  – угол наклона траектории цели;  $x, y$  – координаты для построения траектории;  $x_c, y_c$  – координаты цели;  $N_y$  – потребная нагрузка;  $g$  – ускорение силы тяготения.

В системе уравнения (1) и (2) описывают метод наведения, (3)–(9) – кинематику взаимного движения ЛА и цели, уравнения (8) и (9) используются для вычисления потребной нагрузки и промаха. На основе системы уравнений (1)–(9) разработана программа моделирования системы самонаведения в среде MATLAB – Simulink, с помощью которой получены приведенные ниже результаты.

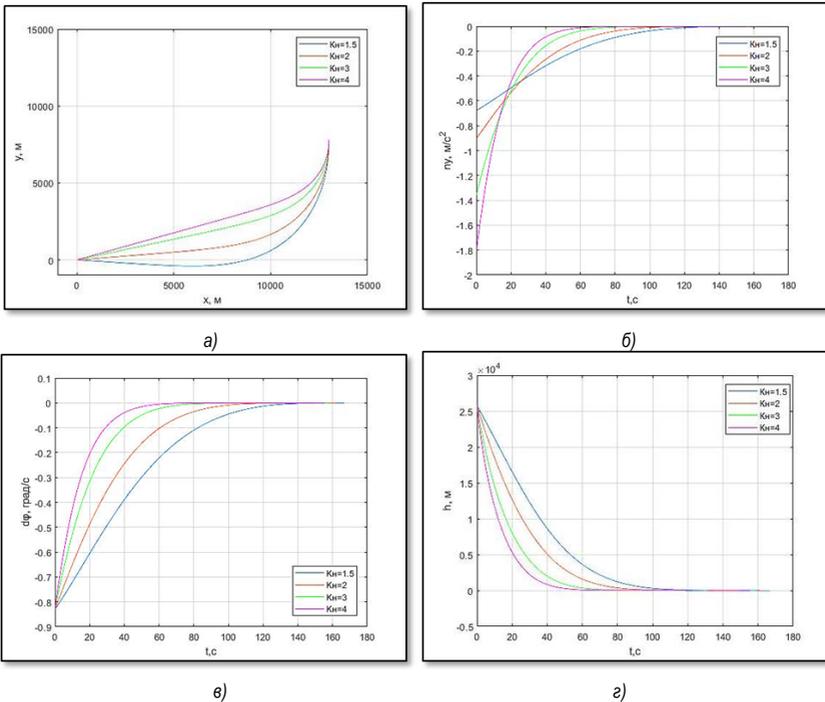


Рис. 1. Графики при движении ЛА и цели в одном направлении:

- а) траектории полета; б) зависимости перегрузок от времени; в) зависимости угловых скоростей вращения линии визирования от времени; г) зависимости промахов от времени

### Результаты моделирования

На рис. 1 представлено семейство графиков траекторий полета, перегрузок, угловой скорости вращения линии визирования и промахов при  $K_H = 1.5, 2, 3, 4$ .

### Заключение

Анализируя полученные графические данные кинематического анализа системы самонаведения, можно сделать вывод о существенном влиянии навигационного коэффициента на характер траектории наведения и ее параметры. При увеличении навигационного коэффициента траектория наведения стремится к форме прямой (уменьшается кривизна), угловая скорость вращения линии визирования и промах быстрее достигают нулевого значения, а значение перегрузки в начальный момент самое высокое, но быстрее сводится к нулю.

Результат моделирования показал, что при большем значении  $K_H$  ЛА совершает основной маневр на начальных участках полета, а в дальнейшем траектория близка к прямой линии. При  $K_H < 2$  основной маневр совершается на заключительной фазе наведения. В этом случае раньше наступает граница устойчивости и систему наведения приходится отключать, что ведет к увеличению конечного промаха.

### Библиографический список

1. Татарченко А. Е. Управляемые снаряды и ракеты. М.: ДОСААФ, 1962. 87 с.
2. Аранович Г. П. Управление и наведение самолетов и ракет. М.: МАИ, 2013. 27 с.
3. Open Library: Методы наведения ракет. Метод пропорционального сближения. URL: [http://oplib.ru/menedzhment/view/437836\\_metody\\_avedeniya\\_raket\\_metod\\_proporcional\\_nogo\\_sblizheniya](http://oplib.ru/menedzhment/view/437836_metody_avedeniya_raket_metod_proporcional_nogo_sblizheniya) (дата обращения: 02.04.2021).
4. Богословский С. В. Теория нестационарного управления. СПб.: ГУАП, 2011. 256 с.

УДК 681.7.014.3

**А. И. Задириенко**

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

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

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАЕКТОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ ОПТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖИТЕЛЯ

### Введение

Использование ПО для детектирования и съема параметров полета БЛА обуславливается как общей безопасностью охраняемых объектов, так и информационной. МиниБЛА могут осуществлять разведывательные функции, для противодействия им в настоящее время используется широкий спектр средств: радиотехнические комплексы (РТК) – стационарные, мобильные, переносные; стрелковое оружие; специальные средства – наброс сетей, распыление клеящих веществ; дрессированные птицы. Однако миниБЛА становятся все более «умными» и помехозащищенными, а со временем получают возможности навигации по показаниям оптических сенсоров, тогда радиотехнические комплексы неизбежно потеряют свою эффективность. На первое место выйдет вопрос наиболее надежного обнаружения миниБЛА, что могут обеспечить оптические обнаружители. К их преимуществам можно отнести возможность распознавания движущегося объекта, видимый размер которого крайне сложно отследить человеческим глазом. Безусловно, существуют и недостатки: на точность распознавания объекта влияют погодные условия, время суток, блики, наличие иных движущихся объектов в зоне видимости камер. В ходе обработки изображения могут быть так называемые выбросы – разница между кадрами, которая не относится к объектам наблюдения.

### Методы обнаружения

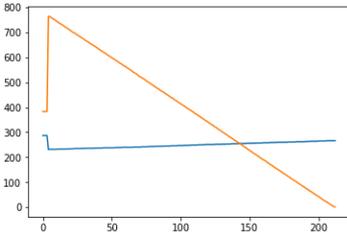
В настоящее время большое распространение получили миниБЛА типа коптер и сверхлегкий БЛА [1]. Приведем как пример ТТХ основных классов БЛА. Бытовой коптер – БЛА типа коптер, доступный для приобретения, обладает пластмассовым корпусом, высота полета не более 500 м, дальность не более 1 км, постоянное управление оператором, команды управления и передача данных в разрешенном диапазоне, размеры до 20–50 см.

В программном комплексе используется алгоритм вычитания фона  $k$  Nearest Neighbor (KNN) – метод  $K$  ближайших соседей, простейший метрический классификатор, основанный на оценивании сходства объектов (рис. 1). Классифицируемый объект относится к такому классу, к которому принадлежит ближайший сосед обучающей выборки. Для повышения надежности классификации объект относится к тому классу, которому принадлежит большинство из его соседей –  $K$  ближайших к нему объектов из обучающей выборки. В библиотеке Open CV используется взвешенный KNN [2]. При взвешенном способе во внимание принимается не только количество попавших в область определенных классов, но и их удаленность от нового значения. Для каждого класса  $j$  определяется оценка близости:

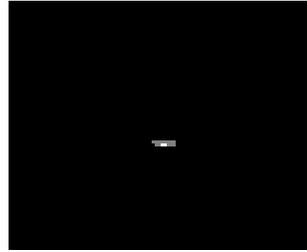
$$Q_j = \sum_{i=1}^n \frac{1}{d(x, a_i)^2}, \quad (1)$$

где  $d(x, a_i)$  – расстояние от исследуемого объекта  $x$  до объекта  $a_i$  класса  $j$ . Объекту  $x$  будет присвоен такой класс, который ближе всего.

Входящий видеопоток кадра проходит пороговую обработку с использованием шкалы серого. Таким образом, случайные блики и движения не учитываются, так как классифицируются как общий фон.



а)



б)

Рис. 1. Результаты использования метода KNN: а) найденная траектория объекта в экранных координатах б) изображение найденного подвижного объекта после вычитания фона

После получения объекта, отделенного от фона, необходимо обозначить его контуры. Границы объектов на изображении в значительной степени уменьшают количество данных, которые необходимо обработать, и в то же время сохраняют важную информацию об объектах на изображении, их форму, размер, количество. Главной особенностью техники обнаружения границ является возможность извлечь точную линию с хорошей ориентацией.

### Метод оконтуривания

Входное изображение преобразуется в изображение с контурами объектов. В обработке изображений с помощью выделения контура рассматривают важные изменения уровня яркости на изображении, физические и геометрические параметры объекта в кадре. Обнаружение границ – наиболее популярный подход для выявления значительных неоднородностей. Метод обнаружения границ оператором Собеля основан на приближении к производной [3]. Это позволяет находить край в тех местах, где градиент самый высокий. Оператор Собеля использует область изображения 3×3:

$$\begin{pmatrix} z_1 & z_2 & z_3 \\ z_4 & z_5 & z_6 \\ z_7 & z_8 & z_9 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Видоизменение оператора Собеля от похожего оператора Превитта заключается в введении весового коэффициента 2 для средних элементов:

$$G_x = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3),$$

$$G_y = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7). \quad (3)$$

Это увеличенное значение используется для уменьшения эффекта сглаживания за счет придания большего веса средним точкам:

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Рассмотренные маски применяются для получения составляющих градиента по осям OX и OY. Для вычисления величины градиента эти составляющие необходимо использовать совместно:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}. \quad (5)$$

Предложенный подход позволяет увеличить дальность классификации цели как миниБЛА за счет выделения и обработки траекторной информации, одновременно с этим повысить вероятность классификации цели как миниБЛА за счет использования дополнительной графической информации.

### Библиографический список

1. Якушников Ю. Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: М.: Логос, 1999. 480 с.
2. KaewTraKulPong P., Bowden R. An Improved Adaptive Background Mixture Model for Real-time Tracking with Shadow Detection. Springer, 2002.
3. Торшина И. П. Компьютерное моделирование оптико-электронных систем первичной обработки информации. М.: Университет. книга: Логос. 2009. 248 с.

УДК 629.78

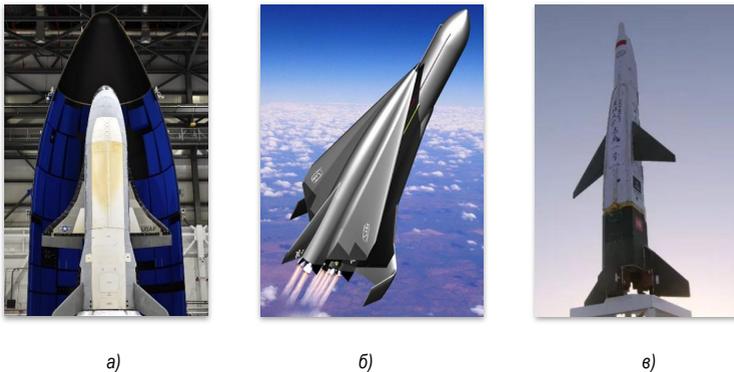
**Е. А. Королев**

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

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

**АНАЛИЗ ВОПРОСА РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБУЕМЫХ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА КОСМОПЛАНА ПРИ РЕШЕНИИ ЦЕЛЕВЫХ ЗАДАЧ**

Цикличное развитие науки и техники позволило на современном этапе вернуться к проектам космоланов 70- и 80-х годов прошлого века на новом технологическом уровне. Теперь разработкой аппаратов такого класса занимаются не только государства – лидеры космической гонки, но и частные исследовательские подразделения. При этом носители представляются универсальными, под любой тип полезной нагрузки. Различные задачи, выполняемые космическим аппаратом, определяют соответствующие требования к бортовому навигационному комплексу, в том числе для целевой нагрузки. Актуальна задача построения навигационного комплекса с такими точностными характеристиками, которые бы позволили реализовать весь диапазон предполагаемых целевых нагрузок и, соответственно, решаемых задач. Примеры существующих проектов космоланов США, ЕС и КНР представлены на рис. 1. В Российской Федерации разработкой космолана занимается НПО «Молния». О данном проекте известно только то, что его должны представить к 2026 г.



*Рис. 1. Фотография существующего и предполагаемый вид разрабатываемых космоланов: а) MBKA X-37b; б) MBKA Spaceliner; в) MBKA Tengyun*

Изучение вопроса разработки методики определения требуемых точностных характеристик навигационного комплекса космолана при решении целевых задач можно разделить на исследование двух общих вопросов: использование межсредних летательных аппаратов и характеристики пилотажно-навигационных комплексов летательных аппаратов.

Общие вопросы использования межсредних летательных аппаратов можно рассмотреть с точки зрения государственной политики в области развития средств выведения, а именно историю и перспективы развития, решаемые целевые задачи.

Вопросы характеристик пилотажно-навигационных комплексов летательных аппаратов предлагается рассмотреть, проанализировав пилотажно-навигационные комплексы беспилотных летательных аппаратов и навигационные комплексы с целевой нагрузкой, а также их взаимосвязь [1]. В современных условиях обеспечение потребителя высокоточной координатной информацией стало одной из ключевых задач, качественное решение которой служит залогом успеха при решении многих научно-

прикладных вопросов. Известно, что одним из важнейших требований к системе радиолокационного картографирования является обеспечение высокой точности навигационной привязки носителя РЛС обзора земной поверхности с синтезированием апертуры [2]. Таким образом, целесообразно в качестве целевой нагрузки при исследовании использовать радиолокатор с синтезированной апертурой (РСА). Космоплан с такой целевой нагрузкой позволяет получать радиолокационные изображения поверхности планеты и находящихся на ней объектов независимо от метеорологических условий и уровня естественной освещенности местности. Разрешающая способность такого аппарата, т. е. качество получаемых изображений, зависит от погрешности местоопределения космического аппарата на орбите.

В табл. 1 представлены тактико-технические требования некоторых космических аппаратов (КА) с РСА [3]. Рассматриваются РСА Европейского космического агентства ASAR, созданный индийской ISRO RISAT-1 и разрабатываемый ОАО «Концерн «Вега» «Кондор-Э». Внешний вид аппаратов с раскрытой антенной РСА представлен на рис. 2.

Таблица 1

Тактико-технические характеристики РСА

Параметр	Радиолокатор с синтезированной апертурой		
	ASAR	RISAT-1	«Кондор-Э»
Масса, кг	8211 (КА), 832 (РСА)	1858	950 (КА), 250 (РСА)
Высота орбиты, км	Около 790	536	Около 500
Наклонение орбиты, град	98,55	97	До 98
Центральная частота, МГц	5 331	5 350	3 191
Полоса обзора, км	405	400	До 500
Полоса съемки, км	405	120/240	120

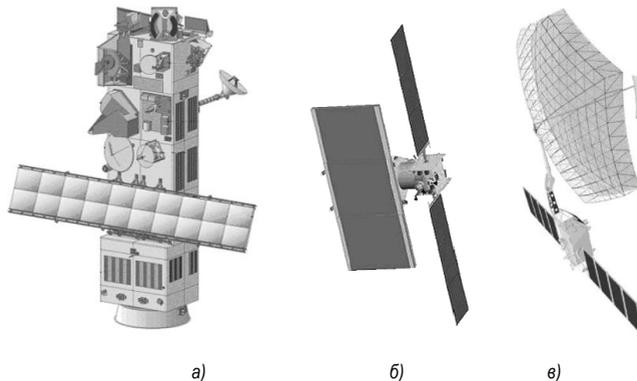


Рис. 2. Внешний вид космических аппаратов в раскрытой антенной РСА: а) ASAR; б) RISAT-1; в) «Кондор-Э»

С целью обоснования требований к точности определения координат космоплана – носителя РСА необходимо получить зависимости допустимых ошибок системы навигации и ориентации для достижения требований по точности привязки изображений.

Рассмотрев актуальность и этапы исследования, можно определить и научную задачу, которая заключается в следующем: если обобщить требования к точностным характеристикам навигационного комплекса космоплана с целевой нагрузкой и оптимизировать необходимые характеристики, воспользовавшись аппаратом теории оптимизации, то представится возможным предложить такой состав навигационного комплекса космоплана, который обеспечит выполнение всего комплекса возложенных на него задач.

Таким образом, на современном этапе развития космической техники актуальны разработки космопланов. В данной работе были рассмотрены значимость, этапы исследования и проблемы разработки методики определения требуемых точностных характеристик навигационного комплекса космоплана при решении целевых задач.

### Библиографический список

1. Краснов А. М. Основы анализа и синтеза авиационных прицельно-навигационных систем: учеб. для адъюнктов. М.: Изд. ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, 2009. 319 с.
2. Обиралов А. И., Лимонов А. Н., Гаврилова Л. А. 0-15 Фотограмметрия и дистанционное зондирование. М.: Колосс, 2006. 334 с.
3. Обзор современных радиолокаторов с синтезированной апертурой космического базирования и анализ тенденций их развития / М. И. Нонишвили, И. В. Крючков, Г. А. Лесников [и др.] // Вестн. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2012. С. 94–114.

УДК 629.7.054

**А. А. Переладов**

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

**А. М. Павлов** – старший преподаватель – научный руководитель

## КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ПРИЕМНИКОВ ВОЗДУШНОГО ДАВЛЕНИЯ

### Введение

Важным параметром для системы управления летательным аппаратом (ЛА) является информация о скорости его передвижения относительно воздушной среды.

Ритмично развивающаяся в последнее время беспилотная техника требует совершенствования точностных характеристик и конструктивной модернизации датчиков аэрометрических параметров (ДАП). ДАП во многом определяют точностные и эксплуатационные характеристики системы воздушных сигналов (СВС). К ним относятся диапазоны измерения, точность, габаритные размеры.

Измерение скорости беспилотного летательного аппарата (БПЛА) осуществляется с помощью приемников воздушных давлений (ПВД). За основу ПВД была взята трубка Пито – Прандтля [1] (рис. 1). Входное отверстие воспринимает напор встречного воздушного потока – полное давление. Статическое давление отбирается с помощью боковых отверстий, расположенных на цилиндрической части приемника.

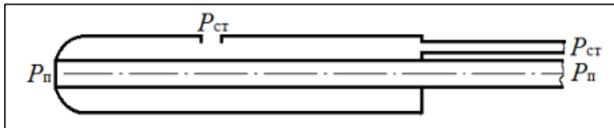


Рис. 1. Трубка Пито – Прандтля для определения скорости потока

Динамическое давление вычисляется по формуле

$$P_d = P_{\pi} - P_{ст} \quad (1)$$

Следовательно, скорость исследуемого потока

$$V = \sqrt{\frac{2 \times P_d}{\rho}}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность потока жидкости или газа.

Для безопасного пилотирования на БПЛА устанавливаются несколько ПВД (рис. 2). Это необходимо для предотвращения возможных аварий в случае отказа основного приемника.



Рис. 2. Разнесенные ДАП на БПЛА Bayraktar TB2

На некоторых БПЛА из-за конструктивных, эксплуатационных и экономических особенностей применяются совмещенные ПВД (рис. 3). Так уменьшаются габариты и масса, улучшается аэродина-

мика БПЛА за счет сокращения количества приборов за пределами его обшивки и удобства в эксплуатации.



Рис. 3. Совмещенный ДАП (ПВД и датчик угла атаки) на БПЛА MQ-1 Predator

Одна из актуальных проблем эксплуатации ПВД – обледенение. Образование льда на корпусе и входе приемного отверстия ПВД изменяет его аэродинамику и искажает скоростные характеристики [2]. Это может привести к пилотажно-навигационным ошибкам в управлении ЛА, вплоть до принятия неверного решения с катастрофическими последствиями. Поэтому приемники имеют встроенную систему электрообогрева для предотвращения обледенения. На рис. 4 изображен один из вариантов системы электрообогрева, куда входят электронагревательный элемент (2), металлическая трубка электронагревательного элемента (3), для отвода влаги имеется сливное отверстие (1), которое, однако, оказывает негативное влияние на погрешность измерений полного давления.

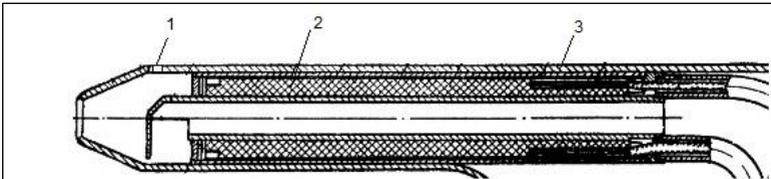


Рис. 4. Схема системы электрообогрева ПВД

К противообледенительной системе предъявляется ряд требований:

- 1) надежность функционирования;
- 2) контроль работоспособности;
- 3) минимально необходимая мощность.

ПВД – важная часть СВС. Для точного измерения давления на различных БПЛА необходимо экспериментально подбирать входные приемные отверстия и их расположение под рабочий диапазон скоростей, углов атак и скольжения [3], поскольку ПВД должны воспринимать давление с наименьшей погрешностью и иметь минимальную чувствительность к скосам потока.

На рис. 5 приведены возможные варианты входных отверстий приемника полного давления. Из результатов исследования видно, что для наилучшего восприятия полного давления (при  $M = 0,95$ ) нужно использовать приемник с протоком, а также с наибольшим диаметром приемного отверстия.

Следует иметь в виду, что чувствительность приемников статического давления к скосам потока зависит от формы и количества приемных отверстий, а также от их расположения относительно плоскости скоса. На рис. 6 приведены схемы приемников статического давления с различными вариантами приемных отверстий.

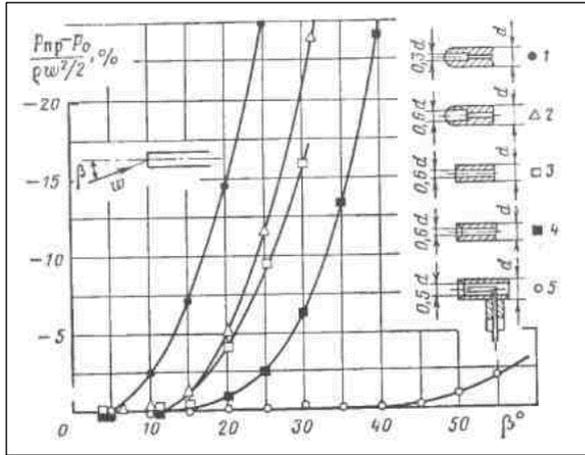


Рис. 5. Чувствительность приемников полного давления к скосам потока при  $M = 0,95$  (приемники 1–4 без протока, приемник 5 – с протоком)

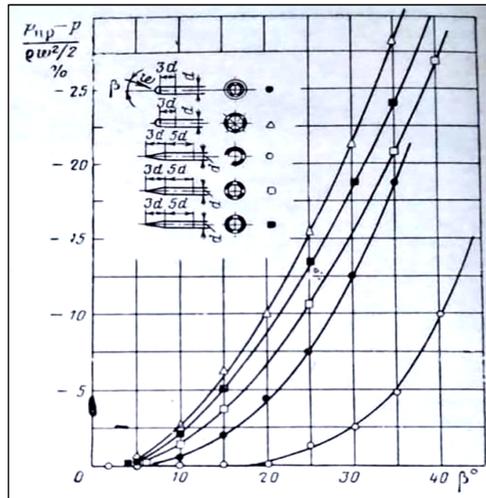


Рис. 6. Варианты расположения приемных отверстий статического давления

### Заключение

Таким образом, для обеспечения БПЛА точной информацией о воздушном давлении ПВД должен иметь минимальную чувствительность к скосам потока. Для уменьшения погрешности измерений существуют различные конструктивные решения.

Минимальная погрешность воспринимаемого полного давления при косом обтекании зависит от формы и размеров входного отверстия. Для уменьшения чувствительности приемников статического

давления необходимо располагать приемные отверстия так, чтобы при косом обдуве давление в одних отверстиях уравновешивалось разрежением в других.

### **Библиографический список**

1. Моисеев В. Н. Разработка и исследование датчиков аэрометрических параметров с повышенными точностными характеристиками. Ульяновск, 2014. 23 с.
2. Ефимов И. П. Авиационные приборы. Ульяновск: УлГТУ, 2018. 255 с.
3. Петунин А. Н. Методы и техника измерений параметров газового потока. М.: Машиностроение, 1972. 332 с.

УДК 004.75

**А. А. Петров**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**Е. А. Суворова** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИЙ MESSAGE PASSING INTERFACE**

MPI – это программный интерфейс для обмена сообщениями. Он призван стандартизировать и упростить написание программ, основанных на технологии параллельного программирования, а также повысить качество продуктов, использующих параллельные вычисления.

Стандарт MPI содержит детальное описание всех необходимых аппаратных и программных интерфейсов для реализации на пользовательской платформе. Такой подход предоставляет высокую степень кроссплатформенности написанных с помощью MPI продуктов. Стандартизация MPI проходит на открытом MPI-форуме, где внесенные сообществом предложения разбираются и дорабатываются для включения в официальную документацию [1].

Развитие MPI как открытого стандарта позволяет сообществу поддерживать высокий уровень качества применяемых решений в его реализациях и хороший темп развития самого стандарта. Очередной черновой вариант 4-й версии стандарта был опубликован летом 2020 г. [1], а уже в начале 2021-го публикуются альфа-версии библиотек с его поддержкой, в частности MPICH версии 4.0 a1., выпуск которой датируется 26 февраля 2021 г. [2].

Современные решения можно грубо разделить на два лагеря: бесплатные и платные реализации MPI. Первые концентрируются на максимальной кроссплатформенности готовых продуктов и быстрой имплементации поддержки новейшей версии стандарта, тем самым упуская возможные оптимизации. Платные решения концентрируются на модификации и доработке бесплатных под конкретные аппаратно-программные комплексы, выполнение различных оптимизаций, а также предоставление поддержки клиентам. Тем самым разработчики бесплатных решений занимаются развитием теоретических возможностей и обеспечивают набор инструментов для применения всеми, а разработчики платных – оптимизацией, позволяя применять набор инструментов наиболее эффективно.

Другой подход разделения современных решений – ориентированность на системы с общей памятью или на системы с разделенной памятью.

Реализации, ориентированные на системы с общей памятью, более выгодны в многопроцессорных системах и без особых модификаций могут работать на однопроцессорных, а поддержка общей памяти не мешает использовать другие технологии, разработанные для распределенных систем. Самое известное представление такой реализации MPI – библиотеки OpenMP базируется на применении набора директив, библиотечных функций и переменных окружения. Программа разбирается на последовательные и параллельные области, в последних создаются отдельные потоки для вычислений и при выходе они уничтожаются [3]. Все предоставляемые библиотекой Open MP инструменты обязаны находиться в параллельной области с указанным набором переменных общей памяти. Обозначить такую область можно с помощью директивы `#pragma omp parallelshared ([itemslist]) {}`.

Реализации, ориентированные на системы с распределенной памятью, активно используют обмен сообщениями, объединяя вычислительные модули, в некие области связи пакета MPI и в основном используются в кластерах и суперкомпьютерах [4]. В списке top 500 по состоянию рейтинга на ноябрь 2020 г. 6 из первых 10 суперкомпьютеров поддерживают и используют различные реализации MPI для систем с распределенной памятью [5]. Самые известные представители этих реализаций – MPICH и intel MPI.

В состав программного инструментария MPI, для распределенных систем входят как минимум два обязательных компонента: библиотека программирования для используемого языка и среда исполнения с загрузчиком исполняемых файлов [4]. Такие решения требуют указывать желаемое количество процессов при запуске на выполнение программы и их число во время работы программы меняться не может.

Библиотека программирования обязана содержать общие процедуры MPI, а также наборы функций, разделяемые на блокирующие – блокирующие исполнение до выполнения операции, локаль-

ные – не иницирующие пересылки данных между процессами, коллективные – обязательно вызванные всеми процессами в наборе, который передается им как аргумент. Когда наборы функции отвечают за предоставление инструментов для обработки данных, синхронизации процессов и различных типов пересылок данных между процессами, общие процедуры MPI предоставляют возможность взаимодействия с библиотекой: инициализация и завершение работы, а также запрос специфичной информации для конкретного процесса.

Как и с OpenMP, все библиотеки поддержки MPI требуют специфически организовывать взаимодействия с ними, но, в отличие от OpenMP, где можно создать несколько независимых параллельных областей, в таких решениях поддерживается только единственное разделение на процессы, что имеет смысл при работе в распределенной среде. Стандарт требует, чтоб первой функцией из библиотеки обязательно была `MPI_Init`, отвечающая за инициализацию переменных библиотеки и среды исполнения, а последней – `MPI_Finalize`, отвечающая за закрытие библиотеки и среды исполнения, также перед обращением к этой функции процесс должен завершить все операции обмена сообщениями. Все остальные взаимодействия с библиотекой разрешены в произвольном порядке между вызовами рассмотренных ранее функций.

Будущее параллельных вычислений и стандарта MPI как одного из их ярчайших представителей довольно перспективно. Уже сейчас MPI используется в различных сферах, от машинного обучения до предсказания погоды, и в будущем область его применения будет только расширяться.

### Библиографический список

1. MPIForum. URL: <https://www.mpi-forum.org>. (дата обращения: 15.04.2021).
2. MPICH. URL: <https://www.mpich.org/>. (дата обращения: 17.04.2021).
3. Горбачев Ф. С., Сыщиков А. Ю., Шейнин Ю. Е. Open MP: интерфейс для SMP-архитектур. СПб.: ГУАП, 2020. 20 с.
4. Сыщиков А. Ю., Улудинцева А. И., Шейнин Ю. Е. MPI: Message Passing Interface. СПб.: ГУАП, 2020. 29 с.
5. TOP 500 The List. URL: <https://www.top500.org/lists/top500/2020/11/> (дата обращения: 19.04.2021).

УДК 004.042

**А. Ю. Петров**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**В. Л. Оленев** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМАЛЬНОЙ МЕТОДИКИ NETWORKCALCULUS  
К АНАЛИЗУ КОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ**

В современном информационном обществе коммуникационные сети имеют огромное распространение в различных сферах технологической отрасли. Сетевые инженеры тратят немалые усилия для их исследования и анализа.

В предыдущей работе было рассмотрено несколько методик анализа сетей и осуществлена попытка выявить лучшую из них. В итоге было установлено, что универсального подхода для полного анализа сетей нет. Каждая методика предлагает собственную область исследования поведения сетей и реализацию ее анализа. Тем не менее из всех рассмотренных подходов можно выделить Network Calculus как наиболее полезную методику для получения численных характеристики линий связи, перегрузок, передачи трафика. Применение Network Calculus позволяет доказательно определить различные параметры сети, а также, что не менее важно, рассматривает проблему эффективной композиции оценок для задержки отдельных элементов сети при получении итоговой оценки как наиболее приоритетную.

**Основы сетевого исчисления**

Сетевое исчисление (СИ) – ряд математических методов, направленных на обеспечение глубокого анализа проблем потока данных, с которыми мы сталкиваемся в организации сети. Благодаря ему мы в состоянии понять некоторые фундаментальные свойства интегрированных сетей обслуживания, управления потоком данных, подойти к определению размеров задержки или буфера [1].

Сетевое исчисление изучает зависимость между характеристиками отдельных элементов коммутационной сети и качеством сервиса, который предоставляется проходящим через эту сеть потокам данных. В основе данной теории лежит идея получения детерминированных оценок путем рассмотрения граничных сценариев функционирования отдельных частей сети и комбинирования этих сценариев между собой. Указанный подход может быть использован, например, для расчета наихудшего качества сервиса, которое может быть предоставлено соединению при прохождении через сеть с заданными характеристиками или, наоборот, для определения минимальных требований к элементам сети, при выполнении которых заданные потоки обязательно будут обслужены с надлежащим качеством.

Для моделирования сети при помощи СИ необходимо определить несколько параметров.

1. Разбиение сети на обработчиков. Обработчик – логически целостный компонент, выполняющий преобразования потоков данных. Разные обработчики могут моделировать элементы сети различного масштаба, начиная от физической линии передачи данных и очереди пакетов внутри сетевого устройства и заканчивая отдельными коммутаторами.

2. Описание обработчиков. Поведение каждого обработчика в сети задается кривой сервиса, которая определяет его производительность.

3. Описание потоков данных. Для каждого потока определяется последовательность его передачи через обработчиков и кривая нагрузки, которая описывает характерные для него ограничения на скорость поступления данных в сеть [2].

Для моделирования обработчиков и потоков данных сетевое исчисление использует накопительные функции времени, которые выражают общее количество информации, переданной этими модельными сущностями с момента начала отсчета. Множество  $\mathcal{F}$  накопительных функций представляет собой множество всевозможных неубывающих и непрерывных слева функций, определенных при неотрицательных значениях аргумента, графики которых проходят через начало координат.

$$\mathbb{F} = \{ f: \mathbb{R}_{\geq 0} \rightarrow \mathbb{R}_{\geq 0} \cup \{+\infty\} \}.$$

**Отставание и задержка передачи данных**

Функция прибытия/отправки потока данных для обработчика  $S$  – накопительная функция  $A \in \mathcal{F}$  ( $D \in \mathcal{F}$ ). Она описывает отношение количества данных потока, поступивших на этот обработчик / переданных этим обработчиком, ко времени. При получении данных каждый обработчик  $S$  сопоставляет функции прибытия функциям отправки. Соответственно обработчик может быть описан перечислением соответствующих ему пар вида  $\langle A, D \rangle$  и задан отношением  $S \subset \mathcal{F} \times \mathcal{F}$  [2].

После получения потока данных обработчики способны временно удерживать информацию внутри себя. Зависимость объема хранящихся в обработчике  $S$  данных от времени называется его отставанием  $b(t)$  и определяется разностью функций прибытия и функций отправки по формуле

$$b(t) = A(t) - D(t).$$

Так как обработчик не может передавать данные до их получения, в каждый момент времени  $t$  значение его функции прибытия превышает значение его функции отправки, оно называется периодом отставания. Период отставания, будучи временным интервалом, строго положительн. Если момент  $t$  находится внутри него  $[SBP(t);EBP(t)]$ , то его границы определяются формулами

$$SBP(t) = \sup\{u \leq t \mid A(u) = D(u)\}$$

$$EBP(t) = \inf\{u \geq t \mid A(u) = D(u)\}$$

Задержка  $d(t)$  обработчика – это время, которое порция данных, поступившая в  $S$  в момент времени  $t$ , проведет внутри него. При обслуживании данных по дисциплине FIFO задержку можно представить через функции прибытия и отправки функцией (рис. 1)

$$d(t) = \inf\{\tau \geq 0 \mid A(t) \leq D(t + \tau)\}.$$

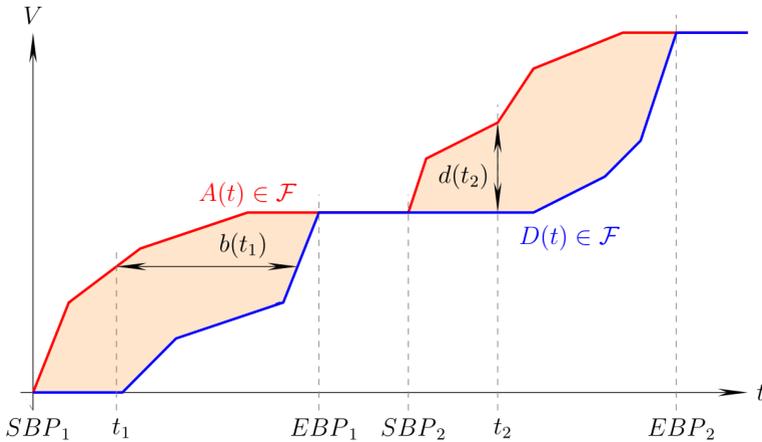


Рис. 1. Графическое представление обслуживания потока

**Описание обработчиков с помощью кривых сервиса и кривых нагрузки**

Несмотря на возможность описания обработчиков через перечисление пар функций прибытия и отправки, подобный вариант неудобен с практической точки зрения. Более естественно определение обработчиков с помощью функций, отражающих зависимость между поступлением и передачей полу-

ченных данных. Функции подобного рода описывают сервис, с которым обработчик обслуживает поступивший на него поток данных. Данные функции потому и называются сервисными кривыми.

Так как функция производительности  $P$  позволяет вычислять функцию отправки для произвольной функции прибытия, то обработчик  $S$  может быть задан без явного перечисления всех удовлетворяющих ему пар вида  $(A, D)$ . Однако на практике количество обслуженных обработчиком данных часто зависит не только и не столько от времени, сколько от его состояния, точные изменения которого могут быть тяжело предсказуемыми. Поэтому для описания обработчиков обычно используется зависимость объема данных, которые они потенциально способны обработать, не от текущего времени, а от длительности интервала их обслуживания [3].

Кривая производительности обработчика  $S$  – это такая функция  $\beta_p \in \mathcal{F}$ , что для каждого временного интервала длины  $\tau \geq 0$  величина  $\beta_p(\tau)$  не превышает объема данных, который обработчик способен обработать в течение этого интервала:

$$\forall t : \forall \tau : P(t + \tau) - P(t) \geq \beta_p(\tau).$$

Кривая производительности дает возможность построить нижнюю оценку функции отправки обработчика по функции прибытия при помощи формулы

$$D(t) \geq \inf_{s \leq t} \{A(s) + \beta_p(t - s)\}.$$

Такую зависимость можно получить, используя и менее строгие предположения об обработчике. Например, вместо ограничения функции производительности  $P$  достаточно ограничить непосредственно функцию  $D$ .

Строгая кривая сервиса обработчика – это такая функция  $\beta_s \in \mathcal{F}$ , что в процессе обслуживания потоков с функцией прибытия  $A$  и функцией отправки  $D$  в течение каждого периода отставания  $[s; t]$  элемент  $S$  обрабатывает по меньшей мере  $\beta_s(t - s)$  данных:

$$D(t) - D(s) \geq \beta_s(t - s).$$

Поскольку функция отправки обработчика существенно зависит от функции прибытия, то ввести подобного рода ограничения вне периодов отставания не имеет смысла. Внутри периодов отставания объем переданных обработчиком данных совпадает с объемом данных, которые он был способен обработать в соответствии со своей функцией производительности  $P$ :

$$D(t) - D(s) = P(t) - P(s).$$

Указанное выражение позволяет использовать строгую кривую сервиса  $\beta_s$  для получения нижней оценки функции отправки, вид которой аналогичен оценке, построенной с использованием кривой производительности  $\beta_p$ :

$$D(t) \geq \inf_{s \leq t} \{A(s) + \beta_s(t - s)\}.$$

В течение каждого периода отставания  $[s; t]$  любая строгая кривая сервиса  $\beta_s$  обработчика  $S$  также является его кривой производительности:

$$D(t) - D(s) \geq \beta_s(t - s) \Rightarrow P(t) - P(s) \geq \beta_s(t - s).$$

В периоды простоя, когда функция отставания  $b$  принимает только нулевое значение, кривая  $\beta_s$  не предъявляет к функции  $P$  никаких требований. Соответственно ограничение строгой кривой производительности является более сильным, чем ограничение кривой сервиса. Если представить множество всех пар функций  $A$  и  $D$ , с помощью  $\mathcal{T}(\gamma)$ , то для каждого обработчика выполнено соотношение  $\mathcal{T}(\beta_p) \subseteq \mathcal{T}(\beta_s)$  [2].

Для значительного количества результатов сетевого исчисления, однако, достаточно еще более слабого ограничения на зависимость между функциями прибытия и отправки данных. Нестрогая

кривая сервиса обработчика – это такая функция, при которой при обработке каждого потока с функцией прибытия для функции их отправки выполняется неравенство

$$D(t) \geq \inf_{s \leq t} \{A(s) + \beta(t - s)\}.$$

Из указанного выражения следует, что каждая строгая кривая сервиса  $\beta_s$  и каждая кривая производительности  $\beta_p$  также являются его кривыми сервиса.

Для описания потоков поступления данных используется тот же прием, что и для описания обработчиков, соответственно, заменяем зависимость функции поступления от времени на зависимость от длительности интервала передачи данных.

Кривая нагрузки для потока с функцией прибытия – это такая функция  $\beta \in \mathcal{F}$ , что для каждого временного интервала длины  $\tau$  количество переданных в течение него данных этого потока не превышает величины  $\beta(\tau)$ :

$$\forall t : \forall \tau : A(t + \tau) - A(t) \leq \alpha(\tau).$$

### Три фундаментальные теоремы СИ

Кривая нагрузки ограничивает сверху скорость поступления данных потока на каждом интервале заданной длины. Данное условие противоположно ограничению кривой производительности. Полученные ранее оценки задержки, отставания и связи входного и выходного потоков могут быть переписаны с использованием кривых сервиса и нагрузки в соответствии со следующими теоремами.

**Теорема (оценка отставания).** Пусть поток данных с функцией прибытия  $A \in \mathcal{F}$ , ограниченный кривой нагрузки  $\alpha \in \mathcal{F}$ , обслуживается обработчиком с кривой сервиса  $\beta \in \mathcal{F}$ . Тогда значение отставания обработчика не превышает вертикального отклонения между кривыми прибытия  $\alpha$  и сервиса  $\beta$ :

$$\forall t \in R : b(t) \leq v(\alpha, \beta) = \sup_{t \geq s \geq 0} \{\alpha(s) - \beta(s)\}.$$

**Теорема (оценка задержки).** Пусть поток данных с функцией прибытия  $A \in \mathcal{F}$ , ограниченный кривой нагрузки  $\alpha \in \mathcal{F}$ , обслуживается обработчиком с кривой сервиса  $\beta \in \mathcal{F}$  по дисциплине FIFO. Тогда значение задержки обслуживания этого потока не превышает горизонтального отклонения между кривыми прибытия  $\alpha$  и сервиса  $\beta$ :

$$\forall t \in R : d(t) \leq h(\alpha, \beta) = \sup_t \{\inf \{\tau \geq 0 \mid \alpha(t) \leq \beta(t + \tau)\}\}.$$

**Теорема (оценка выходного потока).** Если поток с функцией прибытия  $A \in \mathcal{F}$ , ограниченный кривой нагрузки  $\alpha \in \mathcal{F}$ , поступает на обработчик с кривой сервиса  $\beta \in \mathcal{F}$ , то полученный в результате выходной поток ограничен кривой нагрузки  $\alpha' \in \mathcal{F}$ :

$$\alpha'(s) = \sup_{r \geq 0} \{\alpha(s + r) - \beta(r)\}$$

$$D(t) - D(s) \leq \alpha'(t - s)$$

Кривая нагрузки  $\alpha'$ , удовлетворяющая исходящий из обработчика поток, называется функцией обертки этого потока, что подчеркивает ограничение, которое она накладывает на объем передаваемых им данных [4].

### Заключение

В дальнейших планах – более глубокое изучение методики NetworkCalculus со стороны как теории, так и математического аппарата.

В теории СИ оценка характеристик сети – первостепенная задача, что позволяет получать детерминированные верхние оценки. Именно этот механизм позволит реализовать анализ коммуникационной сети, а также на уровне теории провести исследование бортовой космической сети.

**Библиографический список**

1. Le Boudec J.-Y., Thiran P. Network Calculus: A Theory of Deterministic Queuing Systems for the Internet. Springer, LNCS, 2001. 240 p.
2. Чермерицкий Е. В. Исследование методов контроля функционирования программно-конфигурируемых сетей. М., 2015. 200 с.
3. Ahuja K., Magnanti L., Orlin B. Network flows: Theory, algorithms, and applications Prentice-Hall. 1993. 863 p.
4. Cruz R. L. A calculus for network delay // IEEE Transaction on Information Theory. 1991. Vol. 37, № 1. P. 114–131.

УДК 629.7.05

**А. В. Сайфуллина**

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

**А. И. Панферов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НАВЕДЕНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Современное развитие технологий позволяет решать все большее количество задач при помощи беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) – летательных аппаратов (ЛА) без экипажа на борту. Отсутствие пилота делает их компактнее и дешевле, обеспечивает выполнение задач, связанных с риском для жизни и здоровья человека. БПЛА применяются для решения широкого спектра задач как в военной, так и в народно-хозяйственной сфере.

В зависимости от поставленной задачи возникает вопрос о выборе способа управления полетом. Беспилотным летательным аппаратом можно управлять в трех режимах: ручном, автоматизированном и автоматическом. В настоящее время большой интерес представляет повышение автономности БПЛА. Такие устройства оснащены интеллектуальными автопилотами с программным управлением. Именно такой способ управления – один из самых востребованных среди проектировщиков и заказчиков. В связи с этим разработка системы управления наведением рассмотрена именно в автоматическом режиме.

Один из методов наведения БПЛА на цель базируется на применении игровой динамической задачи преследования, основанной на теории дифференциальных игр [1]. Доказательство применения такого подхода для реализации точного наведения приведено в данной статье.

В динамической игре преследования предполагается, что есть два игрока, один – преследователь (догоняющий), старающийся достичь другого игрока за минимальное время, другой – преследуемый (убегающий), пытающийся оттянуть этот момент как можно дальше. Радиус поимки полагается равным нулю, что означает окончание игры при совпадении координат игроков. Траектория преследователя и преследуемой цели заранее неизвестны. После получения ими новой информации друг о друге вектор состояния и направление траектории могут быть изменены с помощью оптимального воздействия в виде задаваемого ускорения, полученного путем численного решения задачи преследования [2] с критерием оптимальности, определяемым по формуле

$$J = \frac{b}{2} [r_1(t_f) - r_2(t_f)]^T [r_1(t_f) - r_2(t_f)] + \int_{t_0}^t [c_1^{-1} a_1^T(t) a_1(t) - c_2^{-1} a_2^T(t) a_2(t)] dt, \quad (1)$$

где  $r_i$  – вектор положения объекта;  $a_i$  – ускорение объекта;  $t_f$  – момент встречи БПЛА с подвижной точкой;  $b$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  – весовые коэффициенты функционала, учитывающие наложенные на систему ограничения.

Используя результаты, приведенные в [3], получим формулы для определения оптимального ускорения преследователя и цели соответственно:

$$a_1(t) = \frac{-c_1(t_f - t) \{ r_1(t) - r_2(t) + [v_1(t) - v_2(t)](t_f - t) \}}{\frac{1}{b} + (c_1 - c_2) \left[ (t_f - t)^3 / 3 \right]}, \quad (2)$$

$$a_2(t) = \frac{c_2}{c_1} a_1(t). \quad (3)$$

На рис. 1 представлена схема программы моделирования алгоритма формирования оптимальной траектории наведения БПЛА-преследователя на подвижную цель с применением игровой динамической задачи в среде Matlab Simulink. Моделирование проводилось с учетом известных уравнений динамики и кинематики, законов управления и формул оптимального ускорения (2) и (3).

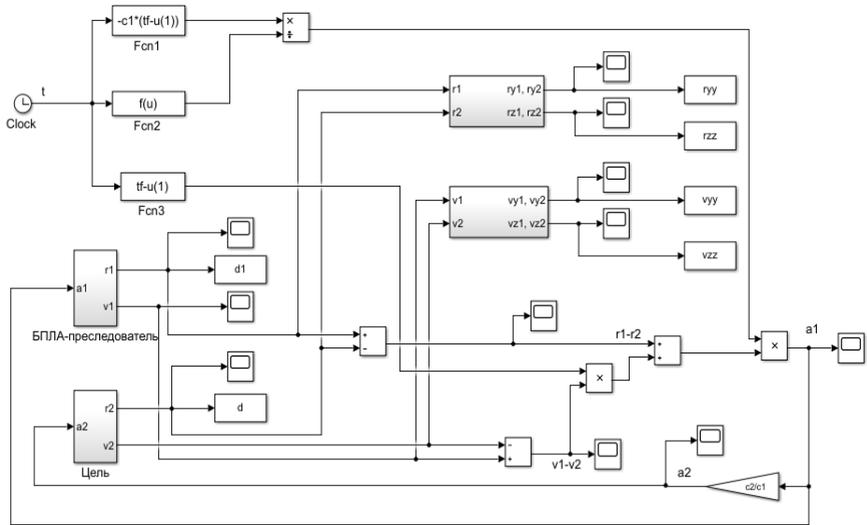


Рис. 1. Схема моделирования алгоритма формирования оптимальной траектории

Для анализа эффективности применения разработанной системы управления наведением рассматриваются три возможных варианта поведения цели:

- 1) цель является пассивной, летит прямолинейно и поступательно по предписанной программе, независимо от действий преследователя;
- 2) цель летит по заранее определенной криволинейной трехмерной траектории с возможным обходом некоторых зон, может изменять свою скорость и высоту, т. е. совершать заданные маневры, при этом не получая информации о преследователе;
- 3) цель активно маневрирует и старается избежать «встречи» с БПЛА-преследователем, вычисляя оптимальный вектор ускорения для формирования своей траектории уклонения. Такое ее поведение обусловлено знанием о преследователе, некоторых параметрах его движения и называется интеллектуальной динамической игрой преследования.

В результате моделирования в зависимости от поставленной задачи может быть получена серия графиков для оценки точности работы системы управления наведением БПЛА на цель и наглядного представления траектории полета, изменения параметров обоих динамических объектов во времени (координат, скоростей, углов ориентации и т. д.).

На рис. 2 в качестве примера приведена трехмерная модель процесса наведения на активно маневрирующую цель со сложным движением.

Графики на рис. 3 характеризуют работу системы стабилизации, благодаря которой формируются требуемые значения углов ориентации в вертикальной плоскости для управления вектором скорости БПЛА.

В процессе полета и разработки системы наведения важно отслеживать, чтобы углы ориентации и пространственного положения, а также их производные в вертикальной и горизонтальной плоскостях не принимали критических значений, что удобно оценивать по графикам, которые можно получить с помощью разработанной модели.

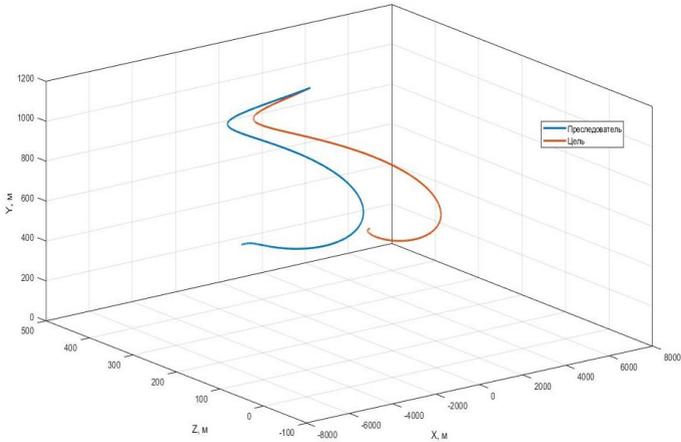


Рис. 2. Трехмерная модель пространственного движения

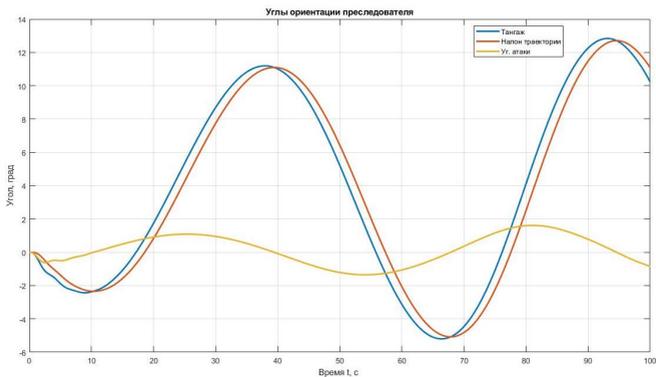


Рис. 3. Углы ориентации преследователя в вертикальной плоскости

Анализ результатов показал, что система управления наведением работает корректно, так как в каждом случае при различных заданных начальных условиях конечные координаты БПЛА-преследователя и цели совпадают, что означает точное наведение на цель.

### Библиографический список

1. Сатимов Н. Ю., Маматов М. Ш. Об одном классе линейных дифференциальных и дискретных игр между группами преследователей и убегающих // Дифференциальные уравнения. 1990. Т. 26. С. 1541–1551.
2. Panferov A. I., Nebylov A. V., Brodsky S. A. Optimization of the control system for collecting a group of vehicles // Proc. 21st IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace. Cranfield, 2019. P. 244–249.
3. Брайсон А. Прикладная теория оптимального управления. Оптимизация, оценка и управление. М.: Мир, 1972. 545 с.

УДК 629.7.066

**В. П. Семенова**

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

**В. А. Авдеев** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ РУЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ И ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Процесс руления воздушного судна (ВС) на аэродроме является неотъемлемой и непростой частью маршрута движения любого самолета. Проблемы для экипажа судна может вызывать не только ограничение обзора окружающей обстановки, но и сложность в управлении таким крупногабаритным объектом, как самолет, в условиях плохой видимости. Инфраструктура аэродрома включает множество других объектов – большое количество обслуживающей техники, машин и других самолетов, что также осложняет процесс руления воздушного судна на этой территории.

Безопасность руления самолета в аэропорту обеспечивается выполнением требований ряда нормативных документов, прописывающих правила организации движения на аэродроме. Они могут составляться в виде инструкций, приложений или стандартов, где подробно представлено не только описание буксировки ВС и маневрирования спецмашин во время обслуживания самолетов, но и приведены габаритные размеры взлетно-посадочных полос (ВПП), площадок ожидания или рулежных дорожек аэродрома. В качестве примера можно привести «Инструкцию по организации движения спецтранспорта и средств механизации на гражданских аэродромах Российской Федерации», составленную Министерством транспорта Российской Федерации [1]. Здесь подробно описан процесс руления воздушного судна на аэродроме, а в приложении приведены схемы подъезда и маневрирования спецмашин при обслуживании различных самолетов в отдельности.

При нарушениях требований, перечисленных в документах, случаются инциденты со столкновением спецмашин и самолетов. Также известны случаи гибели людей. Например, при столкновении в 2014 г. самолета Falcon 50 со снегоборочной машиной при взлете погибли четыре человека [2]. Примеры других инцидентов с кратким описанием приведены в табл. 1.

Таблица 1

#### Примеры авиационных происшествий на территории аэродрома

Дата	Описание	Место
04.04.2021 г.	Микроавтобус авиакомпании Batik Air врезался в самолет в аэропорту Сукарно-Хатта (Соепта)	Индонезия
09.02.2020 г.	При выполнении посадки на ВПП в аэропорту Усинска произошло столкновение ВС основными стойками шасси со снежным бруствером высотой до 1,1 м. В результате подломилась стойка шасси самолета	Россия, Республика Коми
22.08.2014 г.	В аэропорту Рожино Boeing-737-500, выполняя рейс УС-148, едва не столкнулся с топливозаправщиком. Спецтехника оказалась на тормозном пути воздушного судна: «Если бы экипаж не применил экстренное торможение, то столкновение с топливозаправщиком могло привести к воспламенению и взрыву авиационного топлива»	Россия, Тюменская область

При анализе статистики авиационных происшествий (АП) классификация их причин разделяется на человеческий фактор (70–80 %), отказы авиационной техники (20–30) и факторы внешней среды (10–15 %) [3]. То есть информации, поступающей от существующих систем технического зрения, которые участвуют в определении местоположения самолета на территории аэродрома, недостаточно для экипажа. Систем, обеспечивающих автоматическое руление самолета на аэродроме, фактически не существует. Пилоты при движении на земле ориентируются на систему индикации, сигналы регулировщика, управляя при этом рулями самолета с помощью педалей. В связи с этим возникает задача построения комплексной системы,

которая бы дополняла визуальную картину внешней обстановки за бортом ВС, была бы информативной и точной при любых погодных условиях, стала бы ассистирующей системой для экипажа ВС.

Построение подобной системы возможно только с использованием совокупности датчиков и систем, обеспечивающих получение информации в различных частотных диапазонах. Предлагается объединить: лидар, позволяющий с высокой точностью определять расстояние до объектов в оптическом диапазоне; радар – менее точное устройство, но работающее в сложных погодных условиях и выдающее информацию о положении объекта в радиодиапазоне; видеокамеру, функционирующую в оптическом диапазоне и транслирующую изображение объекта в более детальном виде. Для высокоточной привязки полученной информации предлагается использовать комплект навигационной аппаратуры потребителя (НАП) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), работающей в относительном режиме и транслирующей измерения от антенн, установленных на крайних точках ВС, для фиксирования габаритов ВС и точного понимания его местонахождения относительно других объектов на аэродроме. Кроме того, НАП предназначена для высокоточной временной привязки полученных измерений. В качестве оконечного решающего устройства рассматриваются параллельный классификатор, реализующий оценку ситуации в пространстве параметров среды контролируемой зоны и параметров объекта управления, и генерация команд управления для пилотажного комплекса самолета. Решающее устройство реализует комплексную обработку измерительной информации и фактографических данных с целью классификации всего разнообразия сцен контролируемой зоны в конечном множестве классов ситуаций. Ключевая задача построения системы – разработка алгоритма комплексной обработки разнородной информации. Примерная схема представлена на рис. 1.

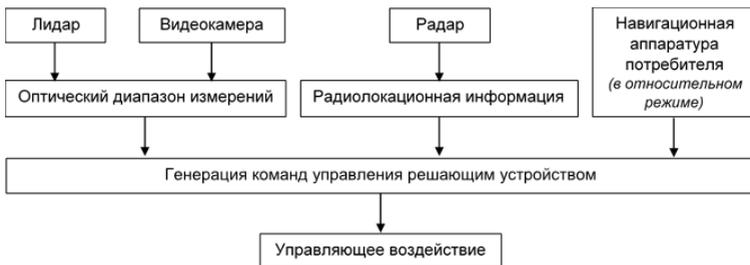


Рис. 1. Структурная схема предлагаемой комплексной системы ориентации воздушного судна на аэродроме

Предлагаемое решение ставит проблему комплексирования разнородной информации, поступающей от нескольких датчиков одновременно. Прототипом подобной системы может быть автопилот компании Tesla, который использует информацию от разнородных датчиков в работе системы технического зрения электромобиля третьего уровня автономности (рис. 2) [4].



Рис. 2. Визуализация распознанной и классифицированной информации от разнородных датчиков на примере работы ПО компании Tesla (США)

В обобщенном виде алгоритм работы подобной схемы представляет собой последовательность следующих действий:

- 1) измерение и опрос стеков датчиков контролируемой зоны;
- 2) оценивание ситуации посредством классификации статической сцены (или сцены, записанной на интервале наблюдения) и обнаружения событий;
- 3) проверка достоверности и выдача (или невыдача) на исполнительные органы пилотажного комплекса вектора управляющих воздействий.

Достоинство схемы совместной обработки и анализа видовой и траекторной информации состоит в комплексировании информации, полученной по различным каналам регистрации изображений: телевизионным, лидарным и радиолокационным, что позволяет повысить надежность обнаружения, выделения и оценки параметров объектов при работе на больших дальностях, в условиях слабой видимости и различной освещенности.

### Библиографический список

1. Инструкция по организации движения спецтранспорта и средств механизации на гражданских аэродромах Российской Федерации. МИНТРАНС России. 2006. 56 с.
2. BBC News. Русская служба. URL: [https://www.bbc.com/russian/international/2014/10/141023\\_vnukovo\\_margerie\\_iac\\_results](https://www.bbc.com/russian/international/2014/10/141023_vnukovo_margerie_iac_results) (дата обращения: 16.05.2021).
3. Бачкало Б. И., Ирмалиев Р. Э. О новом подходе к созданию системы управления безопасностью полетов в государственной авиации российской федерации // Науч. вестн. МГТУ ГА. 2015. № 218. С. 39–41.
4. Motor. URL: <https://motor.ru/news/tesla-autopilot-09-07-2020.htm> (дата обращения: 16.05.2021).

**Д. М. Сидоренко**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**А. В. Шахмиров** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ НА БАЗЕ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ**

В настоящее время все актуальнее становится использование системы планирования ресурсов на интеллектуальных предприятиях. В данной статье рассмотрены их цели, задачи, актуальность и новизна. Прежде всего необходимо разобраться, что такое интеллектуальное предприятие.

Одно из определений говорит, что данный термин относится к управленческому подходу, который для повышения эффективности бизнеса применяет новые технологии. С другой стороны, речь может идти об успешном или конкурентоспособном предприятии. Значит, в основе интеллектуального предприятия лежит использование новых технологий, которые повышают его эффективность и производительность. Одна из таких технологий – система планирования ресурсов.

Сама идея планировать ресурсы для предприятия не нова, одна из первых систем появилась в 1950-х гг. в США и получила широкое распространение в 1970-х, но это было еще планирование потребности в материалах: сколько, когда и какие материалы нужны для производства. Со временем стало понятно, что при помощи программных систем можно эффективно планировать не только производство, но и весь жизненный цикл компании, появились ERP системы (EnterpriseResourcePlanning). На данный момент практически все крупные предприятия используют системы планирования ресурсов, так как именно благодаря им компании могут более успешно выполнять такие функции, как сбыт, закупки, производство, контроль финансов, размещение продукции на складах и многие другие.

При помощи системы планирования ресурсов, которую сокращенно называют ERP системой, есть возможность не только планировать работу полного цикла предприятия, начиная от закупки ресурсов для производства, заканчивая поставками, но также изменять его структуру. ERP дает возможность реализовать современные интерфейсы, которые моментально синхронизируют разные модули предприятия с основной системой и позволяют вести максимально точный учет и планирование ресурсов [1]. Важная функция системы – уменьшение бумажного документооборота предприятия путем перевода значительной части документов в электронный вид, что автоматизирует процесс обмена и учета документов. Все это позволит в короткие сроки составлять максимально эффективные и экономичные решения для компании. Таким образом, описываемая технология уже способствует решению проблем, с которыми сталкивается предприятие ежедневно.

Из самого определения систем планирования ресурсов предприятия можно сделать вывод о том, что они помогают организациям наиболее гибко и эффективно управлять всеми аспектами бизнес-деятельности, такими как финансы, производство, розничная торговля, цепочка поставок, управление складом и запасами. Это очень важный инструмент, позволяющий связать операции разных отделов организации [2]. Решается проблема взаимодействия между разными отделами компании, путем объединения разрозненных операций, составления аналитики и обеспечения возможности увидеть все рабочие процессы.

Обобщенно главная задача ERP систем состоит в достижении максимальной эффективности, а также максимальной экономии ресурсов компании.

При настройке системы планирования ресурсов для интеллектуального предприятия его работа разбивается на функциональные блоки, которые устанавливаются в зависимости от их необходимости компании. На это нужно потратить много ресурсов, поскольку для настройки модулей под нужды компании, а в дальнейшем для поддержки и обслуживания системы требуются уникальные специалисты. При этом возникает вопрос технологических мощностей, необходимых для установки системы [3]. В настоящее время ведутся разработки с целью решения этих проблем, например популярны и доступны облачные системы планирования ресурсов, многие компании переходят на наем команды поддержки только при необходимости.

Пожалуй, самыми новыми и перспективными можно назвать облачные технологии, предназначенные как для хранения данных, так и для работы самой системы планирования. Но насколько бы привлекательным данное решение ни выглядело, оно не лишено значительных недостатков.

Для начала рассмотрим преимущества внедрения облачных технологий в компании, определив, что такое облачные ERP системы. Это решения для управления ресурсами предприятия, где процессинг данных происходит на стороне сервис-провайдера и все данные вынесены на удаленные серверы, а пользователям предоставляется интерфейс для взаимодействия с системой. При применении данной технологии компания значительно экономит на своих серверах, так как арендует сторонние и имеет доступ к ним только через Интернет. В итоге не нужно тратить деньги на собственный сервер и на содержание команды по его поддержке [4].

Но как бы ни казалась экономна данная технология, компании нужно платить за ее установку и настройку. Не стоит забывать, что перенос в облако несет некоторые угрозы. Например, при наличии проблем с подключением к Интернету компания не сможет получить доступ к системе; при повреждении данных на стороне облака имеется вероятность, что они будут безвозвратно утеряны; в случае неполадок на стороне облака компания не сможет ничего сделать и будет вынуждена ждать, пока организация, предоставляющая облачные услуги, исправит их.

Одна из основных задач управления бизнесом – экономия ресурсов. Это можно реализовать путем урезания штата, обслуживающего систему, когда она находится на локальном сервере, а не в облаке. То есть когда система не нуждается в поддержке, компания экономит деньги на том, что не содержит штат сотрудников, для которых нет работы в данный момент. Но данный способ экономии ресурсов тоже не идеален, так как при необходимости осуществить обслуживание придется нанимать человека или команду со стороны. При этом затраты на наемного работника могут превышать расходы на постоянных сотрудников, а также есть риски в том, что работу будут выполнять люди, не знакомые со структурой компании и не имеющие возможности приступить к решению проблемы без тщательной подготовки.

Система планирования ресурсов – это не просто инструмент для управления ресурсами предприятия, а новая идеология ведения бизнеса, которая позволяет изменить в лучшую сторону общие показатели его эффективности.

### Библиографический список

1. Зачем нужна система планирования ресурсов предприятия. URL: <https://dynamics.microsoft.com/ru-ru/erp/enterprise-resource-planning/> (дата обращения: 23.03.2021).
2. Построение интеллектуального предприятия на базе SAPS/4 HANA: курс. URL: <https://di-iamt.spbstu.ru/course/view.php?id=25> (дата обращения: 29.03.2021).
3. Облачные ERP системы. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 24.03.2021).
4. О'Лири Д. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. М.: Вершина, 2004. 272 с.

УДК 629.78.05

**Я. Г. Цируль**

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

**Н. А. Овчинникова** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ  
И СТАБИЛИЗАЦИЕЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

В настоящее время одними из первоочередных задач, поставленных в космической программе Российской Федерации (по положению до 2025 г.), названы «развитие, пополнение, а также поддержка орбитальных космических аппаратов в соответствии с интересами социально-экономических сфер науки и безопасности страны» [1]. Для их решения необходимы разработка, улучшение, а также совершенствование управления движением космического аппарата (КА), в том числе малого космического аппарата (МКА). Их рассматривают как альтернативу большим КА, предъявляя к ним высокие тактико-технические требования.

Управление движением КА подразумевает:

- реализацию маневрирования в открытом космосе;
- коррекцию траекторий движения межпланетных зондов;
- операции по сближению транспортного корабля с орбитальной станцией;
- необходимую ориентацию космического аппарата относительно внешних ориентиров;
- другие подобные задачи. Система управления движением (СУД) их решает [2].

Структурная схема СУД существенно не зависит от задач, решаемых с помощью космического аппарата, хотя они весьма разнообразны. Во многих режимах управления и ориентации используются одни и те же приборы, поэтому к настоящему времени определилась классическая структурная схема, представленная на рис. 1 [3].



Рис. 1. Классическая структурная схема СУД

С целью комфорта изучения делим структурную схему СУД, представленную на рис. 2, на две подсистемы: систему ориентации (рис. 3) и систему стабилизации (рис. 4).

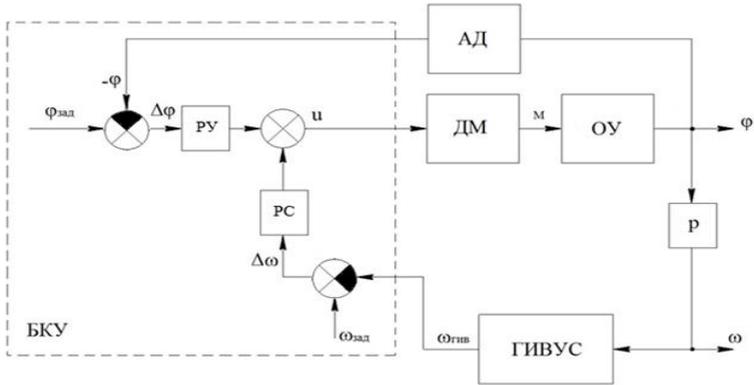


Рис. 2. Структурная схема СУД угловым движением (по углу и скорости) с использованием КУДМ

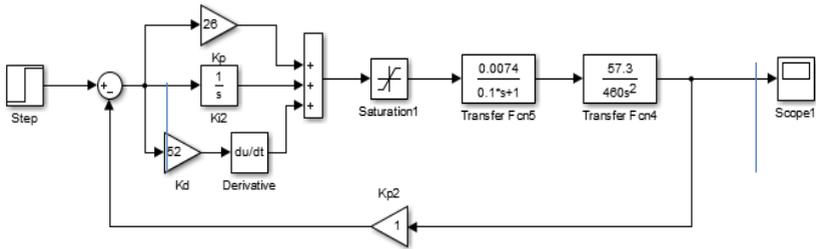


Рис. 3. Схема контура ориентации СУД

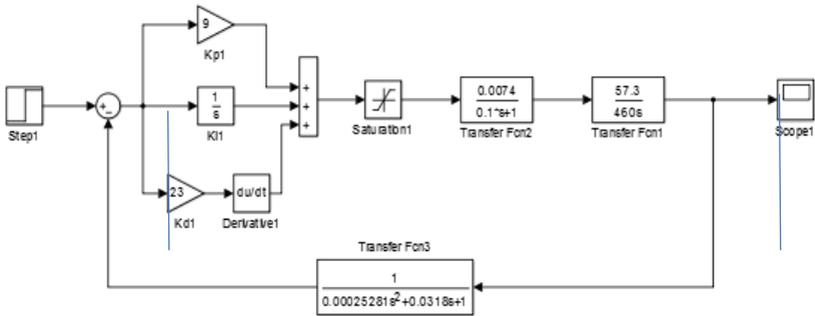


Рис. 4. Схема контура стабилизации СУД

Моделирование контура ориентации и контура стабилизации с использованием П-регулятора относительно трех осей представлено на рис. 5 и рис 6 соответственно.

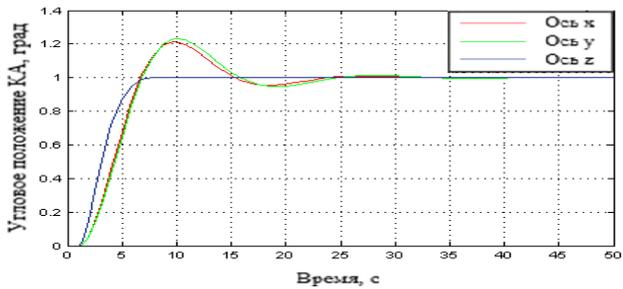


Рис. 5. График переходного процесса контура ориентации

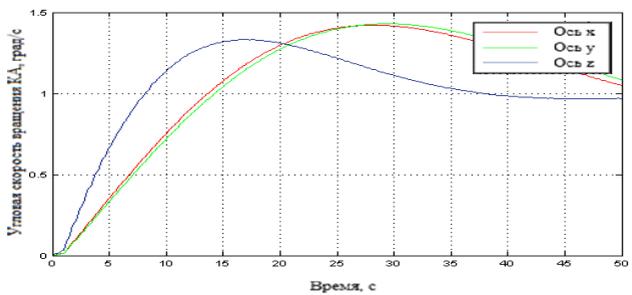


Рис. 6. График переходного процесса контура стабилизации

### Библиографический список

1. Раушенбах Б. В. Управление движением космических аппаратов. М.: Знание, 1986. 63 с.
2. Кравчук С. В., Шатский М. А., Ковалев А. Ю. Принципы построения системы управления движением космического аппарата // Тр. МАИ. 2010. Вып. 38. URL: <https://readera.org/14326206> (дата обращения: 24.03.2021).
3. Бортовые системы управления космическими аппаратами: учеб. пособие / А. Г. Бровкин, Б. Г. Бурдыгов, С. В. Гордийко [и др.]; под ред. А. С. Сырова. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. 304 с.

УДК 629.7.05

*Д. А. Чайка*

магистрант кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

*А. И. Панферов* – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА МАКСИМУМА ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫМ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ НА ОРБИТЕ

### Введение

Развитие производства ведет к увеличению потребностей человечества в сырьевых и невозобновляемых энергетических ресурсах, запасы которых скудны в пределах голубой планеты, однако практически безграничны в пределах Солнечной системы [1]. Освоение космоса – ключ к решению данной проблемы, но он ставит ряд вопросов, работа над которыми приведет людей к мультипланетарному образу жизни. В докладе рассматриваются перспективы использования космического аппарата (КА) гантелевидной формы на двигателях малой тяги в качестве первого межпланетного корабля. Проанализировано влияние неоднородности гравитационного поля на поведение данного объекта на орбите, затронуты вопросы его ориентации по касательной к ней и последующей стабилизации с учетом оптимального расхода рабочего тела. Представлены результаты моделирования и обозначены дальнейшие исследования.

### Проблемы освоения дальнего космоса

Из множества проблем, описываемых в литературе, для нас наиболее актуальны три.

- **Проблема радиации.** Космическое пространство пронизано потоком релятивистских частиц, которые способны нанести вред как здоровью людей, так и работоспособности техники [2]. Доза облучения, получаемая живым организмом при полете до Марса и обратно, оценивается в 0,662 зиверта.
- **Проблема выбора двигательной установки и топлива.** С самого зарождения космонавтики рассматривались различные виды двигателей, которые можно объединить в две группы: ракетные двигатели (химические и электрические), двигатели без рабочего тела (солнечные паруса).
- **Проблема доставки груза на исследуемые космические объекты.** Данный вопрос тесно связан с предыдущим, так как размер КА существенно влияет на выбор двигателя. Если человечество планирует вести ресурсодобывающую деятельность либо колонизаторскую, то оно должно иметь в наличии межпланетный «тягач», способный буксировать грузы массой до сотен тонн в космическом пространстве.

### Выбор космического аппарата и вопросы его управления

Из всех проектов КА для освоения космоса, которые способны решить указанные проблемы, в научной литературе часто выделяют межпланетные комплексы на двигателях малой тяги как наиболее предпочтительные [3]. Перспективность данного корабля (рис. 1) подтверждается государственными проектами [4].

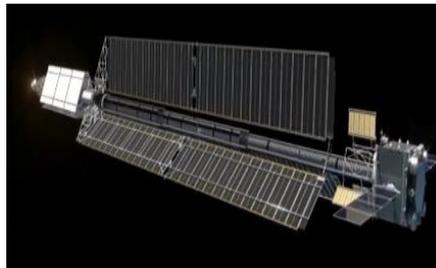


Рис. 1. Внешний вид буксира, представленный КБ «Арсенал»

Из документов ясно, что подобный буксир не фантазия, а вполне реальный межпланетный корабль будущего, способный преодолевать огромные расстояния быстрее существующих (тем самым уменьшая дозу радиации) и перемещать грузы на объекты Солнечной системы.

Тогда встает вопрос управления им после вывода и сборки на орбите.

### Влияние гравитационных моментов на буксир после его вывода на орбиту

На основе анализа влияния гравитационных моментов на идеальную гантель [5, с. 158] можно сделать вывод, что все протяженные объекты на орбите стремятся в положение, перпендикулярное к ней. При отклонении от касательной к орбите возникают собственные колебания, период которых составляет 4 422 с (рис. 2).

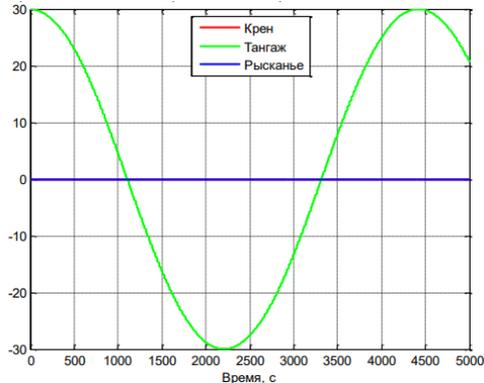


Рис. 2. Изменение ориентации свободного КА при начальном отклонении угла тангажа 30 град в главных центральных осях инерции

### Управление буксиром на орбите

Была решена задача оптимальной ориентации рассматриваемого КА на орбите. Минимизируемые целевые функции – время переходного процесса, расход рабочего тела.

Предполагается использование электронных реактивных двигателей в качестве исполнительных устройств для подобного объекта, которые минимально расходуют рабочее тело в режиме максимальной тяги [6], следовательно, решая задачу максимального быстродействия, мы обеспечиваем минимальную трату топлива. Для этого используется принцип максимума Понтрягина [7]. В случае изолированного вращения в плоскости орбиты, закон управления в виде функции параметров состояния принимает вид:

$$u^*(\theta, \omega) = -u_{\max} \operatorname{sign}\left(\theta + \frac{\omega|\omega|}{2u_{\max}}\right), \quad (3)$$

где  $\theta$  – угол отклонения буксира по тангажу,  $\omega$  – соответствующая угловая скорость,  $u^*$  – оптимальное управление,  $u_{\max}$  – максимальное управление (ограничено тягой двигателей) [8].

В результате синтеза полученного закона управления были получены математическая модель объекта управления и его структурная схема.

На данном этапе не учитывались такие факторы, как влияние остаточной атмосферы и давление света. Также все исполнительные устройства идеальные. Результаты моделирования при начальных отклонениях КА на 20, 60, –40 градусов по крену тангажу и рысканию соответственно представлены на рис. 3–4.

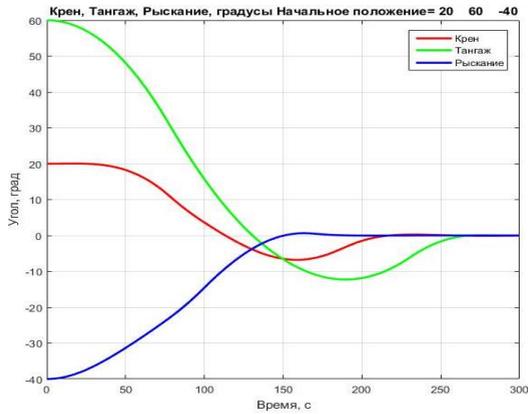


Рис. 3. Изменение ориентации КА

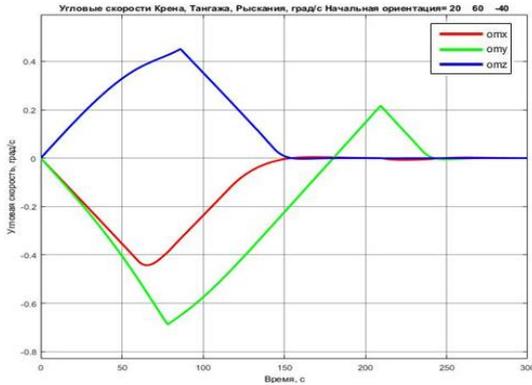


Рис. 4. Изменение угловых скоростей КА

### Поведение объекта управления как упругого тела

Из-за релейного переключения управляющих сил и стремления сделать конструкцию как можно легче возникают слабодемпфируемые колебания, которые могут привести к разрушению объекта управления. В процессе упругих колебаний каждый фрагмент конструкции может совершать поступательное и вращательное движение вокруг трех осей и связан с соседними фрагментами упругими связями. Задача нахождения форм и частот собственных колебаний упругих конструкций решается численными методами. Отсюда задача дальнейшего исследования, формулируемая следующим образом: создание оптимального регулятора, который будет способен гасить все моды упругих колебаний, его синтез в уже существующую систему управления [8].

### Заключение

В результате исследования было обосновано использование межпланетного буксира в качестве решения проблемы перемещения грузов в космических пространствах, подтверждена актуальность данной темы. Математический аппарат, описанный в ряде работ, был адаптирован для изолиро-

ванного вращения твердого тела в плоскости орбиты и на его основе были получены регуляторы ориентации КА на низкой околоземной орбите. Планируемые исследования – создание оптимального регулятора для гашения колебаний, возникающих в полученной системе управления.

### Библиографический список

1. Беков А. П. Атлас планет и объектов строения нашей Солнечной системы. Фундаментальная наука. М.: Грааль, 2019. 644 с.
2. Гинзбург В. Л. Астрофизика космических лучей. М.: Знание, 1969. 46 с.
3. Пилотируемая экспедиция на Марс / под редакцией А. С. Коротеева. М.: Рос. акад. космонавтики им. К. Э. Циолковского, 2006. 320 с.
4. Государственный контракт от 10.12.2020 №2024730301472217000241359/359-0339A/20/147.
5. Раушенбах Б. В., Токарь Е. Н. Управление ориентацией космических аппаратов. М.: Наука, 1974. 598 с.
6. Johnson L. M. Modelling // Science. 1998. Vol. 2, № 3. P. 13–17.
7. Математическая теория оптимальных процессов / Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко. М.: Физматгиз, 1961. 391 с.
8. Panferov A. I., Brodsky S. A., Nebylov A. V. Synthesis of a control system for relative motion of closely spaced satellites // 3rd Intern. Conf. and Exhibition on Satellite & Space Missions. May 11–13, 2017. Barcelona, Spain.

УДК 004.8

**А. С. Чугов**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

**Е. Н. Яблоков** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ В РАСПОЗНАВАНИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

ИНС (искусственные нейросети) – это математическая модель функционирования традиционных для живых организмов нейросетей, которые представляют собой сети нервных клеток. Как и в биологическом аналоге, в искусственных сетях основным элементом выступают нейроны, соединенные между собой и образующие слои, число которых может быть разным в зависимости от сложности нейросети и ее назначения (решаемых задач).

Пожалуй, самая популярная задача нейросетей – распознавание визуальных образов. Сегодня создаются сети, в которых машины способны успешно распознавать символы на бумаге и банковских картах, подписи на официальных документах, детектировать объекты и т. д. Эти функции позволяют существенно облегчить труд человека, а также повысить надежность и точность различных рабочих процессов за счет отсутствия возможности допущения ошибки из-за человеческого фактора [1].

Работа с изображениями – важная сфера применения технологий DeepLearning. Глобально все изображения со всех камер мира составляют библиотеку неструктурированных данных. Задействовав нейросети, машинное обучение и искусственный интеллект, их структурируют и используют для выполнения различных задач: бытовых, социальных, профессиональных и государственных, в частности обеспечения безопасности.

Распознавание изображений с помощью нейронных сетей возможно только посредством специального обучения, представляющего собой процесс, направленный на настройку параметров ИС. Есть несколько способов обучить нейросеть.

1. Обучение с учителем (supervisedlearning) предполагает наличие полного набора размеченных данных для тренировки модели на всех этапах ее построения. Наличие полностью размеченного датасета означает, что каждому примеру в обучающем наборе соответствует ответ, который алгоритм и должен получить. Таким образом, размеченный датасет из фотографий цветов обучит нейронную сеть, где изображены розы, ромашки или нарциссы. Когда сеть получит новое фото, она сравнит его с примерами из обучающего датасета, чтобы предсказать ответ. В основном обучение с учителем применяется для решения двух типов задач: классификации и регрессии [2, 3].

2. Идеально размеченные и чистые данные достать нелегко. Поэтому иногда перед алгоритмом стоит задача найти заранее не известные ответы. Вот где нужно обучение без учителя (unsupervisedlearning). В этом случае у модели есть набор данных, и нет явных указаний, что с ним делать. Нейронная сеть пытается самостоятельно найти корреляции в данных, извлекая полезные признаки и анализируя их. В зависимости от задачи модель систематизирует данные по-разному.

2.1. Кластеризация. Даже без специальных знаний эксперта-орнитолога можно посмотреть на коллекцию фотографий и разделить их на группы по видам птиц, опираясь на цвет пера, размер или форму клюва. Именно в этом заключается кластеризация – наиболее распространенная задача для обучения без учителя. Алгоритм подбирает похожие данные, находя общие признаки, и группирует их.

2.2. Обнаружение аномалий. Банки могут обнаружить мошеннические операции, выявляя необычные действия в покупательском поведении клиентов. Например, подозрительно, если одна кредитная карта используется в Калифорнии и Дании в один и тот же день. Похожим образом обучение без учителя используют для нахождения выбросов в данных.

2.3. Ассоциации. Вы берете в онлайн-магазине подгузники, яблочное пюре и детскую кружку-непроливайку и сайт порекомендует вам добавить нагрудник и радионяню к заказу. Это пример ассоциаций: некоторые характеристики объекта коррелируют с другими признаками. Рассматривая пару ключевых признаков объекта, модель может предсказать другие, с которыми существует связь.

2.4. Автоэнкодеры. Они принимают входные данные, кодируют их, а затем пытаются воссоздать начальные данные из полученного кода. Не так много реальных ситуаций, когда используют простой автоэнкодер. Но стоит добавить слои, и возможности расширятся: используя зашумленные и ис-

ходные версии изображений для обучения, автоэнкодеры могут удалять шум из видеоданных, изображений или медицинских сканов, чтобы повысить качество данных [3].

В обучении без учителя сложно вычислить точность алгоритма, так как в данных отсутствуют «правильные ответы» или метки. Но размеченные данные часто ненадежные или их слишком дорого получить. В таких случаях, предоставляя модели свободу действий для поиска зависимостей, можно получить хорошие результаты.

3. Видеоигры основаны на системе стимулов. Завершите уровень и получите награду. Победите всех монстров и заработаете бонус. Попали в ловушку – конец игры, не попадайте. Эти стимулы помогают игрокам понять, как лучше действовать в следующем раунде игры. Без обратной связи люди бы просто принимали случайные решения и надеялись перейти на следующий игровой уровень. Обучение с подкреплением (reinforcement learning) действует по тому же принципу. Видеоигры – популярная тестовая среда для исследований. Агенты ИИ пытаются найти оптимальный способ достижения цели или улучшения производительности для конкретной среды. Когда агент предпринимает действия, способствующие достижению цели, он получает награду. Глобальная цель – предсказывать следующие шаги, чтобы заработать максимальную награду в итоге. При принятии решения агент изучает обратную связь, новые тактики и решения способные привести к большему выигрышу. Этот подход использует долгосрочную стратегию, как в шахматах: следующий наилучший ход может не помочь выиграть в конечном счете. Поэтому агент пытается максимизировать суммарную награду. Это итеративный процесс. Чем больше уровень с обратной связью, тем лучше становится стратегия агента. Такой подход особенно полезен для обучения роботов, которые управляют автономными транспортными средствами или инвентарем на складе. Как и ученики в школе, каждый алгоритм учится по-разному. Но разнообразие доступных методов позволяет выбрать подходящий и научить нейронную сеть разбираться в среде [4].

Существуют приложения, которые используют нейросети для распознавания изображений, например:

- 1) FaceApp – знакомый почти всем фоторедактор, который с помощью нейросети добавляет улыбки, изменяет возраст людям на фото и меняет пол;
- 2) Im2calories – приложение от Google, которое считает калории по картинке.

Обучение нейросетей осуществляется сегодня многими компаниями по всему миру. В России разработками в этой сфере занят, например, «Яндекс», а также производители «Сколково», МФТИ и ВШЭ. Компания «Центр2М» создала и успешно внедряет систему промышленной видеоаналитики CenterVision, которая использует нейросети для распознавания объектов на предприятиях с точностью до 98 %. В 2015 г. отечественная компания YouthLaboratories организовала первый в мире конкурс красоты, в котором данные участников оценивались только нейросетями, учитывающими множество особенностей внешности. Также в России сегодня тестируется специальный бот-диагност, способный оценивать состояние пациента и рекомендовать ему обратиться к тому или иному врачу.

Таким образом, нейронные сети могут находить самое разное применение, причем не только для распознавания изображений и текстов, но и во многих других сферах.

### Библиографический список

1. Макаров И. М. Искусственный интеллект. М.: Наука, 2006. 333 с.
2. Никитин Н. А. Процесс распознавания изображения нейронной сетью // Информационные технологии. 2020. С. 23–25.
3. Обучение нейросети с учителем, без учителя, с подкреплением — в чем отличие? Какой алгоритм лучше? URL: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/obuchenie-s-uchitelem-bez-uchitelja-s-podkrepleniem/> (дата обращения: 31.03.2021).
4. Нейросетевые методы распознавания изображений. URL: <https://www.bestreferat.ru/referat-95315.html> (дата обращения: 31.03.2021).

# РАДИОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОНИКА И СВЯЗЬ

## Радиотехнические и оптоэлектронные комплексы

УДК 621.391

**В. А. Алексеев**

студент кафедры радиотехнических систем

**К. К. Томчук** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### АНАЛИЗ ШИРОКОПОЛОСНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Тематика широкополосных беспроводных сетей передачи информации крайне обширна, однако наиболее развивающиеся и перспективные сети Wi-Fi с новым стандартом IEEE 802.11ac, а также беспроводные сети связи стандартов 5G и последующих поколений.

В сетях 5G в дополнение к сверхвысокой пропускной способности и поддержке большого количества устройств на главные роли вышли требования малого времени задержки и высокой надежности установленных каналов связи. Как и любая структура, сети 5G имеют множество производных факторов, а также результатов исследования, имеющих вид приложений, концепций, технологических особенностей.

Благодаря технологическим возможностям достижения низкой латентности стала возможной концепция тактильного Интернета. Чтобы уменьшить задержку, необходимы различные подходы и методы, начиная с физического и заканчивая прикладным уровнем, включающим различные приложения. Эта концепция максимально полно характеризует требования к сетям 5G как к элементам широкополосных сетей передачи информации, а служит примером одного из ключевых приложений Интернета вещей основанном на сетях 5G. В статье проводится обзор проектов, связанных с решением проблем в широкополосных системах передачи информации, в частности системах тактильного интернета.

#### Введение

До массовой доступности сетей LTE (Long-Term Evolution) ключевыми техническими требованиями считались высокая пропускная способность даже на границе соты и бесперебойная связь. Однако услуги нового поколения сосредоточены в первую очередь на улучшении качества обслуживания пользователей, а не самой пропускной способности. То есть перспективы конечных пользователей более важны, чем технические аспекты поставщиков сетевых услуг.

Непрерывный прогресс в области Интернета вещей (Internet of things, IoT), мобильных граничных вычислений (Mobile edge computing, MEC) [1], интеллектуального анализа данных в беспроводных сетях, машинного обучения (Machine Learning, ML) для тактильного Интернета делает возможной реализацию требований для тактильного Интернета. Термин «тактильный Интернет» был предложен учеными Дрезденского технического университета еще в 2012 г. Подразумевалось, что он будет характеризовать передачу данных от тактильных ощущений в роботизированных системах. Однако существовавшие на то время сети UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) стали причиной частичной заморозки проектов до 2020–2025 гг., когда начнется полноценная работа по развертыванию сетей нового поколения.

Коммуникационные сети с низкой задержкой, а также сверхвысокая пропускная способность, безусловно, необходимы пользователям для реалистичного взаимодействия с различными интерактивными мультимедийными сервисами в реальном времени. Соответственно, тактильный Интернет, а именно Интернет с характерной низкой задержкой для обеспечения передачи тактильной информации, привлек внимание в качестве одной из основных функций мобильной связи 5G.

Минимизация времени задержки между системами связи до менее чем нескольких миллисекунд улучшит качество связи, ощущаемое конечными пользователями. Такой малой задержки в концепции тактильного Интернета требуют различные системы и области, например интеллектуальные транс-

портные системы с автономными транспортными средствами, роботизированные приложения для умной промышленности и медицинских областей. Проект партнерства 3-го поколения (3rd Generation Partnership Project (3GPP)) по разработке стандартов IMT-2020 для 5G (ITU-R IMT.2020 Meeting Documents) [2] включает требование низкой задержки (Ultra-Reliable Low-Latency Communications (URLLC)) в качестве одного из ключевых технических аспектов в сети 5G.

### **Актуальность направления исследования**

Распределение ресурсов для тактильных интернет-приложений имеет важное значение в плане обеспечения желаемого качества обслуживания. Различные тактильные сценарии Интернета включают здравоохранение, спорт, трафик, робототехнику, IoT, промышленный IoT. Все эти приложения требуют строго ограниченной задержки. Для достижения гарантированной задержки в 1 мс необходимо изменить транспортный протокол, протокол маршрутизации, контроль доступа к среде, механизм планирования и т. д.

Несмотря на то что использование мобильных периферийных вычислений значительно сокращает задержку и обеспечивает стабильное функционирование облачных вычислений в базовой сети, вероятность перегрузки основной сети становится только выше. Один из вариантов решения данной проблемы – программно-определяемая сеть, позволяющая централизованно управлять сетью с помощью программных приложений.

Мобильность делает сеть очень динамичной, но создает проблему для тактильного Интернета, его соответствия требованиям к качеству сервиса. Следовательно, необходимы дополнительные эффективные методы для уменьшения задержки передачи, среди них алгоритмы машинного обучения, делающие коммуникацию более интеллектуальной. Алгоритмы обучения с подкреплением [3] на разных уровнях коммуникации необходимы для самоадаптации повышения надежности сетей.

Безопасность и конфиденциальность очень желательны для тактильного Интернета, особенно для приложений здравоохранения и умных городов. Поэтому требуются новые улучшенные жизнеспособные решения, обеспечивающие защиту от различных атак, без ущерба для требований к задержке. Методы блокчейна должны быть интегрированы и протестированы с тактильным Интернетом как одно из многих решений. Технологии когнитивного радио (Cognitive Radio System, CRS), позволяющие получать сведения об особенностях собственной эксплуатации и на их основе корректировать параметры работы, полезны при использовании доступного спектра для достижения качества без ущерба для задержки. Когнитивное радио для тактильного Интернета по-прежнему остается неизученной областью, но обещает повысить общее качество сети.

### **Краткий обзор актуальных статей**

Тактильный интернет, как и Интернет вещей, оперирует огромными наборами данных, которые необходимы для статистического анализа. Предлагаются новые методы оценки параметров и массивов данных на сети. Один из них непараметрический метод, предложенный N. Nesa и T. Chosh [4]. Он использует эталонную модель для обнаружения отклонения без использования определяемого пользователем порога. Однако в предлагаемой схеме объект рассматривается как последовательность событий, и, если отклонение обнаружено в одном объекте, все последующие последовательности объектов сравниваются для локализации источника отклонения. В какой-то степени предлагаемый подход очень похож на системы машинного обучения, где каждая выборка данных может внести искажения в последующие цепочки, и для локализации хорды искажения необходимо провести анализ всей системы.

Этот подход хорошо адаптирован к системе Интернета вещей, поскольку может работать с малым набором исходных данных. Метод также подходит для оценивания качества обслуживания в Интернете вещей, однако для более длинных последовательностей и больших наборов функций эффективность системы и временная сложность снижаются, что крайне нежелательно для любой системы. Результаты экспериментов показывают высокую точность обнаружения ошибок и событий.

Известно, что тактильный Интернет должен был быть высоконадежным, обеспечивать очень низкую задержку и иметь достаточную мощность на промежуточных узлах, чтобы позволить большому количеству устройств общаться друг с другом одновременно. L. Feng с соавт. предложили мультипото-

ковую передачу данных в системах связи 5G [5] и изучили особенности отклика в них, чтобы понять возможности взаимодействия человека и машины в реальном времени. В предложенном механизме узел-отправитель управляет распределением потоков, чтобы максимизировать среднюю пропускную способность сети при ограничении стабильности сети и фиксированной дельте полосы. В системе каждый ретранслятор выполняет заложенный алгоритм выбора стратегии, при которой будет обеспечено наилучшее функционирование системы в зависимости от динамического изменения состояния сети. Результаты показывают, что предложенная схема не только поддерживает большую пропускную способность сети, но и обеспечивает низкую задержку.

Беспроводная технология 5G призвана произвести революцию в развертывании массовых коммуникаций M2M (Machine-to-Machine) и плотных систем интернета вещей. Одна из категорий услуг связи 5G называется URLLC, что подразумевает требование от двух строгих свойств: низкой задержки и высокой надежности. Поэтому на физическом уровне важно, чтобы механизм восстановления сигнала гарантировал высокую точность и низкую задержку. Кроме того, системы 5G поддерживают технологию множественного входа-выхода (MIMO).

J. Guo и другие предложили передачу гауссовских сообщений (Gaussian Message Passing – GPM) через систему MiMo (Multiple Input Multiple Output) [6]. Предлагаемая система объединяет глубокую нейронную сеть с GPM для решения проблемы восстановления сигнала в широкополосной беспроводной связи с низкими задержками (Ultra-Reliable Low Latency Communication, URLLC). Архитектура представлена на рис. 1.

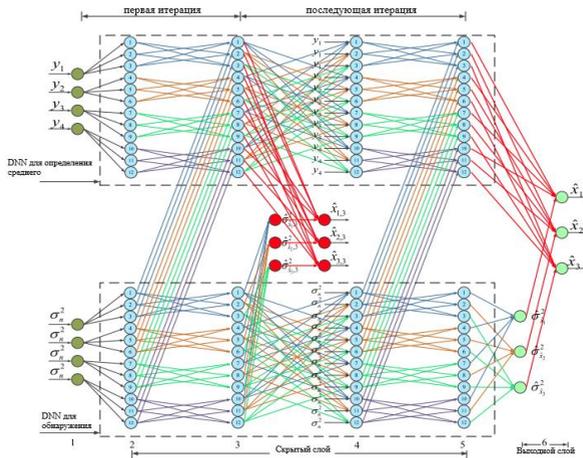


Рис. 1. Структура восстановления сигнала

Отличительной особенностью системы, в сравнении с GPM по умолчанию, является высокая скорость схождения. Сигналы считаются гауссовыми, и для построения DNN для модели типы сообщений преобразуются из узловых в краевые. Гауссовы сигналы определяются по среднему значению и значениям дисперсии. Результаты оценки показывают более быструю сходимость, хотя также демонстрируют, что алгоритм должен иметь априорную информацию. Таким образом, это влияет на надежность и применимость для устройств с ограниченными возможностями. Однако предложенная схема подходит для крупномасштабных развертываний.

А. Khan с соавт. [7] исследовали спектральную неэффективность неортогонального множественного доступа (Non-Orthogonal Multiple Access, NOMA) для тактильного Интернета из-за добавления циклического префикса (CP), поскольку NOMA выделяет одни и те же частотно-временные ресурсы

сы более чем одному пользователю при наличии мультиплексирования с ортогональным частотным разделением (Orthogonal frequency-division multiplexing, OFDM). Кроме того, OFDM демонстрирует неэффективность энергопотребления для систем NOMA с несколькими несущими из-за высоких боковых лепестков и большого отношения пиковой и средней мощности (Peak-to-average power ratio, PAPR). Кроме того, авторы изучили проблему многопользовательского обнаружения с точки зрения проектирования приемника в каналах аддитивного Белого гауссовского шума (Additive white Gaussian noise, AWGN) и негауссовых каналах. Для решения этих проблем в NOMA авторы предложили вейвлет NOMA (Wavelet NOMA) на основе вейвлета OFDM (Wavelet OFDM), который обеспечивает низкую межсимвольную интерференцию, интерференцию между несущими и низкий PAPR.

### Заключение

В статье описаны различные направления исследования и применения новых технологий в области тактильного Интернета для систем 5G, начиная от физического уровня, например, неортогонального множественного доступа, до прикладных сервисов и умных приложений. Обзор показал, что из множества существующих направлений исследований, цель которых состоит в уменьшении времени задерживания и надежности в широкополосных сетях передачи информации, перспективными и эффективными подходами являются: использование гауссовских сообщений с глубокой нейронной сетью для восстановления сигнала на физическом уровне при снижении вычислительной нагрузки; оценка параметров отклонений алгоритмов обработки при помощи непараметрических методов; мультипоточное распределение потоков в узле-отправителе для распределения спектра на весь частотный диапазон и сглаживания пиков сигнальной нагрузки.

### Библиографический список

1. Mobile edge computing: A survey / N. Abbas, Y. Zhang, A. Taherkordi, T. Skeie. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Mobile-Edge-Computing%3A-A-Survey-Abbas-Zhang/e7f84b1d7f8378ffaadb85c33bacc8bcd9e28dd> (дата обращения: 16.03.2021).
2. ITU-R IMT.2020 Meeting Documents. URL: <https://www.itu.int/md/R15-IMT.2020/new/en> (дата обращения: 17.04.2021).
3. Равичандиран С. Глубокое обучение с подкреплением на Python. OpenAI Gym и TensorFlow для профи. СПб.: Питер, 2019. 320 с.
4. Nesa N., Ghosh T., Banerjee I. Non-parametric sequence-based learning approach for outlier detection in IoT. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167739X17314474> (дата обращения: 18.04.2021).
5. Stochastic game-based dynamic information delivery system for wireless cooperative networks / L. Feng, A. Ali, H. B. Liaqat [et al]. URL: <https://koreauniv.pure.elsevier.com/en/publications/stochastic-game-based-dynamic-information-delivery-system-for-wir> (дата обращения: 18.03.2021).
6. Deep neural network-aided Gaussian message passing detection for ultra-reliable low latency communication / J. Guo, B. Song, Y. Chi [et al]. URL: <https://qspace.qu.edu.qa/handle/10576/13425> (дата обращения: 19.03.2021).
7. Wavelet OFDM with overlap FDE for non-Gaussian channels in precoded NOMA based systems / A. Khan, S. Khan, S. Baig [et al]. URL: <https://scholarworks.bwise.kr/kumoh/handle/2020.sw.kumoh/155> (дата обращения: 20.03.2021).

УДК 621.37

**С. А. Безвытный**

магистрант кафедры радиотехнических систем

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

### ОБНАРУЖЕНИЕ ДВИЖУЩИХСЯ НАЗЕМНЫХ ЦЕЛЕЙ В БОРТОВОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ

Одна из важнейших задач, определяющих развитие радиолокационных средств, – обнаружение наземных движущихся объектов на фоне подстилающей поверхности. Известно [1], что это сопряжено со множеством трудностей. К основным проблемам, мешающим проводить эффективное обнаружение наземных объектов, можно отнести отражения от местных предметов, а также влияние различного рода пассивных помех. Также следует помнить о значительном превышении уровня сигнала от подстилающей поверхности относительно полезного сигнала от движущейся цели. Однако активное развитие антенных систем и устройств цифровой обработки сигналов позволяет использовать новые подходы к решению данной задачи.

В современной литературе поставленная задача освещена недостаточно. Например, приведены основные принципы обнаружения квазидетерминированных сигналов на фоне белого шума [1, 2], представлен метод, позволяющий обнаруживать полезный сигнал на фоне пассивных помех [3], однако для его реализации требуется априорное знание спектральных плотностей мощности помехи и шума. Помимо классических обнаружителей движущихся целей, основанных на использовании фильтра с частотной характеристикой, полоса режекции которого согласована с собственной частотой Доплера [1], существует проекционный метод, заключающийся в аппроксимации обратной корреляционной матрицы [4] матрицей-проектором на подпространство, ортогональное подпространству шума. Тогда происходит обнаружение движущихся целей, однако не изучена его эффективность при различном уровне сигнала от подстилающей поверхности.

Предположим, что в точке приема находится фазовый центр изотропной антенной решетки. Геометрия рассеяния сигнала от цели представлена на рис. 1.

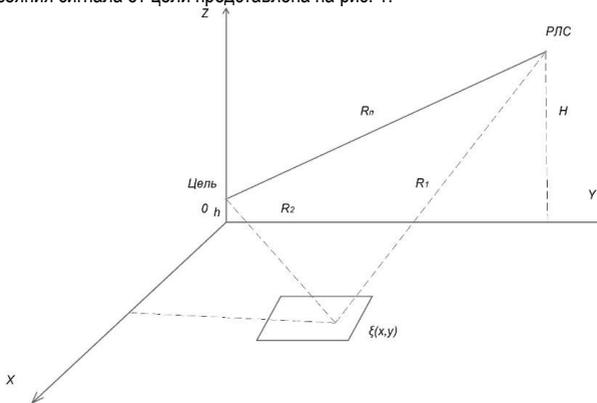


Рис. 1. Геометрия рассеяния сигнала от цели

Тогда отраженный от поверхности сигнал в точке приема в соответствии с расчетом рассеянного шероховатой поверхностью электромагнитного поля методом Кирхгофа (см., например, [5, 6]) равен

$$E(t) = \frac{\pi \cdot k \cdot C}{8 \cdot \pi^3} \cdot \int_S \frac{\exp(-i \cdot k \cdot (R_1 + R_2))}{R_1 \cdot R_2} dS, \quad (1)$$

где  $k = \frac{\omega}{C}$  – волновое число;  $C$  – постоянная, зависящая от амплитуды падающей на поверхность сферической волны;  $R_1 = |\mathbf{R}_1|, R_2 = |\mathbf{R}_2|$  – длины векторов  $\mathbf{R}_1$  и  $\mathbf{R}_2$ ;  $\mathbf{R}_1$  и  $\mathbf{R}_2$  – радиус-векторы от источника до точки шероховатой поверхности с координатами  $x, y, \xi(x, y)$  и от этой точки до точки приема;  $\xi(x, y)$  – случайная функция, описывающая шероховатости поверхности;  $S$  – горизонтальная плоскость  $XOY$ ;  $t$  – текущее время.

Уравнение (1) служит исходным для анализа статистических характеристик принятого сигнала. Весь дальнейший анализ будет проводиться для случая, когда шероховатая поверхность является цилиндрической. Случай цилиндрической поверхности практически единственный, для которого можно провести полноценное математическое моделирование.

Принятый сигнал, отраженный от подстилающей поверхности и наземной движущейся цели, согласно рис. 1 можно представить в виде суммы четырех сигналов:

$$E(t) = e_d(t) + \sqrt{Q} \cdot e_s(t) + e_{ds}(t) + \sqrt{q} \cdot e_n(t), \quad (2)$$

где  $e_d(t)$  – прямой отраженный сигнал от цели;  $e_s(t)$  – отраженный от подстилающей поверхности сигнал;  $e_{ds}(t)$  – отраженный от подстилающей поверхности и цели сигнал;  $e_n(t)$  – шум радиолокационной станции;  $Q$  – отношение прямой сигнал/помеха SCR (Signal-to-Clutter Ratio);  $q$  – отношение сигнал/шум SNR (Signal-to-Noise Ratio);

Спектры принятых сигналов в каналах амплитудного моноимпульсного суммарно-разностного пеленгатора согласно (2) представлены на рис. 2–3.

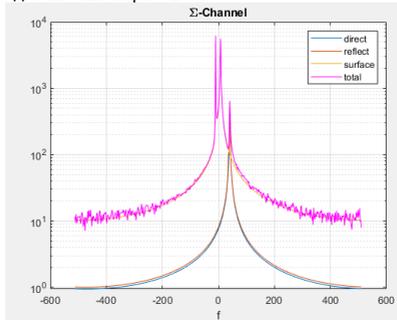


Рис. 2. Спектр принятого сигнала в суммарном канале пеленгатора при отношении сигнал/помеха в минус 25 дБ

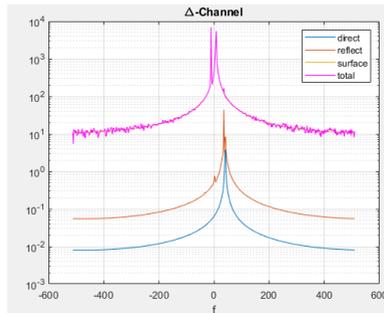


Рис. 3. Спектр принятого сигнала в разностном канале пеленгатора при отношении сигнал/помеха в минус 25 дБ

Проведем обработку принятого сигнала с целью обнаружения наземной движущейся цели различными методами. Первый основан на решении интегрального уравнения Винера – Хопфа [4]. Оптимальный весовой вектор, максимизирующий отношение сигнал / пассивная помеха, равен

$$\mathbf{w} = \mathbf{R}^{-1} \cdot \mathbf{s}, \quad (3)$$

где  $\mathbf{s}$  – полезный ожидаемый сигнал;  $\mathbf{R}^{-1}$  – обратная корреляционная матрица;  $\mathbf{w}$  – вектор оптимальных весов.

Вторым методом выступает пространственно-временной фильтр, построенный на основе моноимпульсного пеленгатора. Так как сигнал является функцией и от времени, и от пространственных координат, требуется синтезировать фильтр, подавляющий сигнал пассивной помехи. Следовательно, надо найти такой весовой вектор, который минимизирует мощность на выходе пространственно-временного фильтра при отсутствии полезного сигнала от цели. Пусть выходной сигнал синтезируемого линейного фильтра равен

$$y = \sum_{k=1}^N w_S^* [k] e_S [k] + \sum_{k=1}^N w_D^* [k] e_D [k] = (\mathbf{w}_S^H \mathbf{e}_S + \mathbf{w}_D^H \mathbf{e}_D) = \mathbf{W}^H \mathbf{E}, \quad (4)$$

где  $\mathbf{w}_{S,D} = (w_{S,D}[k])_{k=1}^N$  – весовые векторы суммарного и разностного каналов;  $\mathbf{e}_{S,D} = (e_{S,D}[k])_{k=1}^N$  – сигнальные векторы,  $e_S [k]$  и  $e_D [k]$  – отсчеты сигналов в суммарном и разностном каналах;

$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} \mathbf{w}_S \\ \mathbf{w}_D \end{pmatrix}$  и  $\mathbf{E} = \begin{pmatrix} \mathbf{e}_S \\ \mathbf{e}_D \end{pmatrix}$ ,  $(\cdot)^H$  – оператор эрмитова сопряжения.

Синтез фильтра основывается на нахождении корреляционной матрицы сигнала и последующем определении минимального собственного вектора корреляционной матрицы. Частотная характеристика синтезированного двумерного фильтра представлена на рис. 4.

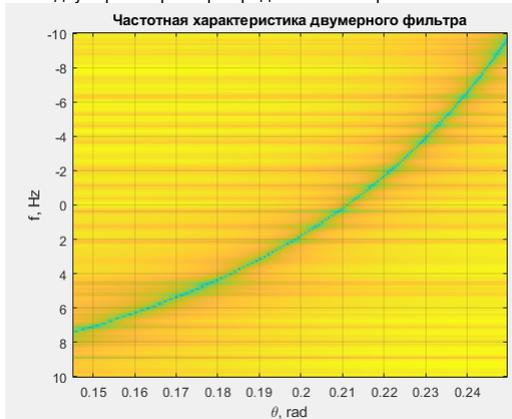


Рис. 4. Частотная характеристика двумерного фильтра

Анализ эффективности двух методов показал, что двумерный пространственно-временной фильтр позволяет обнаруживать наземные движущиеся цели эффективнее по сравнению с одномерным частотным фильтром. Полученные в ходе математического моделирования зависимости вероятности правильного обнаружения от отношения сигнал / пассивная помеха SCR представлены на рис. 5, 6.

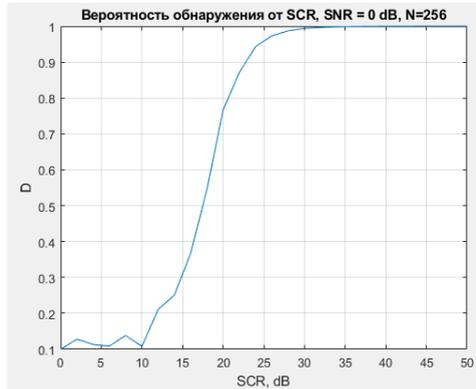


Рис. 5. Вероятность обнаружения сигнала при использовании одномерного фильтра в зависимости от параметра SCR и SNR при  $N = 256$ , SNR 0 дБ

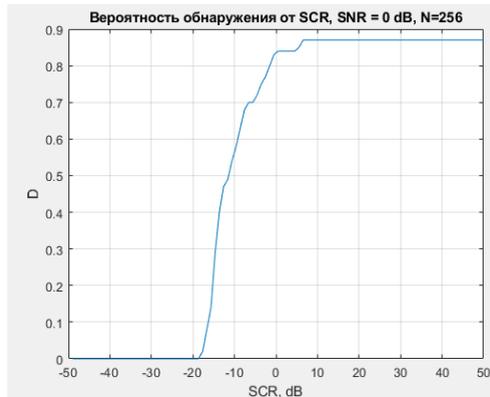


Рис. 6. Вероятность обнаружения сигнала при использовании двумерного фильтра в зависимости от параметра SCR и SNR при  $N = 256$ , SNR 0 дБ

В данной статье представлены два алгоритма обнаружения наземных движущихся целей. Сравнительный анализ эффективности показал, что пространственно-временной фильтр позволяет эффективнее находить их по сравнению с одномерным частотным фильтром. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию процедуры вычислений адаптивных весов, а также на анализ эффективности пространственно-временного фильтра в условиях реального полета носителя РЛС, который вследствие влияния турбулентности атмосферы сопровождается траекторными нестабильностями.

#### Библиографический список

1. Бакулев П. А., Степин В. М. Методы и устройства селекции движущихся целей. М.: Радио и связь, 1986. 288 с.
2. Ширман Я. Д., Манжос В. Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. М.: Радио и связь, 1981. 416 с.

3. Вайнштейн Л. А., Зубаков В. Д. Выделение сигналов на фоне случайных помех. М.: Сов. радио, 1960. 448 с.
4. Михеев П. В., Фитасов Е. С. Метод синтеза эффективной доплеровской фильтрации радиолокационных сигналов // Радиолокация, навигация, связь: тр. 12-й Междунар. науч.-техн. конф. Воронеж, 2006. С. 1675–1679.
5. Басс Ф. Г., Фукс И. М. Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. М.: Наука, 1972. 424 с.;
6. Черный Ф. Б. Распространение радиоволн. Изд. 2-е, доп и перераб. М.: Сов. радио. 1972, 464 с.

УДК 621.396.96

**Н. А. Венедиктов, Д. А. Музафаров, Д. Ю. Мохорт**

студенты кафедры радиотехнических систем

**Н. В. Поваренкин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИГНАЛОВ В АЛГОРИТМАХ ИЗМЕРЕНИЯ  
УГЛОВЫХ КООРДИНАТ НИЗКОЛЕТЯЩИХ ЦЕЛЕЙ**

Измерение угловых координат (УК) низколетящих целей требует большой разрешающей способности радиолокационной станции (РЛС). Для этого, кроме классических физических методов, применяют спектральные, позволяющие значительно увеличить разрешающую способность РЛС за счет математической обработки принятой реализации. Угловое разрешение активной фазированной антенной решетки (АФАР) при использовании классических методов определяется размерами апертуры антенной системы и расположением ее элементов. Среди методов спектрального анализа выделяются обычные (Bartlett, Minimum Variance Distortionless Response (MVDR), Capon и другие) и собственно-структурные (СС) (Писаренко, MUSIC, Root-MUSIC, ESPRIT, Min-Norm, FINE и другие). СС методы извлекают информацию о параметрах источников сигналов из собственных векторов (СВ) и значений (СЗ) корреляционной матрицы [1–3].

В данной работе будет описана модель сигнала от различных источников в элементах АФАР. Эта модель необходима для построения корреляционной матрицы  $R_{xx}$ .

Для дальнейших расчетов введем условия модели:

– изотропная и линейная среда распространения сигнала;

– источники сигнала находятся в дальней зоне локатора;

– принимаемые сигналы узкополосные, т. е. удобное для математического анализа выражение может быть получено путем определения комплексной огибающей сигнала;

– аддитивный белый гауссовский шум в каждом элементе АФАР;

– линейная АФАР;

– немодулированный синусоидальный сигнал.

АФАР определяют направление прихода сигнала путем сравнения разности фаз принятых каждым элементом антенной решетки.

Представление сигнала, принятого первым элементом антенной решетки, в тригонометрическом и комплексном виде с учетом временной задержки на распространение в свободном пространстве:

$$\begin{aligned} s_i(t) &= \alpha_i(t - \tau_d) \cos[2\pi f_c(t - \tau_d) + \varphi_i(t - \tau_d)] = \operatorname{Re}\{s_i(t)\} \\ s_i(t) &= \alpha_i(t - \tau_d) \exp\{j(2\pi f_c(t - \tau_d) + \varphi_i(t - \tau_d))\}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $i$  – номер источника сигнала ( $1 \leq i \leq D$ );  $s_i$  – сигнал  $i$ -го источника в первом элементе АФАР;  $\alpha_i$  – амплитудный коэффициент;  $\tau_d$  – время задержки сигнала от источника.

Расстояния прохождения фронта волны  $i$ -го источника от первого элемента до элемента  $m$ :

$$\Delta_{mi} = (m-1)d \cdot \sin\theta_i, \quad (2)$$

где  $m$  – номер элемента антенны ( $1 \leq m \leq M$ );  $d$  – расстояние между элементами АФАР;  $\theta_i$  – угол на источник  $i$ -го сигнала относительно нормали антенны.

Время задержки сигнала относительно первого элемента:

$$\tau_{mi} = \frac{\Delta_{mi}}{c} = (m-1) \frac{d \sin\theta_i}{c}. \quad (3)$$

Приходящий плоский фронт волны индуцирует в  $M$ -элементах антенной решетки случайное напряжение. Видно, что сигнал в любом элементе AP можно определить относительно сигнала, принятого первым элементом.

Модель сигнала  $i$ -го источника в  $m$ -м элементе:

$$s_{im}(t) = s_{i1}(t - \tau_{mi}) = s_i^f(t - \tau_r - \tau_{mi}) = \alpha_i(t - \tau_r - \tau_{mi}) \cos \left[ 2\pi f_c(t - \tau_r - \tau_{mi}) + \varphi_i(t - \tau_r - \tau_{mi}) \right] \approx \alpha_i(t - \tau_r) \cos \left[ 2\pi f_c(t - \tau_r) + \varphi_i(t - \tau_r) - (m-1)\mu_i \right] = \operatorname{Re} \left[ s_i(t) e^{j(m-1)\mu_i} \right]. \quad (4)$$

Появляется понятие пространственной частоты  $\mu_i$ , именно для нее важно условие узкополосности принимаемого сигнала. Каждому углу падения сигнала на AP соответствует своя пространственная частота. Поэтому этот параметр так важен для радиолокации:

$$\mu_i = -\frac{2\pi f_c}{c} \Delta \sin \theta_i = -\frac{2\pi}{\lambda} \Delta \sin \theta_i. \quad (5)$$

Запишем итог в комплексной форме:

$$s_{im}(t) \approx \alpha_i(t - \tau_r) e^{\left[ 2\pi f_c(t - \tau_r) + \beta_i(t - \tau_r) \right]} e^{j(m-1)\mu_i} = e^{j(m-1)\mu_i} s_i(t).$$

Модель сигнала, принятого AP:

$$x_m(t) = s_i(t) \sum_{i=1}^d e^{j(m-1)\mu_i} + n_m(t). \quad (6)$$

Матричное представление:

$$X(k) = A_M(i) \cdot P(i) \cdot S_i(k) + N_M(k). \quad (7)$$

где  $X_D(k)$  – матрица значения амплитуды смеси сигналов от  $D$  источников и гауссовского шума в  $m$ -м элементе AP в  $k$ -й отсчет времени  $[M \times K]$ ;  $A_M(i)$  – матрица векторов пространственной частоты, играющая основную роль в определении направления прихода сигналов  $[M \times D]$ ;  $P_D$  – мощность сигнала с  $i$ -го направления  $[D \times D]$ ;  $S_i(k)$  – сигнал в  $m$ -м элементе AP  $[D \times K]$ ;  $N_M(k)$  – аддитивный белый гауссовский шум в  $m$ -м элементе  $[M \times K]$ .

$$X(k) = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{-j\mu} \\ \vdots \\ e^{-j(M-1)\mu} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & p_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & p_D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{s}_1(k) \\ \bar{s}_2(k) \\ \vdots \\ \bar{s}_M(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{n}_1(k) \\ \bar{n}_2(k) \\ \vdots \\ \bar{n}_M(k) \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Для корректных дальнейших расчетов введем ограничения на нижеперечисленные параметры:

– пространственная частота:  $-\pi \leq \mu_j \leq \pi$ ;

– угловые координаты:  $-90^\circ \leq \theta_j \leq 90^\circ$ ;

– расстояния между элементами: AP  $d \leq \frac{\lambda}{2}$ .

Используем оператор математического ожидания для получения корреляционной матрицы:

$$R_{xx} = E \left[ X(t) \cdot X(t)^H \right]. \quad (9)$$

В реальных системах, где используются конечные по длительности сигналы, мы должны изменить оценку ковариационной матрицы с усреднением по времени:

$$\hat{R}_{xx} = \frac{1}{T} \int_0^T X(t) \cdot X(t)^H dt. \quad (10)$$

Или запишем в виде отсчетов:

$$\hat{R}_{xx} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K X(k) \cdot X(k)^H. \quad (11)$$

Увеличивая  $T$  (или  $K$ ), мы можем заставить оценку ковариационной матрицы сходиться к статистической корреляционной матрице, процесс называется эргодическим в ковариационной матрице.

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \hat{R}_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \bar{x}(t) \cdot \bar{x}(t)^H dt = R_{xx}. \quad (12)$$

#### Библиографический список

1. Gross F. Smart Antennas for Wireless Communication. McGraw-Hill Ed., 2015. 400 p.
2. Optimization of MUSIC algorithm for angle of arrival estimation in wireless communications / M. Mahmoud, L. Mohamed, M. Emad, H. Sherif // NRIAG J. of Astronomy and Geophysics. 2013. № 2. P. 116–124.
3. Zhizhang C., Gopal G., Yiqiang Y. Introduction to Direction-of-Arrival Estimation. Artech house, 2010. 193 p.

УДК 621.37

**Р. Д. Кожемякин**

студент кафедры радиотехнических систем

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРА СЖАТИЯ СИГНАЛА С ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

### Введение

В линейной части приемника при приеме смеси перекрывающихся сигналов от близко расположенных целей возможны ситуации, когда боковые лепестки мощных сигналов маскируют слабые сигналы или приводят к ложным обнаружениям. Известные методы позволяют достичь значительного уменьшения уровня боковых лепестков (УБЛ) выходного сжатого сигнала, однако приводят к большим потерям в отношении сигнал/шум (ОСШ) при использовании сигналов с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). Актуальность исследования определяется постоянным увеличением загруженности систем управления воздушным движением (УВД), в которых упомянутые ситуации неприемлемы.

### Методы уменьшения уровня боковых лепестков выходного сжатого сигнала

В ряде научных трудов приведен обзор методов обработки частотно-модулированных (ЧМ) сигналов [1–3]. В соответствии с классификацией, представленной в них, можно выделить следующие методы уменьшения уровня боковых лепестков выходного сжатого сигнала: применение весовой обработки в частотной или во временной области, использование сигналов с нелинейной частотной модуляцией и амплитудно-частотная коррекция принимаемого сигнала.

В результате анализа литературы [4–6] установлено, что применение сигналов с нелинейной частотной модуляцией даже в совокупности с весовой обработкой не позволяет достичь приемлемого уровня боковых лепестков сжатого сигнала (ниже минус 40 дБ). Подобные ограничения обусловлены наличием остаточных френелевских пульсаций взвешенного спектра сигнала. Метод амплитудно-частотной коррекции при применении ЛЧМ-сигнала также не позволяет достичь приемлемого УБЛ. В этом случае он составляет минус 32 дБ при уровне потерь в отношении сигнал/шум 1,34 дБ [2].

### Выбор метода синтеза фильтра сжатия

В предлагаемом методе минимизация УБЛ осуществляется за счет изменения импульсной характеристики (ИХ) фильтра сжатия (ФС). Для получения ИХ фильтра сжатия, которая обеспечит минимальный УБЛ при фиксированном уровне потерь в ОСШ, необходимо найти целевую функцию – уравнение для расчета УБЛ и определить в качестве дополнительного условия допустимые потери в отношении сигнал/шум на выходе фильтра по сравнению с согласованным фильтром. Таким образом, в ходе поиска нужной ИХ необходимо решить задачу на условный экстремум.

В качестве условия (ограничения) при оптимизации выступает отношение сигнал/шум на выходе фильтра сжатия:

$$q^2 = \frac{|g_m|^2}{P_g}, \quad (1)$$

где  $|g_m|$  – максимальное значение отклика фильтра сжатия;  $P_g$  – средняя мощность шума. Целевой функцией при оптимизации является уровень боковых лепестков  $|g_{6n}|$  сжатого сигнала.

Таким образом в состав математической модели при поиске оптимальной ИХ входят следующие функции:

– функция вычисления максимального значения отклика  $|g_m|$  и средней мощности шума  $P_g$  на выходе фильтра сжатия;

– функция вычисления уровня боковых лепестков  $|g_{6л}|$  на выходе фильтра сжатия.

Вследствие нелинейности решаемых задач для поиска оптимального вектора значений ИХ фильтра сжатия используется метод поиска минимума с ограничениями, реализованный в функции `fmincon` математического пакета MATLAB R2018b.

### Математическое моделирование фильтра сжатия

В ходе исследования выполнено математическое моделирование для оценки качества предлагаемого фильтра сжатия. Разработана его математическая модель, которая подразумевает выполнение следующего алгоритма:

- 1) формирование ЛЧМ-сигнала и представление его в дискретной форме;
- 2) получение ИХ согласованного фильтра;
- 3) анализ сигнала и шума на выходе фильтра сжатия:

3.1) начальным предположением относительно ИХ фильтра сжатия является ИХ согласованного фильтра;

3.2) определение максимальной мгновенной мощности сигнала и средней мощности шума на выходе фильтра сжатия для расчета уровня потерь в ОСШ;

- 3.3) определение УБЛ сигнала на выходе фильтра сжатия;

4) поиск оптимальной ИХ фильтра сжатия, обеспечивающей минимальный УБЛ при выполнении ограничений на потери в отношении сигнал/шум.

Если при выбранном количестве отсчетов ИХ не удалось достичь необходимого результата, их количество в представлении ИХ фильтра сжатия увеличивается и цикл оптимизации начинается заново. В процессе моделирования в соответствии с изложенным алгоритмом удалось получить результаты сжатия сигнала с линейной-частотно-модуляцией (рис. 1).

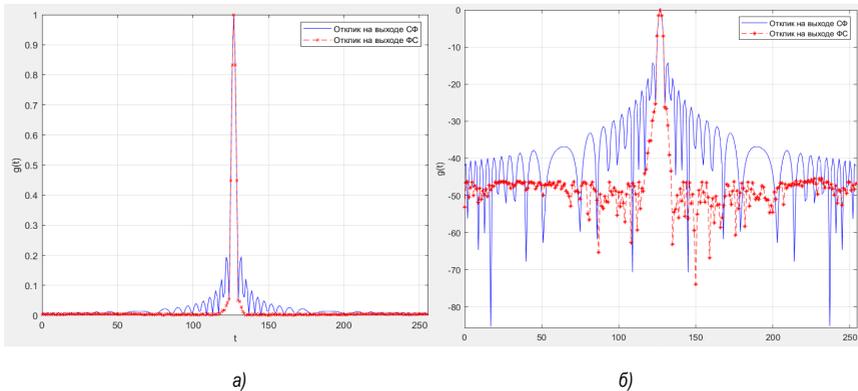


Рис. 1. Сигнал на выходе фильтра сжатия в линейном (а) и логарифмическом (б) масштабах

В результате моделирования установлено, что полученная ИХ фильтра сжатия обеспечивает уровень боковых лепестков выходного сжатого сигнала, равный минус 46,35 дБ, при потерях в отношении сигнал/шум 0,39 дБ и отношении длины ИХ фильтра сжатия к длине ИХ согласованного фильтра, равных 1,21.

На рис. 2, б представлены результаты обработки смеси двух перекрывающихся во времени сигналов при разнице времени задержки, равной 22 отсчетам. Амплитуда сильного сигнала в десять раз превышает амплитуду слабого.

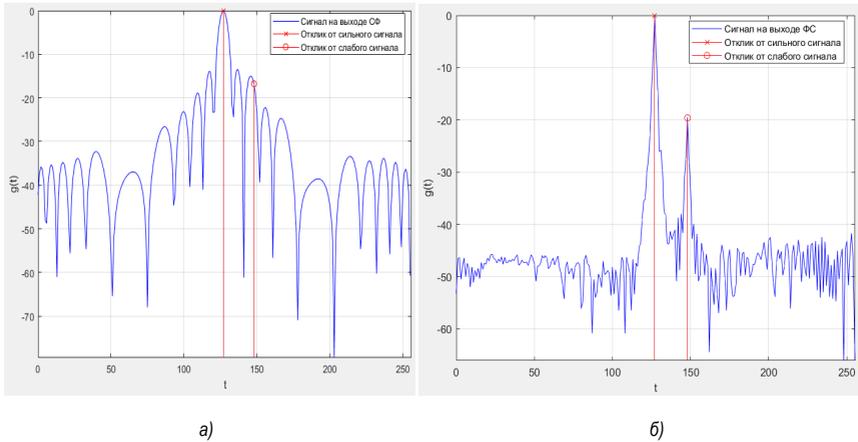


Рис. 2. Сигналы на выходе согласованного фильтра (а) и фильтра сжатия (б) в логарифмическом масштабе (временной сдвиг 22 отсчета)

Видно, что при отсутствии шумов пик, соответствующий слабому сигналу, легко отличим от максимального УБЛ отклика сильного сигнала, следовательно, система обнаружения на основе фильтра сжатия сможет разрешить этот слабый сигнал на фоне сильного. При равных условиях величина отклика согласованного фильтра на слабый сигнал (рис. 2, а) была меньше максимального УБЛ отклика сильного сигнала, т. е. происходило бы маскирование.

На рис. 3 показан сигнал на выходе фильтра сжатия при обработке аддитивной смеси перекрывающихся сигналов с равными амплитудами и шума при отношении сигнал/шум – 1 дБ.

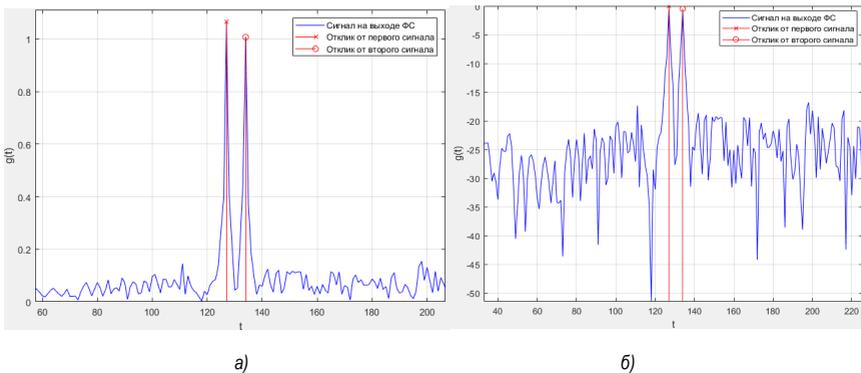


Рис. 3. Сигнал на выходе фильтра сжатия в линейном (а) и логарифмическом масштабах (б) при обработке аддитивной смеси перекрывающихся сигналов и шума

Даже в случае когда сигналы перекрываются почти полностью (сдвиг 8 отсчетов) отклики от равных целей различимы, а максимальный уровень шумов области перекрытия не превышает минус 15 дБ, т. е. ниже УБЛ при согласованной фильтрации одиночного сигнала без шума.

### Выводы

Таким образом, исследования в области разработки новых и совершенствования известных методов уменьшения уровня боковых лепестков сжатого сигнала актуальны.

В процессе работы синтезирован фильтр сжатия сигналов с линейной частотной модуляцией, произведено математическое моделирование предлагаемого фильтра сжатия при обработке смеси перекрывающихся во времени сигналов с различными параметрами, в том числе при наличии аддитивного белого гауссовского шума.

В результате исследования выявлены следующие недостатки предлагаемого метода сжатия:

– даже без добавления шума не удастся полностью подавить боковые лепестки сжатого сигнала;

– использование данного метода приводит к усложнению алгоритма обработки и, как следствие, к росту затрат вычислительных ресурсов, по сравнению с согласованной фильтрацией.

В то же время предлагаемый метод сжатия позволяет добиться:

– значительного уменьшения уровня боковых лепестков сжатого сигнала до минус 46,35 дБ при потерях в отношении сигнал/шум 0,39 дБ и отношении длины ИХ фильтра сжатия к длине ИХ согласованного фильтра, равном 1,21;

– уменьшения потерь в отношении сигнал/шум до ~2 дБ, по сравнению с временным и частотным взвешиванием;

– разрешения слабых сигналов на фоне отражений от целей с большой эффективной поверхностью рассеяния (показано, что удастся разрешить два перекрывающихся во времени сигнала при разнице амплитуд в 10 раз);

– разрешения слабых сигналов на фоне шумов (показано, что удастся разрешить два частично перекрывающихся сигнала на фоне шума при отношении сигнал/шум 1 дБ).

### Библиографический список

1. Оконешников В. С., Кочемасов В. Н. Сжатие частотно-модулированных сигналов с небольшим произведением девиации частоты на длительность импульса // Зарубеж. радиоэлектроника. 1987. № 1. С. 82–94.

2. Родионов В. В., Рукавишников В. М., Филонов Ю. В. Методы формирования и обработки радиолокационных сигналов с малой базой и низким уровнем боковых лепестков функции неопределенности по дальности // Радиолокация, радионавигация, связь: тр. VII Междунар. науч.-техн. конф. Воронеж, 2001. Т. 3. С. 1460–1467.

3. Монаков А. А. Метод обработки импульсных ЛЧМ сигналов с малой базой // Радиолокация, радионавигация, связь: тр. XI Междунар. науч.-техн. конф. Воронеж, 2005. Т. 3. С. 1333–1336.

4. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы / под ред. В. С. Кельзона. М.: Сов. радио, 1971. 566 с.

5. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов / под ред. Ю. Н. Александрова. М.: Мир, 1978. 848 с.

6. Кочемасов В. Н., Белов Л. А., Оконешников В. С. Формирование сигналов с линейной частотной модуляцией. М.: Радио и связь, 1983. 192 с.

УДК 621.396.99

**Д. Ю. Мохорт, Д. А. Музафаров, Н. А. Венедиктов**

студенты кафедры радиотехнических систем

**Н. В. Поваренкин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ПРОВЕДЕНИЕ НЕОБХОДИМЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ КОРРЕКТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МИКРОПОЛОСОВОГО ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩЕГО ФИЛЬТРА В ДИАПАЗОНЕ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ

Основываясь на информации из открытых источников, можно проанализировать военный потенциал и действия, предпринятые сторонами в современных локальных конфликтах на примере Израиля и Палестины. Известно, что со стороны Израиля стоят ракеты-перехватчики комплекса «Железный купол» – ТАМИР, заявленная эффективность перехвата которого ~90 %, со стороны Палестины типовые ракеты КАССАМ. За продолжительное время со стороны Палестины было выпущено более трех тысяч ракет, далеко не все из них были сбиты, часть из них экономически нецелесообразно сбивать, так как они направлены мимо стратегически важных мест, другая часть ракет не была сбита из-за особенностей комплекса. При массовом налете явно прослеживается его уязвимое место – неспособность сопроводить большое количество целей.

В статье будет предложен метод улучшения конструкции каналообразующего модуля за счет интеграции в топологию платы микрополосковых полосно-пропускающих фильтров (ППФ). Известно, что активная фазированная антенная решетка (АФАР), используемая в комплексе, работает в S-диапазоне (от 2 до 4 ГГц), на основании этих данных будет строиться дальнейший расчет.

Рынок предоставляет большой выбор систем автоматизированного проектирования (САПР) для расчета микрополосковых линий, однако, прежде чем моделировать, в программе нужно произвести ряд вычислений, которые позволяют получить точную модель. Для обеспечения пропускания необходимой полосы частот в момент приема сигнала необходим полосно-пропускающий фильтр. При этом он должен с допустимыми потерями пропускать сигнал на рабочей частоте. Для разрабатываемого нами передатчика с рабочей частотой 3,5 ГГц потребовался фильтр со следующими параметрами:

- полоса пропускания от 3,4 до 3,6 ГГц;
- подавление на частоте 3,7 ГГц > 20 дБ;
- потери в полосе пропускания  $A_n < 3$  дБ;
- максимальные потери  $A_z > 20$  дБ.

Размеры печатной платы ограничивались из конструктивных соображений 40 × 40 мм. Толщина платы выбиралась в зависимости от типа и конструкции фильтра [1–4].

В отличие от других печатных фильтров, самая компактная топология у встречно-гребневого, он эффективно использует площадь на плате и, учитывая заданные габариты, подходит нам. В отношении типа фильтра целесообразно реализовать фильтр Чебышева, так как у него максимальная крутизна скатов частотной характеристики, а также она равномерна в полосе пропускания, т. е. значение затухания по всей длине пропускания не превышает заданной величины.

Для того чтобы смоделировать полосовой фильтр максимально близким к желаемому, требуется найти затухание в полосе пропускания.

1. Построим идеальную АЧХ фильтра (рис. 1), к которой мы хотим максимально приблизить АЧХ нашего смоделированного фильтра.

2. Произведем расчет относительной ширины пропускания:

$$\omega = \frac{f_2 - f_1}{f_0} = \frac{3600 - 3400}{3500} \approx 0,057.$$

3. Относительная ширина полосы  $\omega_S$ , затухание в пределах которой должно достигнуть заданного уровня  $A_z$ , находится по формуле

$$\omega_S = \frac{f_B - f_H}{f_0} = \frac{3700 - 3300}{3500} \approx 0,114.$$

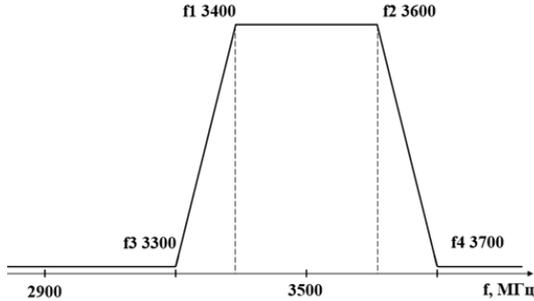


Рис. 1. Идеальная характеристика передачи фильтра

4. Определим необходимое число резонаторов  $n$ -фильтра с чебышевской характеристикой по формуле

$$n \geq \frac{a \cosh^{-1} \sqrt{10 \left( \frac{A_3}{10} - 1 \right)}}{a \cosh^{-1} \left| \frac{f_k - f_1}{f_2 - f_0} \right|} = 3.$$

Полученный результат необходимо округлить в большую сторону (это уже учтено в формуле), так как необходимо нечетное количество резонаторов для согласования фильтра по входу и выходу. На данном этапе мы имеем все необходимые параметры для дальнейшего моделирования фильтра в программе AWR Design Environment (Microwave Office).

#### Библиографический список

1. Справочник по элементам полосковой техники / под ред. А. Л. Фельдштейна. М.: Связь, 1979.
2. Проектирование полосковых устройств СВЧ: учеб. пособие. Ульяновск, 2001.
3. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств / под ред. В. И. Вольмана. М.: Радио и связь, 1982.
4. Малорацкий Л. Г., Явич Л. Р. Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях. М.: Сов. радио, 1972.

УДК 621.396.99

**Д. А. Музафаров, Д. Ю. Мохорт, Н. А. Венедиктов**

студенты кафедры радиотехнических систем

**Н. В. Поваренкин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КАНАЛООБРАЗУЮЩИЙ МОДУЛЬ ЦИФРОВОЙ АНТЕННОЙ РЕТШКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ ОБНАРУЖЕНИЯ НИЗКОЛЕТЯЩИХ ЦЕЛЕЙ**

Активные фазированные антенные решетки (АФАР) востребованы за счет точности предсказания их диаграммы направленности, обнаружения и отслеживания целей. Они могут работать на прием и на передачу. Современный уровень технологического развития радиолокации как науки обеспечил снижение стоимости изготовления приемно-передающих модулей активной фазированной антенной решетки, что привело к их широкому внедрению в современных системах мониторинга воздушной обстановки. Их использование повышает технические возможности по контролю пространству. Антенные решетки такого типа не позволяют брать на сопровождение большое количество целей. Формирование диаграммы направленности в таких решетках ограничено самой антенной решеткой, а именно излучателями. Для формирования лучей требуется менять фазу элементов в антенной решетке, а это в свою очередь связано с потерей энергии и ограниченностью возможности формирования лучей диаграммы направленности. Сейчас, когда технический прогресс развивается очень стремительно, внедряются цифровые методы и решения обработки информации. Поэтому цифровые антенные решетки (ЦАР) с цифровым формированием диаграммы направленности становятся следующим шагом в развитии радиолокации после АФАР. В отличие от последних, у ЦАР приемная и передающая части разнесены друг от друга. Это связано с большой мощностью излучаемого зондирующего сигнала, что технически сложно реализуемо, поэтому приемную и передающую части антенной решетки разнесли. Цифровые антенные решетки отлично показывают себя при выполнении задачи контроля воздушного пространства. При радиолокационном зондировании воздушного пространства они работают в X-частотном диапазоне и превосходят АФАР в активном сопровождении целей. Все элементы приемной части цифровой антенной решетки представляют собой каналобразующий модуль, каждый структурный элемент которого должен обладать высокими техническими характеристиками. Каналобразующий модуль по структуре является аналоговой частью цифрового приемника. Из-за невозможности оцифровывания сигнала высокой частоты, в нем находится гетеродин, который позволяет перенести полезный спектр высокочастотного принятого эхо-сигнала на более низкую частоту L-диапазона.

Возникла потребность в создании каналобразующего модуля, пригодного для использования в различных типах радиотехнического оборудования, содержащего цифровые антенные решетки. Так как каналобразующий модуль ЦАР представляет собой аналоговую часть цифрового СВЧ радиоприемного устройства, был проведен патентный поиск радиотехнических устройств, представляющих собой СВЧ-конструктор, который позволит собрать каналобразующий модуль цифровой антенной решетки из готовых блоков и при необходимости заменять или дополнять его блоки. Патентный поиск проводился по патентным ведомствам всех стран за последние 20 лет.

Первый патент US20160134067 «Modular building block system for RF and microwave design of components and systems from concept to production» [1] представляет собой железную пластину с небольшими блоками. Каждый блок СВЧ-конструктора, представленного на рис. 1, 2, является элементом структурной схемы каналобразующего модуля. Достоинство представленного образца состоит в возможности выбора последовательности элементов при построении каналобразующего модуля, большом выборе элементных блоков. Крепление блоков между собой производится посредством примыкания микрополосковых переходов между двумя соседними блоками. Данная модель позволяет собрать аналоговую часть каналобразующего модуля ЦАР радиолокационной станции обнаружения. Есть возможность переноса полезности спектра приемного сигнала высокой частоты путем гетеродинирования, на частоту, позволяющую аналого-цифровому преобразователю оцифровать сигнал. Из недостатков можно выделить то, что в рабочем состоянии к такому конструктору нежелательно прикасаться руками без антистатического браслета, так как есть возможность нанести ущерб элементам конструктора статическим разрядом. Возможно неплотное прилегание микрополосков блоков друг к другу, что может

вызвать потери и нестабильность электрических показателей; разрешение данной проблемы можно увидеть в следующей полезной модели на этот конструктор.

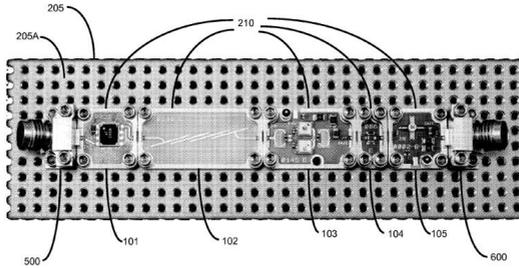


Рис. 1. Модульный конструктор от компании X-microwave

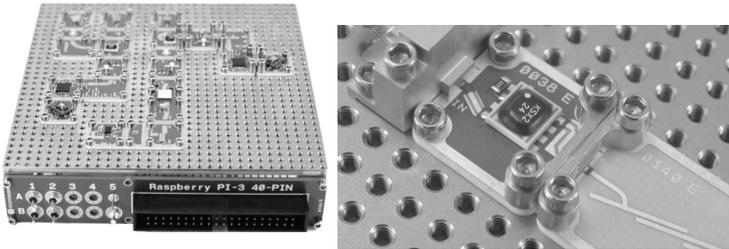


Рис. 2. Модульный конструктор от компании X-microwave

Второй патент «Устройство взаимного позиционирования элементов СВЧ-макета» [2] является полезной моделью на описанный СВЧ-конструктор от компании X-microwave (рис. 3). Суть данной полезной модели заключается в более точном позиционировании модулей СВЧ-конструктора и более плотном прилегании микрополосковых переходов между блоками за счет копланарной перемычки. Достоинства заключаются в повышении стабильности электромагнитных характеристик за счет повышения точности позиционирования элементов устройства при сборке. Улучшаются повторяемость электромагнитных характеристик макета и их предсказуемость, а также обеспечивается существенное улучшение эргономики при сборке макета пользователем.

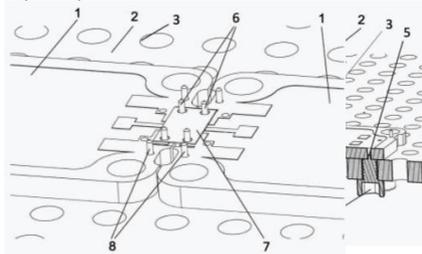


Рис. 3. Полезная модель компании СВЧ-конструктор

Третий рассматриваемый образец Rigol TX1000 RF Demo Kit [3] (рис. 4) представляет собой блок, внутри которого находятся необходимые элементы для создания каналобразующего модуля, в

частности элементы структурной схемы – гетеродин, смеситель, усилитель, полосовые фильтры. Недостатки состоят в невозможности выбора элементов в каналообразующем модуле и их комбинации, малой вариативности элементов, больших габаритах. В этом блоке нет возможности увидеть электрические схемы элементов аналоговой части каналообразующего модуля ЦАР. Достоинство – надежность при использовании, так как все составляющие изолированы от внешней среды; возможность вывода сигнала на осциллограф или спектроанализатор на входе и выходе каждого каскада. Присутствие гетеродина удовлетворяет задаче, решаемой при отборе образцов для каналообразующего модуля.

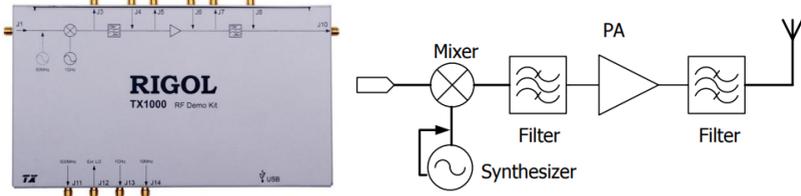


Рис. 4. Rigol TX1000 RF Demo Kit от компании RIGOL

Modular RF Prototyping and Education Platform от компании BeeWave [4] – образец уже более высокого уровня, чем у RIGOL, и более практичный, чем у X-microwave. Это также СВЧ-конструктор с блоками в виде правильного шестиугольника, с помощью которых можно собрать каналообразующий модуль ЦАР. Достоинства: большой рабочий диапазон частот, удобство подключения, крепления блоков и их соединения коаксиальными кабелями при конструировании каналообразующего модуля. Платформу с блоками и отдельно блоки можно рассмотреть на рис. 5, 6 соответственно. Недостатки – ненадежная жесткость конструкции закрепленного блока к платформе и отсутствие защиты интерфейса питания.



Рис. 5. BeeWave СВЧ-платформа с блоками



Рис. 6. Варианты блоков BeeWave

Идеи и технологии, заложенные в представленные СВЧ-конструкторы, возможно использовать при построении каналообразующего модуля. Выделяется СВЧ-конструктор от компании X-microwave, реализация которого действительно очень удобна и практична с точки зрения построения каналообразующего модуля ЦАР. Удобство его применения в том, что любую часть структурной схемы собранного каналообразующего модуля можно заменить другим блоком при необходимости получения конкретного результата, в зависимости от конкретной поставленной задачи [5–7].

#### Библиографический список

1. US20190165522 – Modular building block system for RF and microwave design of prototypes. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?sessionId=562634447D885EF7A49B205113D10AE3.wapp2nC?docId=US242627929&recNum=29391&office=&queryString=&prevFilter=&sortOption=Fecha+de+publicaci%C3%B3n%2C+orden+descendente&maxRec=75240673> (дата обращения: 05.04.2021).
2. 200762 «Устройство взаимного позиционирования элементов СВЧ-макета». URL: <https://www.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=cfcab5cd0fdd57eb6944e489987bb68c> (дата обращения: 05.04.2021).
3. Rigol TX1000 RF Demo Kit. URL: <https://all-spares.com/en/rf-demonstration-kit-rigol-tx1000.php> (дата обращения: 05.04.2021).
4. Modular RF Prototyping and Education Platform. URL: <http://www.spectratronix.com/bee-wave-platform/> (дата обращения: 05.04.2021).
5. Справочник по радиолокации. Книга 1 / под ред. М. И. Сколника. М., 2014. С. 600–605 (дата обращения: 05.04.2021).
6. Параметры каналообразующих модулей цифровых антенных решеток / Н. В. Поваренкин, М. В. Мулминов, Д. А. Романенков, С. Вележев. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38517161> (дата обращения: 01.04.2021).
7. Артюх А. С., Поваренкин Н. В. Система управления лучом активной цифровой антенной решетки. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37539777> (дата обращения 07.04.2021).

УДК 612.76

**Р. А. Пирожков**

студент кафедры радиотехнических систем

**К. К. Томчук** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## **АНАЛИЗ СИГНАЛА АКСЕЛЕРОМЕТРА ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ АСИММЕТРИИ ПОХОДКИ**

### **Формулировка проблемы**

Анализ походки человека – один из методов выявления и диагностики в период реабилитации различных патологий человеческого организма, таких как сколиоз, болезнь Паркинсона и другие заболевания опорно-двигательного аппарата и центральной нервной системы. Развитие методов анализа походки человека с применением различных инструментов и средств, в том числе компьютерного моделирования, актуально [1].

### **Анализ известных решений**

Анализ походки человека – относительно молодое направление в биомеханике – науке на стыке биологии, медицины и физики. Сегодня существует немалое количество методов такого анализа. Их можно разделить на несколько групп: методы регистрации общих, кинематических, динамических параметров, пододинамометрия, акселерометрия и некоторые другие. Предложенный алгоритм относится к методу акселерометрии [2].

Цель работы: выявить сигнальные признаки наличия асимметрии в походке испытуемого путем анализа сигнала акселерометра мобильного устройства.

### **Задачи для достижения поставленной цели**

1. Проанализировать общую структуру сигнала вертикального ускорения в процессе ходьбы, рассматривая все шаги в целом.
2. Проанализировать структуру сигнала акселерометра между отдельно взятыми шагами.
3. Сравнить структуры сигналов для шагов одной и другой ногой.

### **Методика проведения эксперимента**

На пояс испытуемого вешается акселерометр (обязательно посередине, чтобы вклад обеих ног был равнозначным). Для имитации неровной походки в один из ботинок испытуемого помещаются дополнительные стельки [3]. Испытуемый ходит по коридору в течение 30 с. Сначала он делает это без дополнительных стелек, что соответствует относительно ровной походке, затем с каждым новым проходом в ботинок добавляется стелька. Данные акселерометра переносятся на компьютер и анализируются с помощью программы MATLAB [4, 5].

### **Алгоритм предлагаемого метода**

#### **1. Анализ общей структуры сигнала акселерометра**

Проанализируем ситуацию, когда испытуемый проходит по коридору и в одном из его ботинок находится пять дополнительных стелек, что соответствует общей высоте порядка 5 мм. Сигнал с вертикальной оси акселерометра в этом случае будет иметь вид, показанный на рис. 1. Данный сигнал после устранения постоянной составляющей (ускорение свободного падения) подвергается сегментации на отдельные шаги (показаны вертикальными линиями).

Рассчитаем длительность шагов раздельно для обеих ног и сравним средние значения. Для этого построим график зависимости, где точками укажем значения длительности шагов: точка ставится на пересечении момента окончания шага по горизонтальной оси и длительности шага по вертикальной. Красным цветом выделены значения для одной ноги, синим – для второй (на текущем этапе исследо-

вания непринципиально, какая из них правая, какая – левая). Горизонтальными линиями обозначены значения средней длительности шага для одной и второй ноги. График представлен на рис. 2.

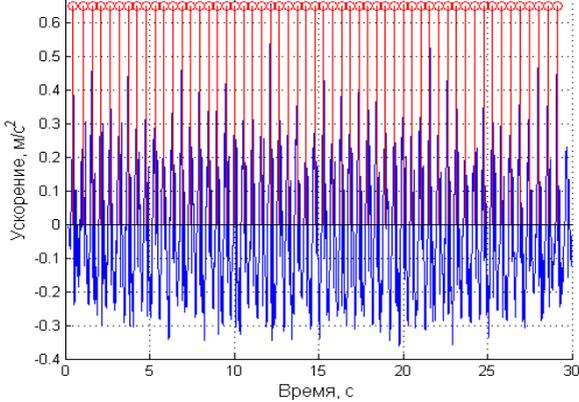


Рис. 1. Сигнал с вертикальной оси акселерометра, сегментированный на шаги, с убранной постоянной составляющей ускорения

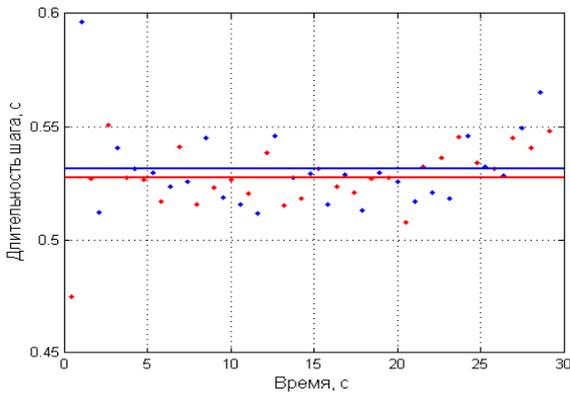


Рис. 2. График зависимости длительности шага от времени

Очевидно, что средние линии для одной и второй ноги имеют расхождение по длительности. Существенное расхождение может быть признаком асимметрии в походке.

Численное значение средней длительности шага одной ногой равно 0,528 с, другой – 0,531 с. Разница средних значений 0,003 с.

## 2. Анализ структуры сигнала акселерометра между отдельно взятыми шагами

Для дальнейшего анализа походки перейдем от рассмотрения совокупности шагов к анализу внутренних структур каждого шага (сегмента). Для этого нанесем на график значения ускорения отдельно взятых шагов и поместим их на одном графике. Красным цветом выделены значения для одной ноги, синим – для второй. Соответствующий график представлен на рис. 3.

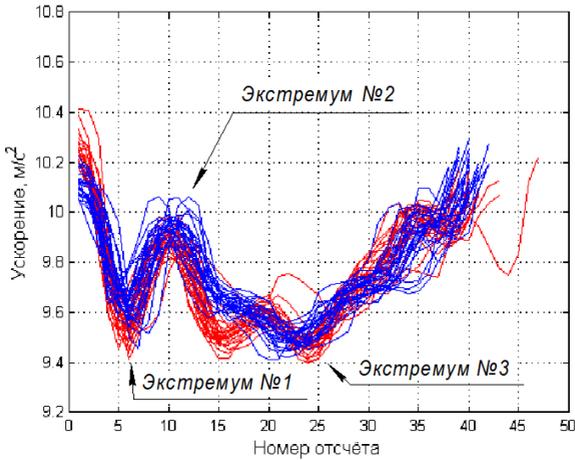


Рис. 3. График зависимости ускорения отдельно взятых шагов от номера значения массива

Визуально можно заметить существенную разницу в поведении зависимостей. Для численной оценки рассмотрим временное местоположение некоторых экстремумов относительно начала шага (указаны на рис. 3) для каждой кривой. Построим график зависимости номера отсчета, которому соответствует экстремум, от номера шага (рис. 4). Красным цветом выделены значения для одной ноги, синим – для второй. Также на графике средними линиями представлены средние значения экстремумов всех шагов. Учитывая, что для рассмотрения взяты всего 3 экстремума, то средних линий будет 6.

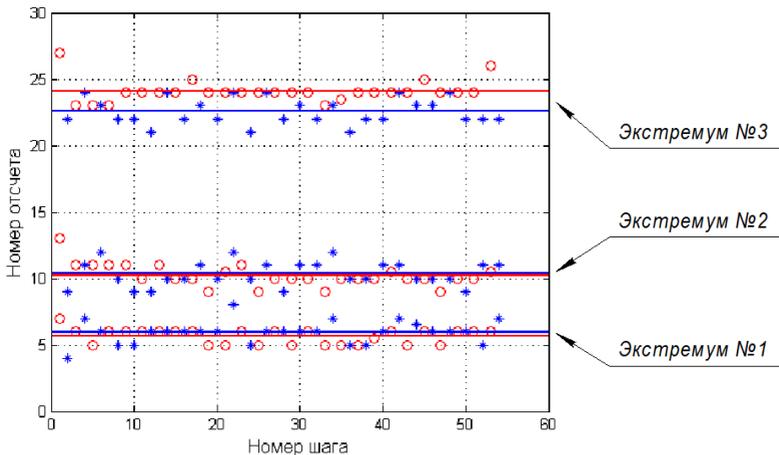


Рис. 4. График зависимости номера отсчета, соответствующего экстремуму, от номера шага

Численное значение разницы средних линий представлено в табл. 1

**Сравнение средних значений экстремумов всех шагов, отсчет**

Номер экстремума	Для первой ноги	Для второй ноги	Разница
1	5,648	5,944	0,296
2	10,240	10,270	0,03
3	24,090	22,560	1,53

**Оценка результатов анализа**

Оценивать полученные результаты следует как графически (визуально), так и численно. В каждом случае можно отметить, что присутствуют расхождения в значениях.

Рассматривая рис. 1 и табл. 1, можно сказать, что средние длительности шага для левой и правой ноги различаются, но незначительно (всего 0,003 с), что можно отнести к погрешностям измерений.

Наибольший интерес представляют рис. 3–4 и табл. 1. На рис. 3 очевидна разница в поведении зависимостей. В случае симметричной походки вид кривых должен повторять друг друга. В данном случае это не так. Следовательно, уже можно предполагать наличие асимметрии в походке.

Рассмотрим рис. 4 и табл. 1. Средние значения первых двух экстремумов для разных ног схожи, а средние значения третьего значительно отличаются. Численно расхождение равно 1,53 отсчета, что может сигнализировать о наличии асимметрии в походке.

**Заключение**

Показан способ выявления асимметрии походки человека на основе анализа временной структуры вертикального ускорения отдельных шагов в процессе ходьбы. Приведенный метод работает во временной области на основе анализа локальных экстремумов сигнала и не требует больших вычислительных ресурсов. По результатам измерений при наличии асимметрии наибольшая средняя разница 0,3–2,0 мс выявляется между экстремумами, обозначенными номерами 3 и 1. Дальнейшее развитие предложенной методики в большей степени будет зависеть от результатов анализа большого числа статистических данных с имитацией разной степени асимметрии. Будут доработаны существующие методы и предложены новые, что даст возможность более точно выявлять признаки и оценивать количественно степень асимметрии походки.

Авторы выражают благодарность директору института информационных систем и защиты информации ГУАП А. М. Тюрликову и студентке кафедры инфокоммуникационных систем ГУАП М. Д. Савиновой за полезные идеи по теме исследования и предоставленные тестовые материалы.

**Библиографический список**

1. Нестругина Е. С. Методика моделирования походки человека // Наук. праці ДонНТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. 2013. № 1 (24). С. 269–274.
2. Скворцов Д. В. Клинический анализ движений. Анализ походки. Иваново: Изд-во НПЦ «Стимул», 1996. 344 с.
3. Borisova M. D., Tomchuk K. K., Turlikov A. M. Correlation Analysis of the Data From a Mobile Device Accelerometer to Detect the Difference in Step Duration // 2020 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). 2020. P. 1–4.
4. Оценка параметров движения нижних конечностей человека с помощью акселерометров / А. О. Кузнецов, А. А. Красковский, С. А. Тараканов [и др.] // Биотехносфера. 2013. № 5 (29). С. 21–26.
5. Овчинников И. А., Коваленко П. П., Ву Т. М. Моделирование походки человека в среде MatLab/Simulink // Изв. высш. учеб. заведений. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 8. С. 690–694.

УДК 621.396.962

**П. А. Шулепина**

студент кафедры радиотехнических систем

**Ю. В. Бакшеева** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ РАДАРА С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ АНТЕННЫ ПРИ АППРОКСИМАЦИИ ТРАЕКТОРНОГО СИГНАЛА ОКНОМ БАРЛЕТТА****Введение**

Причиной появления бортовых радиолокационных станций (РЛС) стала необходимость получения РЛИ. Первыми были панорамные РЛС кругового или секторного обзора, которые позволяли получать двухкоординатное изображение поверхности Земли. Их недостаток – низкая разрешающая способность по азимуту, напрямую зависящая от ширины луча антенны в горизонтальной плоскости.

Одна из важных характеристик бортовых РЛС обзора поверхности – разрешающая способность, с помощью которой формируется детальность РЛИ, возможность обнаружения малогабаритных целей и т. д. В 1950-х гг. была создана РЛС с вдольфюзеляжной антенной (РФА), которая формирует изображение поверхности Земли при движении воздушного судна (ВС). Антенна в РФА устанавливается вдоль фюзеляжа самолета, что позволяет увеличить ее размеры по сравнению с антеннами в панорамных РЛС [1]. Однако при увеличении дальности до цели ухудшается разрешающая способность.

Недостатки панорамных РЛС и РФА удалось решить путем создания РСА, принцип действия которого сильно отличается от принципов действия рассмотренных РЛС.

**1. Принцип действия РСА**

Радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны – это системы, позволившие получить высокую разрешающую способность по азимуту при достаточно малых размерах антенны. Синтезированная апертура формируется в течение некоторого времени в отличие от реальной апертуры. Прием сигнала ведется реальной апертурой, а синтезированная будет результатом последовательного приема отраженного сигнала от объекта при различных положениях ВС [1, 2]. Синтезирование апертуры можно описать на примере прямолинейной апертуры (аналогично линейной антенной решетке) (рис. 1).

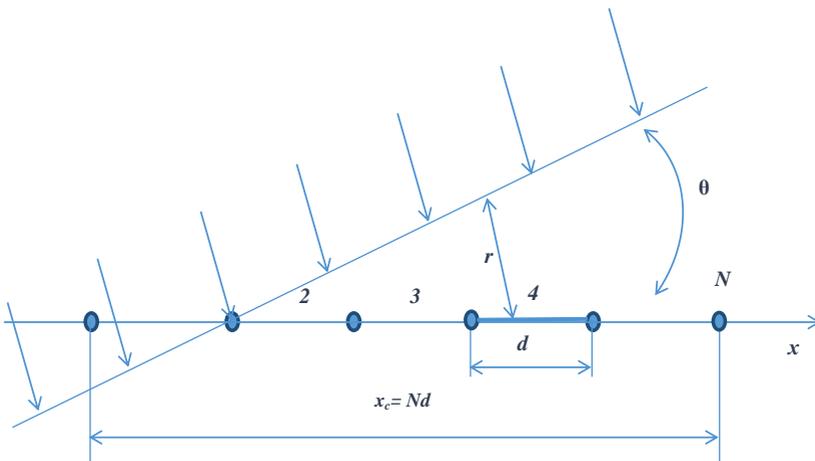


Рис. 1. Формирование диаграммы направленности

ВС перемещается по прямолинейной траектории с постоянной путевой скоростью вдоль оси  $x$ . Траекторию можно считать прямолинейной, так как за единицы секунд она остается неизменной, погрешность составляет доли сантиметра. Антенна РСА обладает малыми размерами и, соответственно, широкой ДН в азимутальной плоскости. В каждый  $(1, 2, \dots, N)$  момент времени антенна излучает зондирующий сигнал и принимает отраженные от цели сигналы (плоские электромагнитные волны (ЭМВ)). Фронт ЭМВ расположен под углом  $\theta$  относительно траектории ВС. В процессоре обработки сигналов РСА имеется устройство, которое запоминает амплитуду и набег фазы принятой волны, таким образом, формируется траекторный сигнал [1].

Размер апертуры синтезированной антенны равен  $x_c = Nd$ , так как размер реальной антенны  $d$ , а перемещение от текущего положения ВС к следующему также равно  $d$ .

С помощью синтезированной апертуры (СА) разрешение по угловой координате уменьшается в  $N$  раз.

## 2. Обработка сигналов для формирования РЛИ

Существует множество видов обработки сигналов для формирования РЛИ, основные из них представлены в табл. 1.

Таблица 1

### Виды обработки сигналов сигнальным процессором в зависимости от параметров поля

Вид обработки	Суть
Поляризационная обработка	При полном поляризационном зондировании приемная антенна формирует 4 канала различной поляризации сигнала при условии одновременного излучения электромагнитных волн с горизонтальной (Г) и вертикальной (В) поляризацией (ГГ, ВВ, ГВ, ВГ). Поляризационная обработка значительно повышает характеристики обнаружения и особенно распознавания целей среди множества объектов и ложных целей
Пространственная обработка	Совместная обработка сигналов, которые формируются в отдельных каналах. В простейшем случае все сигналы элементов фазированной антенной решетки (ФАР) суммируются когерентно, образуя однолучевую (суммарную) ДН антенны
Внутрипериодная обработка	Обработка в «быстром» времени. Зондирующий сигнал в РСА является когерентно-импульсным периодическим. Во всех периодах повторения импульсов отраженный сигнал несет информацию о цели. Задержка огибающей сигнала определяет дальность до цели, а изменение фазы сигнала цели относительно опорного колебания определяется изменением расстояния до цели относительно фазового центра антенны и является источником информации для синтеза апертуры. Обычно внутрипериодная обработка сигналов – это согласованная обработка – «сжатие» сигналов по дальности, т. е. на данном этапе производится фильтрация сигналов от шумов и получение заданного разрешения по дальности [2]
Межпериодная (траекторная) обработка	Обработка в «медленном» времени. Основная задача этого этапа – «сжатие» сигналов по азимуту. В результате траекторной обработки получается детальное изображение функции отражения целей [2]

В данной статье будет рассмотрено формирование РЛИ от точечного источника (цели) с помощью межпериодной обработки сигналов.

## 3. Исходные данные для формирования изображения

ВС движется по прямолинейной траектории (рис. 2), точечная цель находится в точке с координатами  $(x_c; R_0)$ .

Для решения задачи формирования изображения от точечного объекта был использован пакет MatLab.

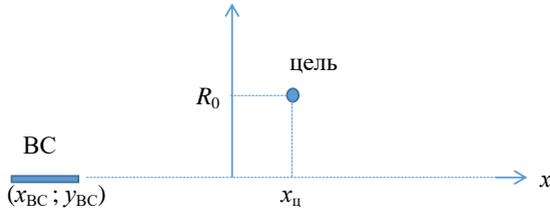


Рис. 2. Расположение ВС и точечной цели

Частота зондирующего сигнала равна 5,6 ГГц, ширина полосы пропускания 100 МГц. В качестве зондирующего сигнала был использован сигнал с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ-сигнал). Цель находится в точке с координатами (100 м; 10 км).

#### 4. Результаты проведенной работы

ДН можно учесть, введя взвешивание по «медленному» времени. В данной статье исследовано влияние окна Барлетта (рис. 3) на РЛИ. Результаты работы представлены на рис. 4.

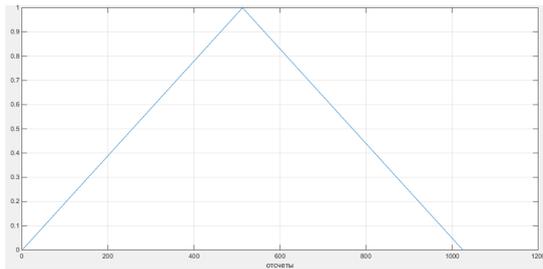


Рис. 3. Окно Барлетта (треугольное)

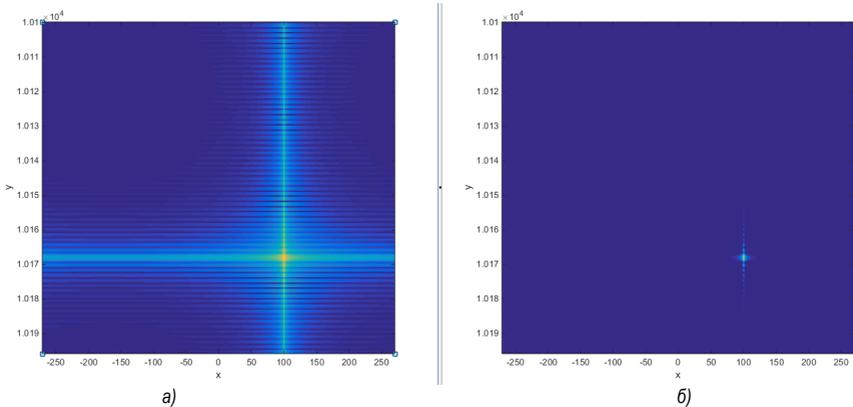


Рис. 4. РЛИ без учета ДН антенны (а) и РЛИ, полученное при аппроксимации спектра ЛЧМ-сигнала функцией ДН антенны – окном Барлетта (б)

Без учета ДН антенны РЛИ становится неточным, отметка о цели получается протяженной – около 40 м, при аппроксимации треугольным окном [3] – менее 5 м.

#### **Заключение**

Таким образом, сформирована модель изображения радара с синтезированной апертурой антенны, полученная без учета ДН антенны и при аппроксимации спектра ЛЧМ-сигнала ДН в виде треугольного окна. Без учета формы ДН изображение точечной цели получается протяженным. Окно Барлетта обеспечивает уменьшение протяженности отметки о цели с 40 м до приблизительно 4 м.

#### **Библиографический список**

1. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / В. Н. Антипов, В. Т. Горяинов, А. Н. Кулин [и др.]; под ред. В. Т. Горяинова. М.: Радио и связь, 1988. 304 с.
2. Радиолокационные станции обзора Земли / Г. С. Кондратенков, В. А. Потехин, А. П. Реутов, Ю. А. Феокситов; под ред. Г. С. Кондратенкова. М.: Радио и связь, 1983. 272 с.
3. Монаков А. А. Основы цифровой обработки сигналов: дискретные сигналы и цифровые фильтры: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2008. 11 с.

## Конструирование и технологии электронных и лазерных средств

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

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НИКЕЛЬ-ВОДОРОДНОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Один из элементов системы электроснабжения космического аппарата, определяющих срок его службы и мощность, – аккумуляторная батарея. В настоящее время в качестве вторичного источника питания для космических аппаратов с длительными сроками активного существования часто выбирают никель-водородные аккумуляторные батареи (НВАБ) благодаря их высокой удельной энергии, большому сроку эксплуатации и высокой эксплуатационной надежности.

В процессе эксплуатации НВАБ ее тепловыделение значительно изменяется в зависимости от множества факторов (режима работы, текущей емкости и температуры, изменения сопротивления окисно-никелевого электрода со временем и др.) и может достигать 20...30 % от полезной мощности [1]. Эксплуатация аккумуляторной батареи в диапазоне 0...40 °С значительно снижает ее КПД и срок службы, поэтому целесообразно создание системы термостабилизации (СТС), способной обеспечить значительно более узкий температурный диапазон. При этом к современным аккумуляторным батареям и их системам термостабилизации как части космического аппарата предъявляется требование минимизации их массогабаритных характеристик. Проблеме обеспечения теплоотвода от НВАБ для поддержания оптимального теплового режима и посвящена данная статья, задачами будут рассмотрены устройства НВАБ и ее системы термостабилизации с анализом достоинств и недостатков.

Рассмотрим структуру НВАБ (рис. 1, 2). Она состоит из двух блоков, каждый из которых содержит металлическую теплопроводящую прямоугольную плиту 1 с аккумуляторами 2, расположенными методом «плотной упаковки», оси которых перпендикулярны поверхности плиты 1. На внутренней поверхности отверстий выполнена коническая резьба, в которую ввернуты тонкостенные металлические стаканы 3. Внутренние цилиндрические поверхности стаканов 3 через слой теплопроводящего эластичного вещества 4 находятся в тепловом контакте с наружными цилиндрическими поверхностями

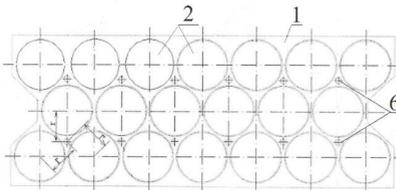


Рис. 1. Вид сверху на НВАБ с системой термостабилизации

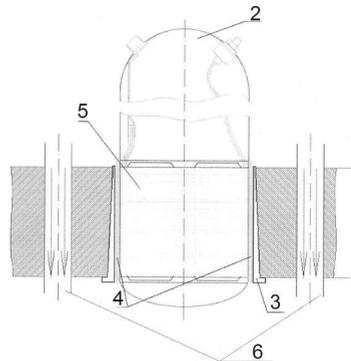


Рис. 2. Устройство аккумулятора и системы термостабилизации

корпусов аккумуляторов 2. При этом боковые цилиндрические поверхности электродных блоков 5 располагаются на одном уровне с плитой 1, для чего толщина плиты 1 принимается равной высоте электродных блоков 5. Гидравлическая магистраль выполнена в виде разветвленных каналов 6 круглого поперечного сечения в плите 1, объединенных общими входным и выходным коллекторами. Оси каналов 6 перпендикулярны поверхностям плиты 1 и равноудалены от осей симметрии центральных и периферийных аккумуляторов [2].

Отвод тепловой энергии с аккумуляторов осуществляется жидким теплоносителем системы термостабилизации, прокачиваемым по каналам гидравлической магистрали. За счет равенства тепловых сопротивлений между отдельными аккумуляторами и гидравлической магистралью достигается относительное равенство температур аккумуляторов. Равенство температур на входе каналов обеспечивается их параллельным соединением, а на выходе – равенством расходов, для чего гидравлическое сопротивление каналов должно быть больше гидравлического сопротивления входного и выходного коллекторов, что достигается выбором проходного сечения коллекторов, в 1,5...2,0 раза превышающее суммарное сечение каналов.

Достоинство описываемой системы термостабилизации НВАБ состоит в возможности поддержания температуры аккумуляторов в узком оптимальном диапазоне с одновременным исключением присоединенной массы и энергопотребления служебных устройств (позлементная диагностика, байпасные ячейки), что обеспечивает более высокую удельную энергию батареи, по сравнению со многими аналогами, и существенно повышает надежность системы электроснабжения космического аппарата благодаря отсутствию сложной легко выходящей из строя электроники и датчиков.

Недостатки батареи определяются ее конструкцией. Электродные блоки не находятся в тепловом контакте с корпусами аккумуляторов, потому что необходим газовый зазор, электрически изолирующий электродный блок от корпуса. В то же время теплоотвод осуществляется только с внешней поверхности корпусов аккумуляторов, что приводит к возникновению перепада температур газового зазора между центральными частями электродных блоков, где температура максимальна, и поверхностью теплопровода. Также перепад температур существует между корпусами аккумуляторов и жидким теплоносителем СТС из-за большого теплового сопротивления перешейки плиты между аккумуляторами при методе плотной упаковки. Данные перепады температур влияют на расширение аккумуляторов по емкости, что несколько ограничивает энергетические возможности и срок службы НВАБ [3].

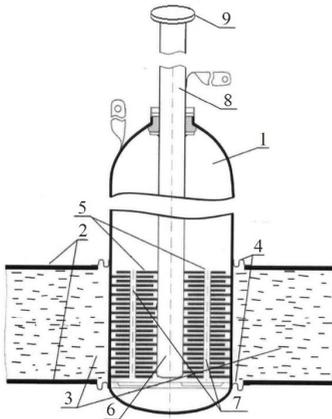


Рис. 3. Конструкция НВАБ и системы термостабилизации с тепловой трубой

Конструкция НВАБ с СТС, в которой устранена проблема ранее обозначенных перепадов температур, приведена на рис. 3. Аналогично конструкции рассмотренной батареи, аккумуляторы 1 располагаются методом «плотной упаковки» в отверстиях теплопроводной плиты, но здесь конструкция плиты выполнена в виде неэлектропроводных пластин 2 и неэлектропроводного энергоемкого вещества 3 между ними, и оси аккумуляторов 1 перпендикулярны поверхностям пластин 2. Аккумуляторы 1 закреплены через мембраны 4 так, что боковые цилиндрические поверхности электродных блоков 5 аккумуляторов 1 расположены напротив слоя неэлектропроводного энергоемкого вещества 3 для обеспечения теплового контакта с внешними поверхностями корпусов аккумуляторов 1, которые находятся в тепловом электрическом контакте с электродами одной полярности электродных блоков 5. Через центральные области электродных блоков 5 проходит испарительные концы 6 тепловых труб, которые находятся в тепловом и электрическом контакте с электродами другой полярности электродных блоков 5. В электродах обеих полярностей выполнены отверстия 7 с суммарным сечением, достаточным для выравнивания давления водорода, выделяемого/поглощаемого электродными блоками 5, по всем внутренним объемам аккумуляторов 1. Электрически изолированные

от корпусов аккумуляторов 1 корпуса 8 тепловых труб являются одновременно тепловыми конденсаторами. Конденсаторные концы 9 тепловых труб находятся в тепловом контакте с радиационным теплообменником [4].

Принцип работы данной СТС следующий. При активной работе аккумуляторной батареи (как правило, это заход космического аппарата в тень с последующим отключением нагрузки от солнечных батарей) увеличивается ее мощность тепловыделения, а значит, повышается температура. Включается тепловая труба, и энергоемкое вещество 3 начинает переходить из твердой фазы в жидкую. К концу фазы нагрузки энергоемкое вещество 3 находится в жидкой фазе. После окончания активного цикла нагрузки падает мощность тепловыделения и температура НВАБ, энергоемкое вещество 3 начинает переходить в твердую фазу, а работающая тепловая труба способствует этому. Тепловая труба позволяет энергоемкому веществу 3 переходить в твердое состояние и при заряде аккумулятора. Если радиационный теплообменник начинает облучаться Солнцем, его температура и, соответственно, температура конденсаторных концов 9 тепловых труб повышается, и они автоматически отключаются в силу устройства тепловой трубы. В случае отрицательного теплового баланса стабилизация температуры аккумуляторов продолжается за счет оставшегося в жидкой фазе энергоемкого вещества 3 и продолжается до его полного перехода в твердую фазу.

Дополнительным достоинством данных батареи и СТС выступает значительное снижение вредного влияния расхождения отдельных аккумуляторов по емкости в результате стабилизации температуры электродного блока. Это осуществляется за счет минимального теплового сопротивления между электродным блоком и энергоемким веществом (достигается благодаря исключению теплового сопротивления перешейки между аккумуляторами и каналами с теплоносителями и непосредственному контакту электродов одной полярности с корпусом аккумуляторов), а также электродным блоком и испарительным концом тепловой трубы (достигается за счет непосредственного контакта электродов другой полярности с тепловой трубой), что обеспечивает постоянную оптимальную температуру при фазовых переходах: «твердое – жидкое – твердое» энергоемкого вещества и «жидкое – газообразное – жидкое» в тепловой трубе. В результате увеличивается разрешенная безопасная глубина циклирования, что равнозначно уменьшению ресурсного спада удельной энергии батареи. Существенный недостаток данной системы – необходимость изменения отработанных конструкций аккумуляторов.

Как показывает пример первой СТС, на современном этапе развития НВАБ возможна их эксплуатация в близком к оптимальному температурном диапазоне. В то же время для дальнейшего совершенствования удельных энергетических характеристик НВАБ путем оптимизации ее теплового режима перспективным вариантом считается изменение конструкций НВАБ с СТС для устранения тепловых сопротивлений, вызванных типовой конструкцией, как это продемонстрировано на примере второй НВАБ и ее СТС.

#### Библиографический список

1. Ларин В. П., Желудева К. В. Проблемы проектирования системы электроснабжения гиперзвукового летательного аппарата // IN SITU: науч. период. изд. М.: ЕФИР. 2016. № 4. С. 33–37.
2. Патент № 2339125 Российская Федерация, МПК Н01М 10/44. Аккумуляторная батарея космического аппарата / Базилевский А.Б., Лелеков А.Т., Лукьяненко М.В., Ляшенко С.Г. 2007.
3. Сахнов М. Ю. Управление режимом работы никель-водородных аккумуляторных батарей с большим количеством аккумуляторов в составе геостационарных космических аппаратов // Вестн. Сиб. гос. аэрокосм. ун-та им. акад. М. Ф. Решетнева. 2008. № 2(19). С. 137–142.
4. Ляшенко С. Г. Работа оптимизированной никель-водородной аккумуляторной батареи космического аппарата // Холодильн. техника и кондиционирование. 2010. № 1. С. 32–34.

УДК 543.42

**В. В. Кумаев**

магистрант кафедры конструирования и технологии электронных и лазерных средств

**М. А. Ваганов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО УГЛЕВОДОРОДА  
ПРИ ПОМОЩИ СПЕКТРАЛЬНОГО ПРИБОРА OCEAN OPTICS**

*Работа выполнена при финансовой поддержке российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), проект № 20-07-00648.*

Экологическая ситуация в мире с каждым годом ухудшается из-за пагубного влияния человека. Последнее проявляется в повышении температуры на нашей планете, вызванной парниковым эффектом и приводящей к таянию ледников, увеличению уровня Мирового океана, к росту интенсивности аномальных засух, ливней и штормов. Отдельно можно выделить непосредственно загрязнение биосферы и атмосферы планеты, обусловленное промышленной деятельностью человека. В данной статье рассматривается загрязнение воздуха, вызванное сжиганием газообразного углеводорода в промышленных масштабах, которое негативно влияет на фауну.

Современная автоматика в теплоэнергетических установках состоит из сложной и взаимосвязанной системы датчиков, управляемых механизмов, приборов контроля и системы сигнализации. Одни из самых важных параметров для работы установки – расход, температура и давление воды на входе и выходе из котла; расход, температура и давление окислителя (воздуха); температура и давление внутри топочной камеры; состав и концентрация горючих газов, продуктов окисления ( $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ) и побочных элементов окисления ( $\text{CO}$ ,  $\text{C}_2$  и  $\text{CH}_4$ ) в камере, а также состав и концентрация дымовых газов. Данная система отвечает большинству поставленных для нее задач, но не способна в полной мере уменьшить вредные выбросы, вызванные окислением газа в топочной камере. Причина кроется в большом количестве приборов, датчиков и узлов управления, обладающих собственными инерционностью и временем срабатывания, неспособных мгновенно среагировать на изменение процесса горения, а также в отсутствии в автоматике тонкой корректировки газовоздушной смеси [1].

Процесс горения газообразного углеводородного топлива, основную часть которого (от 76 до 98 %) составляет метан ( $\text{CH}_4$ ), состоит в химическом соединении его с кислородом и протекает в виде разветвленной цепной реакции с большим выделением тепла [2]. Горение метана делится на две стадии: 1) быстрое горение во фронте пламени, при котором практически расходуется весь кислород; 2) относительно медленное изменение состава газовой смеси ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$  и  $\text{CH}_4$ ), протекающее в отсутствие свободного кислорода. Большое значение имеет соотношение «воздух – газ» в смеси, входящей во фронт пламени [3]. При этом внешний вид пламени и его спектр изменяются в зависимости от соотношения «воздух – газ» в смеси, давления и скорости подачи воздуха. В работе будет представлен вариант решения проблемы вредных выбросов и недожженного газа в атмосферу при применении прикладной оптической спектроскопии. Предполагается ее внедрение в существующую систему автоматического контроля и управления котельной установкой для работы системы подачи топливной смеси.

**Описание лабораторной установки**

Исследование процесса горения проводится на двух различных по типу горелках с одинаковым давлением газа (3,5 кПа). В газовоздушной со сжатым воздухом (рис. 1) регулировка сжатого воздуха, подаваемого с компрессора, осуществляется при помощи редуктора на компрессоре (понижение выходного давления с компрессора до 10–15 psi), вентиля и манометров (далее в систему будет установлены ротаметры и более точные манометры).

В качестве измерительного прибора применяется спектральный прибор Ocean Optics USB2000+ (рис. 2). Он объединяет АЦП с частотой 2 МГц, программируемую электронику, линейный ПЗС-детектор с 2048 элементами и скоростной интерфейс USB 2.0.

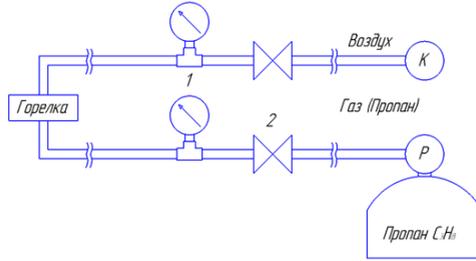


Рис. 1. Схема системы регулировки подачи газа и сжатого воздуха для макета:  
1 – манометр; 2 – газовый вентиль; К – компрессор; Р – газовый редуктор

Эта комбинация компонентов обеспечивает высокую скорость работы и разрешение до 0,035 нм (FWHM). При подключении к порту USB 2.0 полный спектр передается в память компьютера каждую миллисекунду (1 000 полных спектров за секунду). USB2000+ подходит для химических, биохимических и других применений, где требуется контроль быстротекущих реакций. Детектор спектрометра чувствителен в диапазоне 200–1 100 нм.

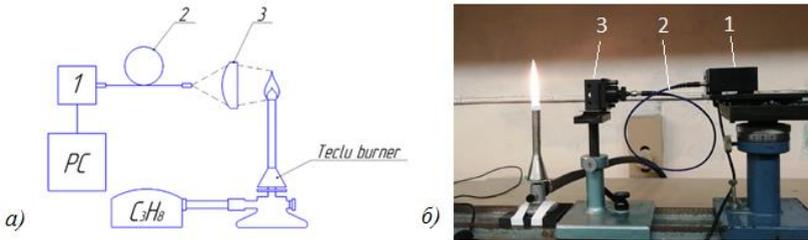


Рис. 2. Схема лабораторного макета (а) и фотография эксперимента (б): 1 – спектрометр Ocean Optics USB2000+; 2 – волоконно-оптический кабель; 3 – собирающая линза

### Результаты эксперимента при использовании газоздушной горелки и спектрального прибора Ocean Optics

Эксперимент был поделен на три части: поджог чистого пропана без подачи воздуха (создание оранжево-красного пламени) (рис. 3), незначительная подача воздуха (появление синего пламени с оранжевым фронтом) и создание условия избытка воздуха (прозрачное пламя с зелено-синим фронтом).

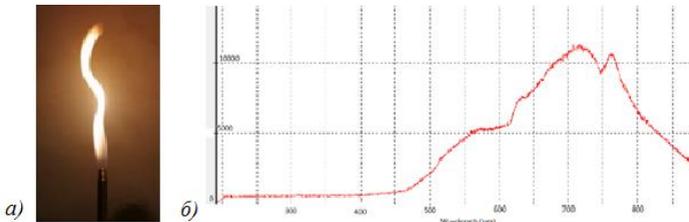


Рис. 3. Спектр излучения, возникающий при горении пропана без подачи окислителя:  
а) – фотография пламени двухкомпонентной горелки; б) – спектрограмма

При перекрытии подачи воздуха получаем яркое светящиеся пламя, спектр которого имеет в основном сплошной характер, обусловленный тепловым излучением угольных частиц (рис. 4).

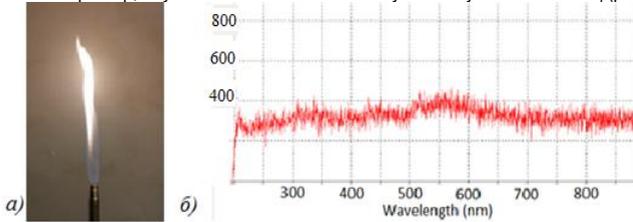


Рис. 4. Спектр излучения, возникающий при горении пропана с незначительной подачей воздуха:  
а) – фотография пламени двухкомпонентной горелки; б) – спектрограмма

При небольшой подаче окислителя (воздуха) яркое пламя желтого цвета становится значительно менее ярким, прозрачно-сине-фиолетовым, называемым несветящимся (рис. 5). Увеличение подачи воздуха разделяет пламя на два конуса: внутренний – ярко-сине-зеленого цвета и внешний – гораздо более интенсивный, сине-фиолетового цвета.

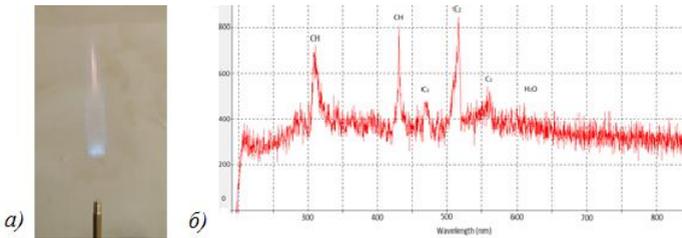


Рис. 5. Спектр излучения, возникающий при горении пропана с избыточной подачей воздуха:  
а) – фотография пламени двухкомпонентной горелки; б) – спектрограмма

При изучении бунзеновского пламени можно заметить, что его внешний вид и, следовательно, спектральные характеристики изменяются в зависимости от скорости и объема подаваемого воздуха, которые в случае применения горелки типа Теклю определяются воздушным зазором между камерой и регулировочным винтом, а при использовании двухкомпонентной горелки – выходным давлением с компрессора и поворотом регулировочного винта на макете.

Самыми интенсивными системами в спектрах пламени являются системы полос таких радикалов, как OH (длина волны  $\lambda$ : 308–320, 326, 342 и 349 нм), CH (длина волны  $\lambda$ : 310–320, 431–438 нм),  $C_2$  (длина волны  $\lambda$ : 467–472, 513–516, 559–564 нм). В видимом диапазоне длин волн наблюдаются три основные группы полос: CH (431–438 нм),  $C_2$  (467–472, 513–516, 559–564 нм) и молекулы воды на длинах волн 591 и от 616 до 625 нм. Свечения CH и  $C_2$  наиболее ярко выражены при изменении состава газозооной смеси, а именно при увеличении подаваемого объема воздуха относительно газа. В ультрафиолетовой части спектра наиболее отчетливо видна полоса OH в диапазоне от 306 до 320 нм и не очень интенсивная система, состоящая из большого числа полос (301–358 нм) [4].

В данной работе была исследована зависимость изменения процесса горения пропана от изменения соотношения подаваемой газозооной смеси при применении спектроскопического метода исследования. В рамках исследования был разработан стенд с горелкой, с системой подачи топлива и воздуха. Были проведены эксперименты для трех режимов горения на газовой горелке. Получены спектральные характеристики излучения, возникшие в результате горения газообразного углеводорода, при помощи спектрального прибора Ocean Optics USB2000+; зависимости изменений спектров из-

лучения от изменения соотношения «газ – воздух». Были изучены полученные спектры и определены вещества, относящиеся к каждому из них.

**Библиографический список**

1. Павлов И. И., Федоров М. Н. Котельные установки и тепловые сети. М.: Стройиздат, 1972. 301 с.
2. Большая энциклопедия нефти и газа. URL: <https://www.ngpedia.ru/id344638p1.html> (дата обращения: 15.05.2021).
3. Белоусов В. Н., Смородин С. Н., Смирнова О. С. Топливо и теория горения. Ч. 2: Теория горения. СПб.: СПбГТУРП. 2011. 142 с.
4. Гейдон А. Г. Спектроскопия и теория горения / пер. с англ. В. В. Воеводского. М.: АН СССР. 1950. 308 с.

УДК 543.421, 544.452

**Т. С. Мисникова**

магистрант кафедры конструирования и технологии электронных и лазерных средств

**М. А. Ваганов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ  
МЕТОДАМИ ПРИКЛАДНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ): проект № 20-07-00648.*

Тепловые электрические станции (ТЭС), на которых энергия вырабатывается с использованием химической энергии сжигаемого органического топлива, производят большую часть энергии в мире. При этом особую актуальность приобретает проблема совершенствования сжигания топлива с целью повышения эффективности его использования и защиты окружающей среды. Оптимизация горения – один из способов снижения выброса вредных веществ. Соотношение «воздух – топливо» определяет эффективность горения, для ее повышения необходимо найти баланс между топливом и воздухом.

Горение – сложный динамический процесс с постоянно изменяющимся составом, его контроль требует точных и совершенных методов и технических средств, среди них методы оптической спектроскопии. В настоящее время это единственный экспериментальный метод, позволяющий изучать кинетику и механику реакции, не нарушая и не прерывая ее.

Процесс горения представляет собой сложный физико-химический процесс трансформации составляющих горючей смеси в продукты сгорания с выделением теплового излучения, света и лучистой энергии. Состав топлива – одна из главных его характеристик, определяющая ряд показателей, используемых для анализа процессов, происходящих в разных топливоиспользующих установках. Все топливо можно разделить на две группы: природное и искусственное. К природному относятся органическое топливо (содержит углерод и его соединения), непосредственно добываемое из недр земли: уголь, торф, сланцы, нефть, природный газ. Искусственное топливо получают в результате переработки природного на газовых, нефтеперерабатывающих, металлургических предприятиях: кокс, полукокс, доменный, коксовый, генераторный газ, газ пиролиза нефти, мазут [1].

Газовое топливо (природное или искусственное) состоит из смеси горючих и негорючих газов. Состав определяется содержанием, соответствующих газов [2]: CO, H<sub>2</sub>,  $\sum C_mH_n$ , H<sub>2</sub>S – горючая часть; CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> – негорючая часть (балласт);  $\sum C_mH_n = C_nH_4 + C_2H_6 + C_3H_8 + C_4H_{10} + C_5H_{12}$  – суммарное содержание углеводородов – метана, этана, пропана, бутана, пентана соответственно. Углерод (C), водород (H), кислород (O<sub>2</sub>), азот (N<sub>2</sub>) и сера (S) – основные химические элементы, входящие в состав любого твердого или жидкого топлива.

В основе процесса горения топлива лежат химические реакции окисления его горючих компонентов: углерода C, водорода H и серы S – для твердого и жидкого топлива и углеводородов C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>, монооксида углерода CO, водорода H<sub>2</sub> и сероводорода H<sub>2</sub>S – для горючих газов. При горении углерода полным его окислении образуется CO<sub>2</sub>. H<sub>2</sub>O образуется при горении водорода, SO<sub>2</sub> – при горении серы. Атмосферный воздух, который представляет собой смесь газообразных веществ, используется как окислитель при сжигании топлива в котельных агрегатах.

При точном подборе нужного для окисления количества воздуха и полном сгорании топлива газообразные продукты не содержат кислород и состоят только из CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O. Монооксид углерода (CO), углеводороды типа CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> и бенз(а)пирен C<sub>20</sub>H<sub>12</sub> содержатся в дымовых газах при неполном сгорании топлива. Монооксид углерода – чрезвычайно сильный отравляющий газ, при содержании в воздухе которого от 0,4 до 0,5 % вдыхание воздуха в течение нескольких минут уже опасно для жизни. Наиболее токсичным веществом в продуктах горения является бенз(а)пирен, образующийся в результате неполного сгорания топлива из-за неудовлетворительного смешения топлива и окислителя.

Важнейшая характеристика эффективности процесса сжигания топлива – коэффициент избытка воздуха [2]. Оптимальным принимается такой, при котором сумма потерь теплоты сгорания с отходящими газами и от так называемого химического недожога минимальны.

Режимы горения в большинстве случаев оптимизируются периодически. Составляются режимные карты, на основании которых поддерживается оптимальное соотношение «топливо – воздух» при номинальной нагрузке. Результатом становятся перерасход топлива и существенное падение КПД котла, в частности на малых нагрузках [5]. Такой способ недостаточно эффективен и не позволяет вести учет изменения температуры и влажности топлива и воздуха, теплотворной способности и температуры газа и ряда других внешних факторов. Одним из способов контроля и оптимизации процесса горения является анализ состава продуктов сгорания, информация о содержании которых может использоваться для измерения коэффициента избытка воздуха, с его последующей корректировкой.

В настоящее время известно несколько способов контроля процессов горения по составу продуктов сгорания [1]: по концентрации остаточного кислорода ( $O_2$ ) в продуктах сгорания; по концентрации продуктов химсодожага (СО); с использованием совместной информации о концентрации  $O_2$  и продуктов неполного горения (СО). Наиболее объективным считается совместный непрерывный анализ содержания кислорода и угарного газа, который можно проводить, используя электрохимические и парамагнитные датчики, но они имеют низкое быстродействие, сложны в эксплуатации и требуют постоянного удаления конденсата и пыли.

Все более широкое распространение на практике получают оптические методы контроля процессов горения: измерение температуры, определение контраста цветовых компонентов пламени, спектроскопические методы и т. п. Дистанционный контроль температурных полей и температур в локальных областях топки представляет собой метод измерения температуры. В основе метода контроля качества горения на базе определения контраста цветовых компонентов пламени лежит взаимосвязь коэффициента избытка воздуха с параметрами цветного изображения пламени, получаемого с помощью цифровой видеокамеры [3]. В указанных методах определение качества горения выполняется по косвенному признаку, без количественного и качественного определения продуктов горения.

Поскольку процесс горения характеризуется целым рядом информационных параметров, в том числе спектроскопических, в данной работе для решения задачи его контроля предлагается применение методов прикладной оптической спектроскопии. Особенное значение спектроскопические методы приобретают при изучении сложных химических реакций при горении, в ходе которых в реагирующей системе возникают и исчезают разнообразные промежуточные вещества. Поскольку в большинстве случаев эти вещества обладают весьма малой продолжительностью жизни, обычный химический анализ в данном случае оказывается бессильным; спектроскопический же метод в принципе позволяет не только идентифицировать отдельные промежуточные вещества, но и также измерять их концентрацию и установить их роль в механизме реакции.

Спектральный состав испускаемого излучения – один из объективных источников информации о процессах горения. Качественный и количественный анализ излучения пламени проводится в трех основных диапазонах спектра: ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном, а его спектральный состав характеризуется тремя типами спектров [5]: линейчатыми, обусловленными испусканием света свободными атомами химических элементов, участвующих в процессе горения; полосатыми в видимой и ультрафиолетовой областях, соответствующими электронным переходам в молекулах, и непрерывными, детерминированными излучением или поглощением света частицами веществ, находящихся в твердой или жидкой фазах, например частицами сажи. Среди наиболее распространенных методов оптической спектроскопии, применяемых для контроля процессов горения, можно выделить методы лазерной искровой спектроскопии (LIBS-спектроскопия), эмиссионной оптической спектроскопии, спектроскопию комбинационного рассеяния и др.

Методы лазерной искровой спектроскопии (LIBS-спектроскопия) базируются на измерениях спектра вторичной эмиссии, возбуждаемого в процессе образования и развития плазмы на поверхности или в объеме анализируемого вещества. Обычно для создания такой плазмы используется мощное излучение лазера. Методы лазерной искровой спектроскопии позволяют в режиме реального времени при горении контролировать соотношение «воздух – топливо». Например, в работе [4] при горении метановоздушной смеси оно вычислялось на основе измерения интенсивностей излучений водорода Н (656,3 нм) и кислорода О (777 нм) и определения их отношения. Было показано, что соотношение «воздух – топливо» линейно возрастает с увеличением отношения интенсивности водорода к кислороду Н/О.

Метод оптической эмиссионной спектроскопии – один из наиболее распространенных методов анализа, принцип его действия основан на регистрации спектра испускаемого оптического излучения очагом горения. Например, при горении газообразного углеводородного топлива спектр испускаемого излучения характеризуется системами полос таких радикалов, как OH (длина волны  $\lambda$ : 308–320, 326, 342 и 349 нм), CH ( $\lambda$ : 310–320, 431–438 нм), C<sub>2</sub> ( $\lambda$ : 467–472, 513–516, 559–564 нм), CN ( $\lambda$ : 358–389 нм), поскольку у этих радикалов резонансные переходы из основных электронных состояний в нижние возбужденные имеют относительно низкие энергии [5].

В инфракрасной области наиболее интенсивная инфракрасная полоса около 4,4 мкм принадлежит CO<sub>2</sub>, а полоса в области 2,8 мкм вызвана основными продуктами горения CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O. В инфракрасных спектрах наблюдаются также слабые полосы CO и OH [5]. Из-за большого фонового излучения элементов топлики в этой области спектра контроль пламени на основе этих полос излучения крайне затруднителен.

Спектроскопия когерентного рассеяния – признанный высокочувствительный невозмущающий метод локальных измерений температуры и состава газовых смесей, в том числе выходящих газов в теплоэнергетических установках. В работе [6] продемонстрирована возможность определения температуры пламени и мольной доли азота (N<sub>2</sub>), кислорода (O<sub>2</sub>) и диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) в ламинарном плоском пламени метановоздушной смеси и зависимость коэффициента  $\alpha$  от их концентрации.

В настоящей работе для решения задачи контроля процессов горения предложено применение методов прикладной оптической спектроскопии, где в качестве прибора контроля применяется спектрометр, который исследует оптическое излучение как сигнал, несущий спектроскопическую информацию о процессе горения, и может заменить большую часть контрольно-измерительной аппаратуры, расположенной на объекте. Главной характеристикой топлива, определяющей ряд показателей, используемых для анализа процессов, происходящих в разных топливоиспользующих установках, выступает его состав. Поэтому приведен состав различных видов топлива и описаны методы контроля его горения. Выполнен обзор спектроскопических методов контроля процессов горения и информативных параметров, характеризующих горение для каждого метода.

#### Библиографический список

1. Соколов Б. А. Котельные установки и их эксплуатация. Изд. 2-е, испр. М.: Академия, 2007. 432 с.
2. Теория топочных процессов / Г. Ф. Кнорре, К. М. Арефьев, А. Г. Блох [и др.]; под ред. Г. Ф. Кнорре, И. И. Палева. М.: Энергия, 1966. 491 с.
3. Патрахин Ю. В., Пронин С. П., Зрюмов Е. А. Метод контроля качества горения газозвушной смеси по контрасту цветовых компонентов пламени в топке котельного агрегата // Ползунов. альм. 2012. № 2. С. 92–95.
4. Phous T. X., White E. P. Laser-induced spark for measurements of the fuel-to-air ratio of a combustible mixture. URL: <https://inlnk.ru/bnXZy> (дата обращения: 22.02.21).
5. Гейдон А. Спектроскопия и теория горения / пер. с англ. В. В. Воеводского; под ред. [и с предисл.] В. Н. Кондратьева. М.: Изд-во иностр. лит., 1950. 308 с.
6. Bahr L. A. Shifted-excitation rotational Raman spectroscopy and Bayesian inference for in situ temperature and composition determination in laminar flames // J. of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer. 2020. № 249. 106996.

УДК 629.05

**К. А. Никифоров**

студент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

**О. П. Куркова** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ СВЕРХМАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Одно из основных направлений технического прогресса в современном мире – миниатюризация компонентов, узлов, устройств и т. д. Не осталась в стороне от данной тенденции и область космической техники. Широко известный иностранный стандарт спутников CubeSat предьявляет строгие требования к габаритам собственных бортовых систем. В данной статье будет рассмотрен один из вариантов решения проблемы разработки энергоэффективной системы электропитания (СЭП) для сверхмалого космического аппарата (СМКА).

Одна из проблем СМКА – их низкий ресурс. С одной стороны, он должен способствовать увеличению количества запусков, с другой – снижает возможности аппарата и, как следствие, ограничивает количество заказчиков, заинтересованных в таком формате [1].

В целях создания перспективных систем на базе СМКА основные усилия разработчиков направлены на решение ряда научно-технических и технологических проблем: разработка базовых элементов систем энергообеспечения КА – высокоэнергетических первичных источников тока, аккумуляторных батарей (АБ), аппаратуры регулирования и контроля; поиск перспективных конструктивно-технологических решений и технологических процессов производства элементов систем энергообеспечения; поддержание и развитие микροэлектронной базы [2].

Цель исследования состоит в создании энергоэффективной, долговечной, схематически инновационной и отвечающей всем массогабаритным требованиям спутника стандарта CubeSat, СЭП СМКА. Для ее достижения необходимо решить перечень задач: разработать структурную схему на основе инверторно-трансформаторной архитектуры преобразования энергии; выбрать основные компоненты элементной базы; рассчитать элементы структурной схемы; разработать принципиальную электрическую схему.

В соответствии с предьявляемыми к СЭП требованиями по энергообеспечению она должна состоять из схемы контроллера напряжения солнечных батарей (СБ) – 1 шт.; схем контроллеров заряда АБ – 8; схемы инвертора переменного напряжения (ИН) – 1; схем стабилизаторов напряжения (СН) – 4 шт. Надо иметь в виду, что СЭП работает в четырех режимах: нагрузка, нагрузка и зарядное устройство, нагрузка и разрядное устройство, разрядное устройство. Каждый отличается источником потребления и способом распределения энергии.

Сведем перечисленные элементы и информацию о режимах в структурную схему (рис. 1).

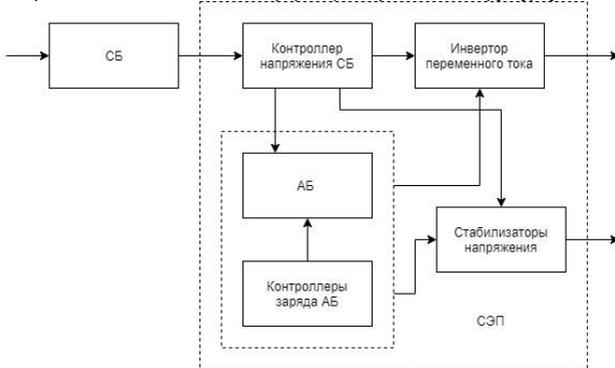


Рис. 1. Структурная схема СЭП СМКА

СЭП состоит из нескольких независимых узлов: СБ служат для преобразования энергии солнца в электрическую энергию; контроллер напряжения СБ – для стабилизации напряжения, получаемого от СБ; контроллеры заряда АБ – для заряда АБ и предотвращения их перезаряда; АБ – основной источник питания СЭП при нахождении СМКА в тени Земли; СН обеспечивают необходимые напряжения для питания систем КА; ИН преобразовывает постоянное напряжение в переменное с заданными параметрами.

Все основные компоненты элементной базы выбирались исходя из схемотехнических, наименьших стоимостных и массогабаритных требований: СБ, АБ, выходы питания – разъемы Molex 1726480102; контроллер напряжения СБ – СН LM2596HV в корпусе D2PAK-5; контроллеры заряда АБ – интегральная микросхема для защиты АБ LC05111C02MTTGG в корпусе WDFN6; СН – три положительных СН LM2596HV в корпусе D2PAK-5 и один отрицательный СН LM78S40 в корпусе DIP-16 (так как LM78S40 должна быть подключена к бортовой сети КА, на принципиальной схеме СЭП она не будет показана и будет находиться за ее пределами); ИН – двухтактный контроллер KP1211EY1 в корпусе DIP-8, СН K142EH8A в корпусе ТО-220, два силовых полевых кремниевых транзистора КП727А в корпусе ТО-220, трансформатор.

#### Расчет СБ

Мощность СБ: 60 Вт. Соответственно, номинальное напряжение на выходе СБ можно принять как  $U_{СБ} = 50$  В.

#### Расчет контроллера напряжения СБ

Схема подключения контроллера напряжения на базе LM2596HV показана на рис. 2. В соответствии со схемой выходное напряжение регулируется резистором R2: 33,9 кОм. Выберем ближайшее стандартное R2 = 39 кОм, что позволит регулировать  $U_{\text{вых}}$  даже в более широком диапазоне при необходимости.

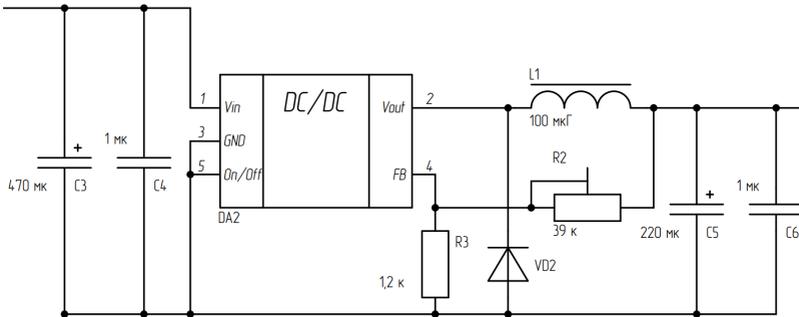


Рис. 2. Схема контроллера напряжения СБ

#### Расчет контроллера заряда АБ

Напряжение питания контроллера: 35,2 В.

#### Расчет АБ

В качестве АБ используется LFP АБ: напряжение до СН 26,4 В; мощность АБ 26,4 Вт (что больше требуемых 20 Вт, т. е. имеется запас по мощности); емкость АБ 24 А·ч.

#### Расчет СН

В соответствии со схемой выходное напряжение регулируется резистором R2: 20,3 кОм. Выберем уже знакомое нам R2 = 39 кОм, что позволит регулировать  $U_{\text{вых}}$  даже в более широком диапазоне.

#### Расчет ИН

Цепь R-С. Схема подключения ИН на базе KP1211EY1, K142EH8A, транзисторов КП727А и трансформатора (рис. 3).

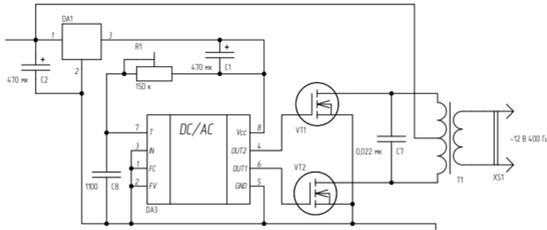


Рис. 3. Схема ИН

Для получения частоты переменного тока 400 Гц необходимо иметь  $C8 = 1,1 \text{ нФ}$ ,  $R1 = 150 \text{ кОм}$ .

**Трансформатор**

Основные проектные параметры: габаритная мощность 6 Вт; площадь сечения сердечника  $0,29 \text{ см}^2$ ; число витков первичной полуобмотки 355; число витков вторичной полуобмотки 203; ток первичной обмотки  $0,354 \text{ А}$ ; ток вторичной обмотки  $0,5 \text{ А}$ ; диаметр проводов первичной обмотки  $0,388 \text{ мм}$ ; диаметр проводов вторичной обмотки  $0,461 \text{ мм}$ . В соответствии с рассчитанными параметрами выбран сердечник из стали Э44 с габаритными размерами  $36 \times 8 \times 8$ , площадь сечения  $Q_M = 0,32 \text{ см}^2$ .

На основе указанных параметров разработана принципиальная электрическая схема СЭП СМКА (рис. 4).

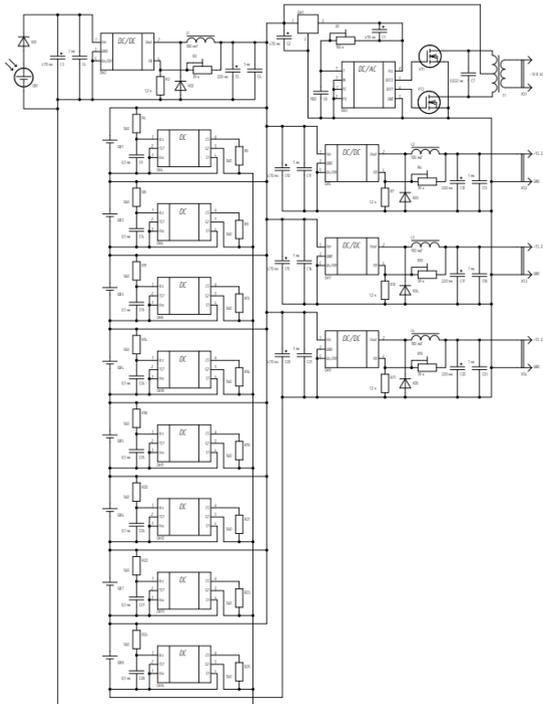


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема СЭП СМКА

В результате исследования была повышена квалификация в областях схемотехнических знаний, знаний об особенностях функционирования, применяемых элементной базе и корпусах, расчетных зависимостях, необходимых для эффективной разработки СЭП СМКА. Также были рассчитаны некоторые параметры компонентов и построены структурная и принципиальная электрическая схемы.

**Библиографический список**

1. Всегда ли нам надо «нано»? // Фонд «Сколково»: официальный сайт. 2015. URL: <https://sk.ru/news/vsegda-li-nam-nado-nano/> (дата обращения: 26.05.2021).
2. Белый Р. В., Мовляв А. С. Анализ перспективных технологий миниатюризации космических аппаратов дистанционного зондирования земли // *Вопр. электромеханики*. Тр. ВНИИЭМ. 2020. Т. 179, № 6. С. 23–27.

УДК 681.7.068.2

**А. В. Прохоров**

студент кафедры конструирования и технологии электронных и средств

**М. А. Ваганов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПЕРЕДАЧУ СИГНАЛА ПО ОПТИЧЕСКОМУ ВОЛОКНУ

*Работа выполнена при финансовой поддержке российского научного фонда (РНФ), проект № 19-79-10110.*

Основными составляющими экологической опасности считаются нарушения равновесия экосистемы в целом и отдельных ее составляющих: биологических, геофизических, геохимических. Среди нарушителей этого равновесия все большее значение приобретают техногенные воздействия, которые выливаются в техногенные катастрофы, что особенно актуально для предприятий энергетической, космической, химической и металлургической отраслей, предприятий по добыче и обработке энергоносителей. В большинстве случаев на них в производственном цикле и не только задействованы физические и физико-химические процессы, сопровождающиеся эмиссией электромагнитного излучения в оптическом диапазоне. В первую очередь это процессы горения, например в двигателях внутреннего сгорания, газотурбинных и ракетных двигателях, в топках печей, котлов, теплоэнергетических установок и агрегатов, процессы выплавки в металлургии. При этом эффективность работы этих объектов и безопасность проводимых работ могут быть значительно повышены за счет применения современных систем автоматического контроля физических и физико-химических процессов. В частности, совершенствование указанных систем позволяет удовлетворить все возрастающие требования к мощностным и динамическим показателям перечисленных объектов, повысить экономичность сжигания топлива и уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу.

Упомянутые процессы в основном протекают в экстремальных условиях – при повышенных температуре и влажности, в агрессивной химической или радиационной среде и т. п., что приводит к сложностям в решении задачи их контроля, обусловленным невозможностью расположения в непосредственной близости контрольного оборудования. Для автоматического контроля этих процессов мы предлагаем применить методы дистанционной оптической спектроскопии, где измерительным прибором является спектрометр, а в качестве линии передачи анализируемого сигнала применяется оптическое волокно. Использование волоконно-оптической линии передачи позволяет перенести прибор на безопасное для него расстояние от контролируемого объекта и тем самым устранить негативное влияние неблагоприятных воздействий (экстремальных условий) на него и результаты его измерений [1].

Исследование влияния температуры окружающей среды на передачу анализируемого сигнала по оптическому волокну проводилось на разработанном стенде (рис. 1).



Рис. 1. Экспериментальный стенд: 1 – климатическая камера УП-64ТХВ; 2 – оптическое волокно; 3 – лазер; 4 – фокусирующая линза; 5 – спектрометр; 6 – компьютер

Эксперимент проводился на оптическом волокне Nufem-FUD-3759 длиной 10 м. Рабочий спектральный диапазон волокна 200...1 200 нм, диаметр сердцевины волокна 100 мкм, рабочая температура  $-40...+85$  °С.

Волокно было помещено в климатическую камеру УП-64ТХВ. Камера предназначена для испытаний изделий электронной техники, материалов, машин, приборов и других технических изделий на стойкость (устойчивость и прочность) к воздействию повышенной (пониженной) температуры и влажности воздуха при эксплуатации. Имеет рабочий диапазон температуры  $-70...+180$  °С.

На входной торец оптического волокна с помощью фокусирующей линзы подавалось излучение лазера на длине волны 628 нм. Выходной торец волокна был подключен к спектрометру Fiber Optic Spectrometer USB2000+ (OceanOptics Inc.), спектральное разложение в котором выполняется с помощью дифракционной решетки по симметричной скрещенной схеме Черни – Тернера. Данный спектрометр работает в диапазоне 200...1 100 нм с оптическим разрешением 1 нм. Спектрометр USB2000+ оснащен ПЗС-линейкой Sony с 2 048 элементами.

### Результаты эксперимента при использовании климатической камеры УП-64ТХВ и спектрального прибора Ocean Optics

Суть эксперимента состояла в следующем. На первом этапе была измерена спектральная линия лазера, излучение которого передавалось по оптическому волокну, при комнатной температуре (20 °С). Климатическая камера не была включена, оптическое волокно находилось в ней. Интенсивность лазерного излучения составила 67 тыс. кодовых единиц (к. е.). Данный уровень был взят за опорный, относительно которого проводилось дальнейшее сравнение результатов, полученных при изменении температуры.

Второй этап эксперимента заключался в нагреве оптического волокна за счет повышения температуры внутри климатической камеры до 120 °С. Результаты прохождения анализируемого сигнала по оптическому волокну фиксировались на спектрометре при каждом изменении температуры на 10 °С.

Спектрограмма, полученная при нагреве оптического волокна до плюс 90 °С, приведена на рис. 2, а. Некоторые промежуточные результаты опущены. Как видно из рисунка, интенсивность лазерного излучения уменьшилась на 12 тыс. к. е. относительно опорного уровня и составила 56 тыс. к. е.

Спектрограмма, полученная при нагреве оптического волокна до плюс 120 °С, приведена на рис. 2, б. Как видно из рисунка, интенсивность лазерного излучения уменьшилась на 22 к. е. относительно опорного уровня и составила 45 тыс. к. е.

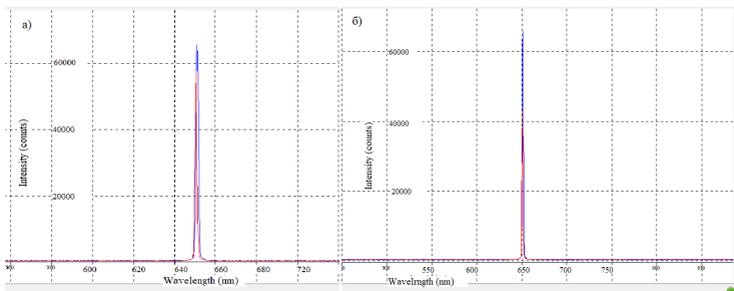


Рис. 2. Спектрограмма лазерного излучения при увеличении температуры:  
а) до 90 °С б) до 120 °С

Затем рабочая температура камеры была приведена в соответствие с комнатной температурой.

Третьим этапом стало понижение температуры до  $-20$  °С за счет понижения температуры внутри климатической камеры, при этом результаты фиксировались на спектрометре при каждом изменении температуры на 5 °С.

Спектрограмма, полученная при охлаждении оптического волокна до  $0^{\circ}\text{C}$ , приведена на рис. 3, а. Как видно из рисунка, интенсивность лазерного излучения уменьшилась на 26 тыс. к. е. относительно опорного уровня и составила 41 тыс. к. е.

Спектрограмма, полученная при охлаждении оптического волокна до минус  $15^{\circ}\text{C}$ , приведена на рис. 3, б. Как видно из рисунка, интенсивность лазерного излучения уменьшилась на 51 тыс. к. е. относительно опорного уровня и составила 16 тыс. к. е.

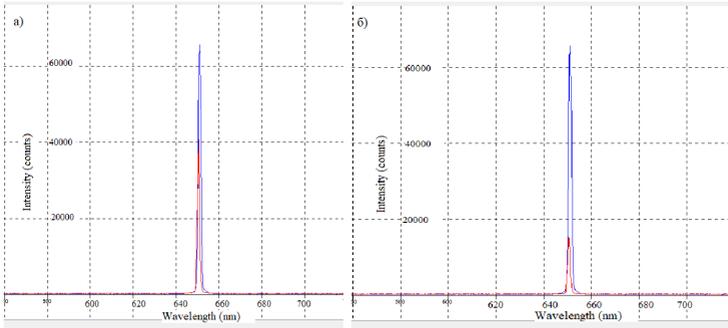


Рис. 3. Спектрограмма лазерного излучения при понижении температуры:  
а) до  $0^{\circ}\text{C}$  б) до  $-15^{\circ}\text{C}$

Спектрограмма, полученная при охлаждении оптического волокна до  $-20^{\circ}\text{C}$ , приведена на рис. 4, а. Зависимость потеря в волокне от температуры была построена на одном графике (рис. 4, б). Как видно из рисунка, интенсивность лазерного излучения уменьшилась на 55 тыс. к. е. относительно опорного уровня и составила 12 тыс. к. е.

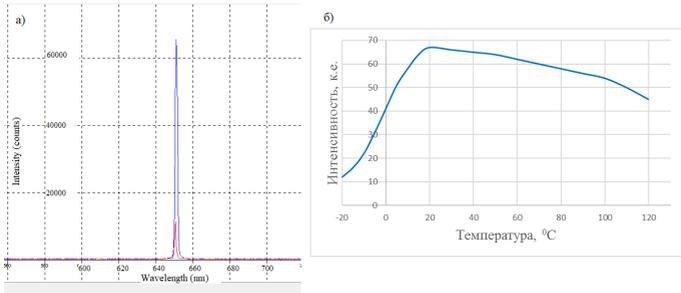


Рис. 4. Спектрограмма лазерного излучения при понижении температуры до  $-20^{\circ}\text{C}$  (а),  
зависимость потерь в волокне от температуры окружающей среды (б)

Как следует из рис. 4, б, интенсивность излучения, прошедшего через оптическое волокно, значительно (более 10 %) уменьшается при повышении температуры от  $60^{\circ}\text{C}$  и выше, что соответствует увеличению потерь в волокне при такой температуре. При понижении температуры значительное увеличение потерь наблюдается уже при температуре  $15^{\circ}\text{C}$  и ниже, при этом крутизна кривой имеет более ярко выраженный характер, чем при повышении температуры. Это говорит о том, что более низкие

температуры оказывают значительное влияние на передачу анализируемого излучения по оптическому волокну.

Приведены результаты измерений интенсивности лазерного излучения по оптическому волокну при изменении температуры от  $-20$  до  $+120$  °С. При ее повышении заметные отклонения уровня интенсивности излучения от опорного, за который был взят уровень сигнала при комнатной температуре, наблюдались при температуре окружающей среды от  $60$  °С и выше. В случае понижения температуры изменение уровня сигнала при прохождении через оптическое волокно оказывалось значительнее. Даже при  $15$  °С наблюдалось значительно уменьшение интенсивности сигнала относительно опорного уровня, а при  $-20$  °С она снизилась более чем в 7 раз.

Полученные результаты подтверждают необходимость и важность корректировки влияния окружающей среды при обработке результатов спектральных измерений в рамках решения задачи контроля физических и физико-химических процессов методами дистанционной оптической спектроскопии.

#### **Библиографический список**

1. Ваганов М. А. Резонансный метод бесконтактного анализа оптических спектров и его техническая реализация для решения задач контроля процессов горения: дис. ... канд. тех. наук. СПб., 2014. 152 с.

## УДК 523.3

**П. Л. Савенко**

студент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

**В. П. Ларин** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПОМЕЩЕНИЙ ЛУННЫХ СТАНЦИЙ**

Программу освоения Луны с планами строительства долговременных станций имеют уже многие страны, началось открытое соперничество, выдвигаются грандиозные проекты, растет число публикаций на тему обеспечения жизнедеятельности на Луне. В меньшей степени пока разрабатываются задачи обеспечения людей необходимой воздушной средой как главным условием их длительного пребывания на Луне.

Помещения будущих лунных станций (ЛС) можно по назначению разделить на жилые, служебные (исследовательские, лабораторные) и производственные (для изготовления строительных элементов, обслуживания технических средств, обеспечения людей и помещений станции необходимыми ресурсами). Для каждого из этих видов необходима своя среда обитания и жизнедеятельности, но все они обусловлены внешними лунными факторами, определяющими главные концептуальные требования и условия проектирования ЛС. Учитывая, что большинство производственных и обеспечивающих функций будет выполняться роботами, условно присвоим категорию основного помещению, где необходимо нахождение людей в комфортных для длительного пребывания условиях. В других помещениях с кратковременным пребыванием целесообразно нахождение людей в защитных скафандрах.

Цель данной публикации – формулировка принципов проектирования на концептуальной основе системы контроля и регулирования воздушной среды основных помещений ЛС.

Солнечный свет, перепады температуры, тип местности и уровень гравитации – все это играет роль в разработке концепции. Из-за отсутствия защитной атмосферы или магнитного поля любое помещение ЛС должно защищать обитателей от радиации и метеоритов. Его конструкция должна быть герметичной, иметь теплоизоляцию и обеспечивать защиту от внешних факторов. Основные проблемы состоят в обеспечении максимальной живучести основного сооружения, минимизации трудозатрат при его строительстве и соблюдении ограничений, связанных с транспортировкой материалов и оборудования с Земли.

В качестве базовой структуры взята модульная схема построения, т. е. все сооружение собирается из отдельных блоков (модулей), каждый из которых является автономным элементом конструкции. Преимущество такой схемы в том, что каждый модуль представляет собой герметичную ячейку, благодаря чему получается естественное разделение всего сооружения на отдельные, изолированные друг от друга зоны и тем самым достигается повышение его живучести. Концептуальная структура одного из типов основных помещений представлена на рис. 1.

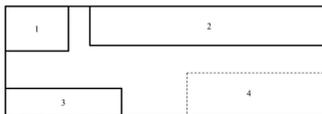


Рис. 1. Схема помещения: 1, 3 – сушильные аппараты; 2 – станки; 4 – зона сухого хранения

Исходные данные.

Длина 40 м.

Ширина 12 м.

Высота 4 м.

Категория здания Д. Степень огнестойкости – 4. Класс С0.

Категория сложности работ 2.

Чтобы избежать перегрева и выхода из строя машин, необходимо обеспечить поддержание оптимального микроклимата в помещении. Так как там постоянно находятся и работают люди, нужно создать благоприятные условия для их пребывания, соответствующие санитарным нормам. Управление микроклиматом осуществляется при помощи инженерных систем: системы кондиционирования и вентиляции, системы отопления, увлажнителей и осушителей воздуха, ионизаторов и т. д.

Основным функциональным параметром оценки качества сложных технических систем выступает надежность. Только критерии надежности позволяют оценить работу системы в любой момент времени после начала ее эксплуатации. При их выборе существенное значение имеет решение, которое должно быть принято в случае потери системой работоспособности, так как одна и та же конструкция (элемент) в зависимости от особенностей или этапов эксплуатации может считаться восстанавливаемой или невозстанавливаемой. Нарушение работоспособности систем может произойти вследствие отказов.

Важнейшее свойство технических средств лунных помещений – их уровень критичности по последствиям отказов. Необходимо проанализировать виды технических средств с точки зрения их критичности и классифицировать их по последствиям отказов.

При оценке надежности технических систем наиболее целесообразно рассчитать самую опасную. В проектируемом комплексе наибольшую опасность представляет собой местная вентиляция (табл. 1) с системой аспирации, удаляющая запыленный воздух из рабочей зоны. Это объясняется тем, что при определенных условиях присутствие в воздухе пыли может привести к взрыву.

Таблица 1

**Интенсивность отказов и вероятность безотказной работы элементов вентиляционной системы**

Наименование отказа	Интенсивность отказа $\lambda$ , ч <sup>-1</sup>	Вероятность безотказной работы $P(t)$
Снижение давления в воздуховоде	$\lambda(1) = 8 \cdot 10^{-6}$	$P(1) = e^{-\lambda T} = 0,88$
Уменьшение концентрации пыли	$\lambda(2) = 8 \cdot 10^{-6}$	$P(2) = e^{-\lambda T} = 0,88$
Отказ предохранителя	$\lambda(3) = 5 \cdot 10^{-6}$	$P(3) = e^{-\lambda T} = 0,92$
Выход из строя подшипника электродвигателя	$\lambda(4) = 2,22 \cdot 10^{-6}$	$P(4) = e^{-\lambda T} = 0,97$
Выход из строя крыльчатки охлаждения электродвигателя	$\lambda(5) = 1,1 \cdot 10^{-7}$	$P(5) = e^{-\lambda T} = 0,99$
Межвитковое замыкание обмотки электродвигателя	$\lambda(6) = 3 \cdot 10^{-6}$	$P(6) = e^{-\lambda T} = 0,99$
Обрыв обмотки электродвигателя	$\lambda(7) = 3 \cdot 10^{-8}$	$P(7) = e^{-\lambda T} = 0,99$
Отказ концевого выключателя	$\lambda(8) = 3 \cdot 10^{-6}$	$P(8) = e^{-\lambda T} = 0,95$
Выход из строя пульта управления	$\lambda(9) = 3 \cdot 10^{-7}$	$P(9) = e^{-\lambda T} = 0,99$
Износ постоянной муфты	$\lambda(17) = 2,5 \cdot 10^{-6}$	$P(17) = e^{-\lambda T} = 0,96$

Один из способов повышения надежности систем – резервирование. В этом случае отказ наступает только после отказа основного элемента. Рассмотрим на примере температурного режима.

Кроме тепла, вырабатываемого системой отопления в помещениях, оно поступает от работающего оборудования. Как правило, в помещении устанавливается один кондиционер, чего с точки зрения обеспечения нормального температурного режима недостаточно: в случае его внезапного выхода из строя возможен перегрев оборудования и, как следствие, его поломка. Поэтому рекомендуется устанавливать, как минимум, два кондиционера. Также современные системы мониторинга климата позволяют настроить поочередную работу кондиционеров для увеличения срока службы и безотказного функционирования.

Прототипом здания, микроклимат которого необходимо регулировать, является промышленная площадка для сушки, сортировки и хранения производственного сырья (рис. 1). Рабочие места расположены равномерно по всей площади помещения. Согласно табл. 2 при площади 480 м<sup>2</sup> необходимо 10 участков измерения. Расположим их равномерно (рис. 2).

Так как вся работа выполняется стоя, то датчики температуры располагаются на высоте 1,5 м. Датчики пыли должны находиться в местах наибольшего образования пыли, так как такие зоны расположены только вблизи станков, то можно ограничиться тремя такими датчиками (рис. 3).

Таблица 2

Количество участков измерений

Площадь помещения, м	Количество участков измерения
До 100	4
От 100 до 400	8
Свыше 400	Количество участков определяется расстоянием между ними, которое не должно превышать 10 м.

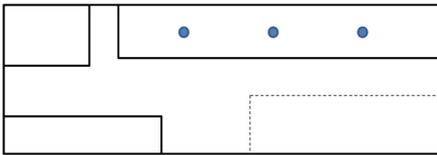


Рис. 2. Схема расположения датчиков пыли

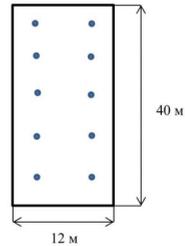


Рис. 3. Схема расположения датчиков температуры

На данном объекте создается повышенная влажность при сушке влажного сырья, то необходимо выбрать подходящий осушитель воздуха. Также 1/4 площади помещения служит для сухого хранения.

Формула вычисления производительности осушителя для склада сухого хранения:

$$Q = V \cdot 1,2 / 1000,$$

где Q – расчетная производительность (м<sup>3</sup>/ч); V – объем помещения (м<sup>3</sup>). Подставив значения, находим требуемую производительность осушителя для зоны сухого хранения – 0,6 м<sup>3</sup>/ч (14,4 л/день).

Также понадобится осушитель для осушения влажного воздуха между сушильными аппаратами. Для этих целей понадобится осушитель той же мощности, что и для зоны сухого хранения (рис. 4).

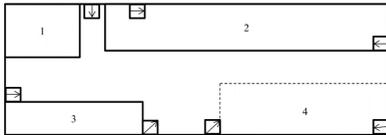


Рис. 4. Расположение нагревателей

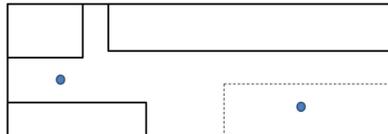


Рис. 5. Расположение осушителей

Далее необходимо выбрать систему отопления для помещения. Расчет тепловой мощности проводится по формуле

$$Q = S \cdot K1 \cdot K2 \cdot K3 \cdot K4 \cdot K5 \cdot K6 \cdot K7 / 10,$$

где K1 = 1,27 (стандартное остекление); K2 = 0,854 (высокая теплоизоляция); K3 = 0,8 (соотношения площадей окон и пола 10 %); K4 = 0,7; K5 = 1,4 (4 стены выходят наружу); K6 = 1 (не отапливаемое); K7 = 1,15 (высота потолка 4 м).

Подставив значения, получаем величину  $Q = 47$  кВт/ч.

Сушильные аппараты оборудованы шестью тэнами по 2 кВт каждая. Общая потребляемая мощность 24 кВт. Следовательно, необходимо установить обогрев помещения с учетом теплоотдачи данных аппаратов. Расположим тепловые пушки согласно рис. 5. Это позволит осуществлять равномерный обогрев производственного помещения с учетом того, что сушильные аппараты сами являются источником тепла.

В исследуемом производственном помещении естественная вентиляция почти отсутствует, осуществляется только через дверные проемы, поэтому предлагается установить приточно-вытяжную вентиляцию.

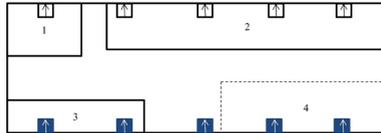


Рис. 6. Расположение воздуховодов

Помещение оборудовано станками с повышенным пылеобразованием и сушильными аппаратами, создающими повышенную влажность. Воздуховоды вытяжной вентиляции должны быть расположены рядом с данным оборудованием (рис.6), что позволит обеспечить равномерное перемещение воздуха, а также ускорить удаление пыли из атмосферы производственного помещения.

#### Библиографический список

1. Киль Н. В. Проектирование автоматизированной системы управления параметрами микроклимата производственного помещения. Томск, 2017. 94 с.
2. Расчет надежности системы аспирации. URL: <https://helpiks.org/5-8257.html> (дата обращения: 05.05.2021).
3. Бармин И. В., Егоров А. В. Нереализованные космические проекты // Конверсия в машиностроении. 2001. № 2. С. 16–21.

УДК 629.78

**П. П. Ульянова**

студент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

**В. П. Ларин** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель.**МАЛЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ, ПРОБЛЕМЫ ИХ РАЗРАБОТКИ И РАЗВИТИЯ**

Радикальное отличие космических аппаратов (КА) от малых космических аппаратов (МКА) состоит в создании многоспутниковых орбитальных группировок, обеспечивающих непрерывное обновление данных наблюдений. Относительно низкая цена затрат на разработку, изготовление и выведение на орбиту объясняет превращение МКА в массовый продукт, доступность их использования в образовательном процессе, дистанционном зондировании Земли, мониторинге чрезвычайных ситуаций и стихийных бедствий [1].

Значение этапов жизненного цикла наноспутников, по сравнению с крупными, существенно изменилось. Ограничения по объему и массе сделали невозможным резервирование систем и другие меры повышения надежности, если они связаны с увеличением массы. Запуск сразу многих однотипных аппаратов позволяет выявить большую часть замечаний и недостатков, поэтому летно-конструкторские испытания выходят на передний план в устранении недоработок и просчетов.

По прогнозу SpaceWorks, до 2022 г. на орбите окажется порядка трех тысяч космических аппаратов нано- и микрокласса (массой до 50 кг), что в разы больше, чем ожидаемое количество более «серьезных» орбитальных запусков.

Миниатюризация бортовых систем, появление новых схемотехнических решений, в том числе связанных с многоспутниковыми группировками, позволяет кардинально снизить массу аппаратов и справляться с помощью МКА с задачами, ранее традиционно решавшимися «большими» аппаратами, прежде всего в области дистанционного зондирования Земли и связи (пример – российский МКА «Аист», разработанный Самарским государственным аэрокосмическим университетом (СГАУ) совместно с промышленным предприятием АО «РКЦ „Прогресс“») [2, 3].

Малые аппараты меньшей массы (нано- и пр.) служат «демократизации» космической деятельности, позволяя, в частности, реализовать вывоз космические программы университетов. В этом направлении работают несколько российских вузов: МГТУ им. Н.Э. Баумана, МАИ, Самарский национальный исследовательский университет им. академика С. П. Королева, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М. Ф. Решетнева и ряд других. Самый демократичный из современных проектов – проект «Маяк» Московского политехнического университета, предусматривающий развертывание на орбите тетраэдра из светоотражающей пленки.

Многokратное снижение затрат на разработку, изготовление и выведение на орбиту позволило использовать МКА для отработки и получения летной квалификации новых элементов и систем аппаратов, совершенствования их характеристик.

Поддержание орбитальной структуры спутниковой группировки предполагает наличие на борту двигательной установки, однако оснащение МКА корректирующим двигателем сдерживается весовыми ограничениями. Требования к двигательной установке и запасу характеристической скорости определяются задачей разведения космических аппаратов по фазе в каждой из орбитальных плоскостей и поддержания фазы при эксплуатации, затратами на компенсацию атмосферного торможения.

Операционные спутники SkySat сверхвысокого разрешения, входящие в группировку малых КА D33 компании Planet оснащены двигательной установкой HPGP-101 (High Performance Green Propellant) на малотоксичном однокомпонентном топливе LMP-1035, разработанном голландско-шведской компанией ECAPS. Топливо, динитроамид аммония (ADN) с плотностью 1,84 г/см<sup>3</sup>, при нагревании до температуры выше 135 °С начинает термически разлагаться на азот, кислород и воду. Монотопливо на основе водно-спиртового раствора ADN рассматривается как замена гидразина. Четыре микродвигателя двигательной установки тягой по 1 Н каждый имеют удельный импульс до 235 с, работая при температуре 1 600 °С. Размер спутников SkySat второго поколения, изготовленных фирмой SpaceSystems/Loral (SS/L), 60×60×95 см для размещения ДУ увеличен на 15 см, а масса выросла на 30 кг и составила

120 кг. В качестве альтернативы жидкостным двигателям рассматриваются электрореактивные двигательные установки.

Спутники-кубсаты размера 1,5 U с массой 2,2 кг Aerocube 8C и Aerocube 8D выведены на ССО ракетой-носителем Atlas V 11 ноября 2016 г. в составе попутного груза из семи наноспутников для демонстрации технологий в интересах NRO, например решений на основе углеродных нанотрубок. Однако основная задача состоит в демонстрации масштабируемой ионной электрореактивной установки SIEPro (Scalable Ion-ElectroSpray Propulsion System) [4–6].

Превращение малых космических аппаратов в массовый продукт усугубляет проблему космического мусора и ставит задачу сведения спутников с низкой орбиты путем увеличения аэродинамического торможения, а также управления движением посредством солнечного паруса.

Британский тройной кубсат Inflate Sail массой 4 кг относится к наноспутникам проекта QB 50 и выведен на орбиту вместе с ним. Спутник создан компанией SSC при Суррейском университете для испытания развертываемого пленочного паруса площадью 10 м<sup>2</sup>. После его раскрытия средняя высота орбиты с 24 июня по 17 июля уменьшилась с 496 до 475 км.

Малый космический аппарат «Летающий ноутбук» (Flying Laptop), выведенный на ССО высотой около 600 км ракетой космического назначения «Союз-21А» с разгонным блоком «Фрегат-М» 14 июня 2017 г. в кластере из 72 попутных нагрузок, объединяет почти все направления использования малых спутников – технологические и демонстрационные, ДЗЗ, научные эксперименты, прикладные задачи. Спутник размером 60×70×90 см с массой 110 кг разработан Институтом космических систем ИРС в Штутгарте, ФРГ, для демонстрации и сертификации новых технологий для МКА. Платформа с блоками управления и распределения питания обладает встроенными интеллектуальными свойствами: обнаружение и локализация отказов, восстановление работоспособности микропроцессора UT699LEON3FT, на базе которого разработан высокопроизводительный основной бортовой компьютер. Новая аппаратура служебных систем, которая проходит отработку в натуральных условиях: литий-железодифосфатные (LiFePO<sub>4</sub>) аккумуляторные батареи; система ориентации с точностью лучше 2,5 угл. минут; экспериментальная система высокоскоростной лазерной связи (скорость передачи данных до 100 Мбит/с); группа эффективных фотоэлектрических элементов; ПЛИС с функцией поддержки полезных нагрузок. Съемка мультиспектральной камерой MICS выполняется под разными углами для изучения двухлучевой функции распределения отраженного света BRDF и производится в «пржекторном» режиме отслеживания объекта в поле зрения. Научная программа состоит в совместном с Техническим университетом Дании (DTV) эксперименте по применению звездных датчиков для обнаружения астероидов, сближающихся с Землей [6].

Прикладное применение – мониторинг движения морских судов с помощью приемника сигналов системы автоматической идентификации AIS (Automatic Identification System) в сочетании со съемочной системой MICS. Радиосигналы от судов поступают на частотах УКВ и содержат метки идентификации, местоположения и скорости судна. Спутники низкоорбитальной группировки компании Spire Global Lemur-2 могут нести разную полезную нагрузку:

1) аппаратуру SENSE с приемником сигналов AIS;

2) аппаратуру STRATOS, состоящую из GPS-приемников, позволяющую измерять временную задержку и угол рефракции при прохождении сигналов системы GPS через атмосферу. Затменные наблюдения атмосферы группой спутников приносят данные о температуре, давлении и влажности на разных высотах.

Потребность в систематической сплошной съемке земной поверхности с минимальным временным интервалом между просмотрами любого района с приемлемыми затратами привела к коренным изменениям структуры космических средств ДЗЗ. Переход от съемки тех или иных объектов или территорий тяжелыми спутниками сверхдетального разрешения к систематической глобальной съемке обеспечили многоспутниковые группировки МКА на низких околоземных орбитах при поддержании структуры размещения спутников в нескольких орбитальных плоскостях и восполнении численности по истечении срока активного существования или схода аппарата с орбиты.

Попутный запуск ракетами среднего класса не отвечает требованию быстрого и гибкого доступа МКА в космос поскольку сроки запуска попутных нагрузок определяются основной миссией ракеты-носителя. Создание легкого носителя позволит снизить затраты на выведение килограмма массы и

удовлетворить растущий спрос на услуги запуска малых спутников. Существует устойчивая тенденция уменьшения массы космических аппаратов: по прогнозу Space Works, до 2022 г будет запущено порядка трех тысяч КА массой до 50 кг, что в разы больше ожидаемого количества пусков больших с массой, превышающей 1 000 кг.

Российские университеты могут участвовать в программе бесплатного запуска своих спутников на российских средствах выведения. Этой возможностью пользуются в основном университеты, сотрудничающие с предприятиями ракетно-космического комплекса.

#### **Библиографический список**

1. Лебедев В. В., Гансвинд И. Н. Проектирование систем космического мониторинга / Науч. Геоинформ. центр РАН // М.: Наука, 2010. 388 с.
2. . Севастьянов Н. Н. Анализ современных возможностей создания малых космических аппаратов для дистанционного зондирования Земли / Н. Н. Севастьянов, В. Н.Бранец, В. А Панченко [и др.] // Тр. МФТИ. 2009. Т1, № 3. С. 15–23.
3. Сводная таблица космических запусков, осуществленных в 2016 году // Новости космонавтики. 2017. Т. 27, № 3. С. 49–51.
4. Сводная таблица космических запусков, осуществленных в 2017 году // Новости космонавтики. 2018. Т. 28, № 3. С. 22–25.
5. Афанасьев И. Инфракрасный «Канопус» и 72 попутчика // Новости космонавтики. 2017. Т. 27, № 9. С. 40–47.
6. Каширин А. В., Глебанова И. И. Анализ современного состояния рынка наноспутников как прорывной инновации и возможности его развития в России // Молодой ученый. 2016. Т. 1, № 7. С. 15–23.

УДК 621.373.826

**Д. Р. Шинтарь, И. А. Тюрина**

студенты кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

**В. Е. Кравец** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**СИСТЕМО-АППАРАТНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ОЧИСТКЕ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА**

Научные достижения – неотделимые атрибуты жизни современного человека. За последнее время было открыто множество теорий, изобретено большое количество техники, и прогресс не стоит на месте. Любые открытия и прорывы в области науки имеют последствия. Покорение космоса не стало исключением. Глобальной проблемой оказался космический мусор.

Космический мусор – это все искусственные объекты и их фрагменты в космосе, которые уже неисправны, но могут оказывать опасное воздействие на действующие космические аппараты. В 1979 г. американцы запустили первую программу по изучению космических аппаратов, находящихся в нерабочем состоянии [1]. Было выявлено, что на околоземной орбите находится самая большая часть космического мусора. Точно определить его объем тяжело, но на данный момент общая масса составляет от 6,0 до 7,5 тыс. т.

С каждым годом количество мусора на околоземном пространстве увеличивается в 2 раза. Динамика роста с 1957 по 2017 г. представлена на рис. 1. Сейчас одних только спутников на орбите около 5 000, из них 3 000 уже вышли из строя или просто оставлены создателями. Также имеются разного рода обломки, ступени ракет и множество других элементов [2].



Рис. 1. Динамика роста космического мусора за 60 лет

Космический мусор обладает особенностью воспроизводиться прямо на орбите. Крупные обломки фрагментируются и образуют миллионы мелких. Только один маленький осколок способен повредить большой аппарат, уничтожить спутник или убить космонавта. Увеличение числа аппаратов в космосе может вызвать каскадный эффект. Разрушение одного из объектов породит тысячи осколков, которые ударят по соседним. Они в свою очередь станут источником новых обломков. В 1976 г. советский военный аппарат с ядерным реактором упал в северной части Канады. По информации НАСА, каждый год несколько крупных фрагментов аппаратов достигают поверхности Земли [3].

Проблема мусора на околоземном пространстве способна закрыть для человечества космос. Придется забыть об использовании спутников – мы можем оказаться без связи, телевидения, прогноза погоды и других полезных вещей. Раньше задача по уничтожению мусора была теоретической, но с течением времени она приняла глобальные масштабы. Для ее решения предлагаются разные методы.

Один из первых – «Гарпун и невод». Идея заключается в том, чтобы гарпунить нефункционирующие приборы, а затем отправлять их в плотные слои атмосферы. В начале 2019 г. британский ап-

парат Remove DEBRIS сумел захватить фрагмент спутника, что было успехом в направлении утилизации космического мусора. Вторым методом стал «Воздушный шар для мусора» (проект GOLD System). Большой и тонкий воздушный шар должен оборачивать фрагменты мусора, увеличивая их аэродинамическое сопротивление [4]. Смысл достаточно противоречивого метода «Реактивный буксир-самоубийца» заключается в том, чтобы использовать аппараты-буксиры, заталкивающие опасные объекты в атмосферу, но при этом они сами будут сходиться с орбиты. В 2025 г. планируется запуск аппарата, который должен будет свести с орбиты крупную часть ракеты Vega.

Самый перспективный и оптимальный метод – лазерная технология. Специалисты НАСА предложили корректировать траекторию движения не космического аппарата, а самого мусора, оказав воздействие на него лучом наземного лазера. Существует несколько способов.

1. Лазерная установка должна работать в паре с наземными телескопами и радарам. При обнаружении угрозы столкновения лазер, расположенный на Земле, начал бы «стрельбу» в импульсном режиме по летающим в космосе обломкам. Длительное воздействие, в течение часа или двух, вполне может передвинуть обломки на безопасную траекторию. Джеймс Мэйсон – автор идеи – утверждает, что для практической реализации лазерная система имеет ряд неоспоримых преимуществ. Во-первых, кроме фотонов света в космос ничего не отправляется, таким образом, не происходит дальнейшего накопления мусора на орбите. Во-вторых, реализация такой наземной системы обойдется на несколько порядков дешевле, чем дорогостоящий запуск в космос специального оборудования.

2. Высокочастотные мощные импульсно-периодические лазерные системы. Принцип удаления: под воздействием лазера происходит быстрый нагрев поверхности мусора и испарение части его материала. В зависимости от поглощенной энергии и времени воздействия может произойти распад космического мусора на более мелкие фрагменты, не угрожающие пространству, либо изменение траектории движения, что предотвращает столкновение.

3. Химические лазеры (ХЛ) на молекуле DF, наиболее мощные. Их использование предпочтительно при прохождении луча через атмосферу. Интенсивность излучения лазера в режиме модуляции коэффициента усиления среды, т. е. в импульсно-периодическом режиме, падающего на мусор, возрастает на порядки по сравнению с непрерывным режимом. Длительность импульсов при этом находится в диапазоне примерно от 10–7 до 10–8 с.

4. Воздействие излучения на металлический космический мусор. Металлы – хорошие поглотители излучения в среднем инфракрасном диапазоне. Часть расплава удаляется в виде капелек при резком расширении в зоне воздействия. В невесомости этот эффект проявляется наиболее ярко: расплав невозможно удержать на поверхности. В невесомости капли жидкости быстро разрушаются при нагревании, внутреннее давление преодолевает силы поверхностного натяжения до начала процесса интенсивного испарения.

Метод удаления мусора с помощью лазера перспективен, но большинство исследований было прекращено из-за недостатка финансирования, так как мусор не является главной задачей. В то же время количество космического мусора увеличивается в 2 раза каждые 5 лет и данную проблему необходимо решить в ближайшие 10 лет, иначе выход в космос будет закрыт. Применение лазерной установки весьма гуманно и эффективно, не требует больших финансовых вложений в исследования и на содержание. Мусор угрожает Международной космической станции, и только раздумывают над идеей оснастить МКС лазерной установкой по борьбе с ним. Сейчас для защиты МКС от космического мусора проводятся маневры уклонения с помощью двигателей самой станции или пристыкованных к ней грузовых кораблей.

### Библиографический список

1. Campbell I. W. Project ORION//NASA: Technical Memorandum. 1996. 20 p.
2. Phipps C. R., Michaelis M. M. Physics of Nuclear Induced Plasmas and Problems of Nuclear Pumped Lasers: Proceed. Conf. 1994. 32 p.
3. Космический мусор. URL[https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Космический\\_мусор](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Космический_мусор) (дата обращения: 28.04. 2021).
4. Аполлонов В. В. Лазерное уничтожение космического мусора и объектов естественного происхождения / Ин-т общей физики им. А. М. Прохорова РАН, 2019. 117-130с

УДК 621.38

**Д. О. Белокур**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**В. В. Егоров** – доктор технических наук, старший научный сотрудник – научный руководитель**УСТАНОВЛЕНИЕ ТАКОВОЙ синхронизации по информационным сигналам OFDM****Введение**

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

**Принципы синхронизации в системах OFDM**

Структура тактовой синхронизации получена из следующих предположений.

Сигнал с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM) и фазовой модуляцией (относительной или абсолютной) различной кратности на длительности элементарной посылки  $T$ . Его можно представить в следующем виде:

$$S(t) = \sum_{m=1}^N A_m \sin(2\pi f_m t + \psi_m),$$

где  $N$  – количество используемых частот,  $A_m$  – амплитуда и  $f_m$  – номинал  $m$ -й частоты:

$$f_m = m \frac{\Delta f}{N},$$

где  $\Delta f = 1/T$ ,  $\psi_m$  – задаваемая начальная фаза сигнала  $s(t)$ . Предположим, что используется  $n$ -кратная относительная фазовая модуляция, т. е.  $\Delta\psi_m$  может принимать любые из заданных  $2^n$  позиций на фазовой плоскости.

В этом случае плотность  $W(\Delta\psi)$  можно представить в следующем виде:

$$W(\Delta\psi) = \frac{1}{2^m} \sum_{m=0}^{2^m-1} \delta\left(\Delta\psi - m \frac{2\pi}{2^n}\right),$$

где  $n$  – кратность модуляции,  $\delta$  – дельта-функция.

Если восстанавливать данную плотность по массиву значений разностей фаз, полученных с выхода демодулятора с шагом в один отсчет, то плотность  $W_k(\Delta\varphi)$  будет деформироваться и стремиться к двум предельным видам:

$$W_k(\Delta\varphi) \rightarrow \frac{1}{2^n} \sum_{m=0}^{2^m-1} \delta\left(\Delta\psi - m \frac{2\pi}{2^n}\right)$$

при точно установленной тактовой синхронизации и

$$W_k(\Delta\varphi) \rightarrow \frac{1}{2\pi} * \Delta\varphi \in [-\pi, \pi]$$

при ее отсутствии.

В этом случае в качестве контрастного индикатора положения момента синхронизации можно использовать расстояние между восстановленной и известной плотностями. В данной работе указанное расстояние  $K$  вычислялось для  $K$ -го шага следующим образом:

$$R_k = \|W_k(\Delta\varphi) - W_0(\Delta\varphi)\| = \left( \int_{-\pi}^{\pi} \left( W_k(\Delta\varphi) - \frac{1}{2\pi} \right)^2 d\Delta\varphi \right)^{\frac{1}{2}},$$

где  $W_0(\Delta\varphi)$  – равномерная плотность.

Выбор вида функционала имеет большое значение. Если в этом качестве взять другую величину, например

$$R_k = \int_{-\pi}^{\pi} |W_k(\Delta\varphi) - W_0(\Delta\varphi)| d\Delta\varphi,$$

то максимальное значение, которое может принимать  $R_k$  в этом случае, равно 2.

Для реальных плотностей это значение не превышает 2. В то же время, если в качестве показателя взять евклидово расстояние

$$R_k = w_k(\Delta\varphi) - W_0(\Delta\varphi),$$

то в те моменты, когда  $k$ -й отсчет будет соответствовать времени начала посылки,  $R_k$  будет принимать максимальные значения и наоборот, когда  $k$ -й отсчет будет соответствовать середине посылки,  $R_k$  будет принимать минимальные значения. Строго говоря, в первом случае  $R_k \rightarrow \infty$ , а во втором  $R_k \rightarrow 0$ .

Отсюда вытекает очевидный критерий установления тактовой синхронизации: будем считать, временем начала посылки на выделенном интервале тот момент времени  $t_0$ , когда показатель  $R_k$  принимает максимальное значение:

$$t_0 = k_0 \Delta t : R_{k_0} = \max(R_k).$$

Таким образом, вне зависимости от передаваемой информации и используемой кратности модуляции имеется возможность использовать описанный подход. Для этого в реальных условиях необходимо конструктивное задание искомой плотности  $W_k(\Delta\varphi)$ .

Как уже указывалось, начиная с некоторого момента времени можно вычислять значения разностей начальных фаз  $\Delta\varphi_i^k$  на соседних посылках на всех поднесущих частотах, двигаясь окном длительностью  $T$  с шагом в один отсчет. Тогда для каждого  $k$ -го шага можно восстановить плотность распределения разности фаз в виде следующего разложения:

$$W_k(\Delta\varphi) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m^k \cdot \cos(m \cdot \Delta\varphi) + b_m^k \cdot \sin(m \cdot \Delta\varphi),$$

где  $a_m^k$  и  $b_m^k$  являются коэффициентами разложения и оцениваются по выборке следующим образом:

$$a_m^k = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \cos(m * \Delta\varphi_i^k); \quad b_m^k = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sin(m * \Delta\varphi_i^k),$$

где  $M$  – объем выборки разностей фаз,  $\Delta\varphi_i^k$  – выборочные значения.

Такая форма записи адекватна периодической многомодальной плотности с неопределенным начальным положением (сдвигом). Тогда  $R_k$  можно определить следующим образом:

$$R_k = \left( \sum_{m=n}^{\infty} \left( (a_m^k)^2 + (b_m^k)^2 \right) \right)^{\frac{1}{2}}.$$

Также следует отметить, что для вычисления  $R_k$  необходимо использовать только те члены ряда, которые кратны  $2n$ . Такое действие эквивалентно тому, что предварительно проводится процедура снятия модуляции и ставится в соответствие принятому массиву  $\{\Delta\Phi_m^k\}$  новый по следующему правилу:

$$\Delta\Phi_m^k = 2^n \Delta\Phi_m^k,$$

где  $2n$  – количество разрешенных позиций разностей фаз.

Для практического использования наличие шума накладывает ограничения. Например, для вычисления  $R_k$  необходимо использовать конечное разложение в ряд (ряд должен ограничиваться теми слагаемыми, которые еще не вносят значительного шумового вклада). Кроме этого очевидно, что при заданном ОСШ и объеме массива разностей фаз, наиболее достоверно удастся установить положение тактовой синхронизации для сигналов с двухпозиционной OFDM.

#### Библиографический список

1. Intuitive guide to topics in communications and digital signal processing // Complexoreal. URL: complexoreal.com/tutorials/tutorial-22-orthogonal-frequency-division-multiplex-ofdm-dmt (дата обращения: 02.05.2020).
2. Лопес Морено А. Р. Р. Синтез формы огибающей многочастотных сигналов при наличии ограничений на скорость спада уровня внеполосных излучений, помехоустойчивость приема и пик-фактор: магистер. дис. СПб, 2015. URL: elib.spbstu.ru/dl/2/6141.pdf/download/6141.pdf (дата обращения: 02.05.2020).
3. Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/OFDM> (дата обращения: 02.05.2020).
4. Прокис Д. Цифровая связь: пер. с англ. / под ред. Д. Д. Кловского. М.: Радио и связь, 2000. 797 с.
5. Скляр Б. Цифровая связь: пер. с англ. / под ред А. В. Назаренко. М.: СПб.: Вильямс, 2007. 1099 с.
6. Технология OFDM: учеб. пособие для вузов / М. Г. Бакулин, В. Б. Крейнделин, А. М. Шлома, А. П. Шумов. М.: Горячая линия – Телеком, 2017. 352 с.
7. Ахмед Н., Рао К. Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / пер. с англ. Т. Э. Кренкеля. М.: Связь, 1980. 248 с.
8. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие для студентов высш. заведений, обуч. по направлению 210300 «Радиотехника». 3-е изд. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 756 с.

УДК 612

**В. С. Беляева**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**Е. А. Лебедева** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАВМ БЕДРЕННОЙ КОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СУДМЕДЭКСПЕРТИЗЫ

В настоящее время по всему миру ДТП составляют наиболее распространенную причину смертей и получения инвалидности, что делает их третьей ведущей причиной смерти. По статистическим данным полиции, лишь небольшой процент ДТП является результатом случайных факторов или плохого состояния ТС. Наиболее частые причины – ошибки водителей и некорректное поведение пешеходов, способное повлечь смертельный исход [1]. Основу правовой оценки результатов ДТП составляют поведение водителя, пешехода и дорожная ситуация. Для определения степени влияния этих факторов ДТП должно быть реконструировано.

С медицинской точки зрения вывод об обстоятельствах ДТП зависит от степени повреждений (биологические маркеры), которые отражают тип и направление воздействия внешней силы. Биологические маркеры для реконструкции, связаны с первой фазой аварии, т. е. с первым контактом тела пострадавшего с элементом ТС. В различных типах дорожно-транспортных происшествий нижние конечности первыми (из частей тела) контактируют с кузовом транспортного средства. Большие автомобили и автофургоны сбивают пешехода на уровне колена, а грузовые автомобили с высоким бампером могут ударить в проксимальную часть бедра или тазобедренного кольца. Во время первой фазы аварии происходит удар передней части транспортного средства, и место приложения травмирующей силы определяет тип патологической дислокации.

До сих пор попытки определения скорости столкновения на основании тяжести повреждений не дали никаких надежных (достаточно точных и воспроизводимых) краш-методов. Обычно используемые методы масштабирования повреждений (AIS, ISS, CRIS) полезны только для статистических исследований, так как показывают высокий уровень ошибки между расчетной степенью повреждения и реальной скоростью столкновения в конкретных случаях.

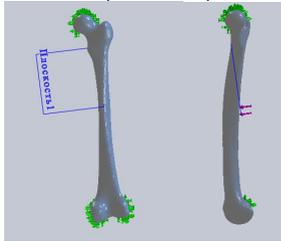
Повреждения коленных и голеностопных суставов почти бесполезны для оценки скорости столкновения, так как они вызваны непрямыми гибкательными механизмами и возникают даже при низких скоростях столкновения. Повреждения плоских и длинных трубчатых костей встречаются весьма часто. Знание их механизмов помогает травматологам правильно ориентироваться в выборе метода лечения, а судебным медикам – при решении вопросов об условиях и обстоятельствах травмы. К настоящему времени описаны отдельные закономерности повреждений скелета человека твердыми тупыми предметами, в особенности частями движущегося автотранспорта. Однако среди судебных медиков нет единства взглядов на механизмы повреждений костей скелета [2].

Актуальность выбранной темы обусловлена необходимостью по состоянию бедренной кости более точно определять действия при ДТП в процессе проведения судмедэкспертизы. Цель работы – проведение биомеханического анализа состояния бедренной кости с учетом влияния на него различных параметров, таких как масса, скорость и тормозной путь автомобиля. Результаты анализа могут повысить качество судмедэкспертизы.

Для анализа были использованы программы Mimics Medical 21.0, 3-matic Medical 13.0, Solidworks. Геометрическая модель построена на основе снимков КТ бедренной кости с помощью программы Mimics Medical 21.0. Далее эта модель в STL-формате была обработана в программе 3-matic для проведения сглаживающих процедур и устранения дефектов построенной геометрии. После подготовительных процедур геометрическая модель кости загружается в Solidworks, куда также вводятся параметры механических характеристик кости и нагрузки, соответствующие заданным условиям анализа. В качестве механических характеристик кости использованы величины, взятые из справочников и соответствующие среднестатистическим данным здорового человека [3].

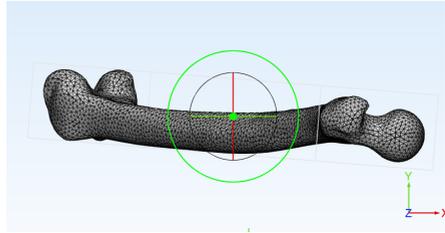
На рис. 1–3 приведены результаты моделирования и исследования построенной модели.

Схема кости, контуры, закрепление, где сила приложена стрелкой



а

Вид кости в сетке



б

Рис. 1. Модель бедренной кости: а – геометрическая, б – после обработки КТ снимков в программах Mimics и 3-matic

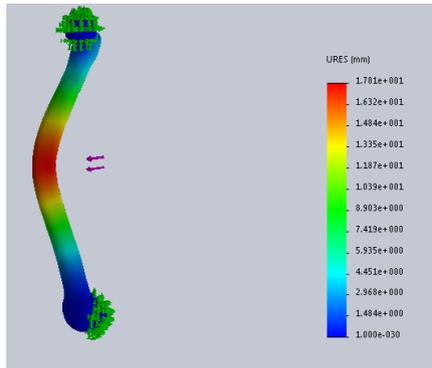


Рис. 2. Результаты исследования состояния бедренной кости при массе автомобиля 2 т, скорости 80 км/ч и тормозном пути 20 м

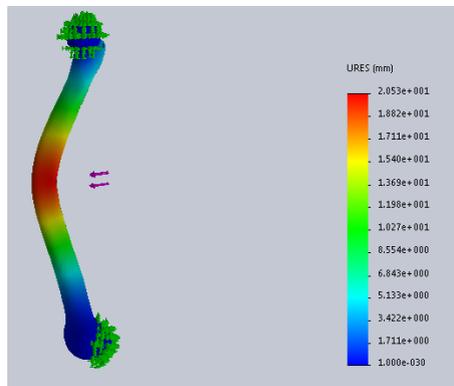


Рис. 3. Результаты исследования состояния бедренной кости при массе автомобиля 2 т, скорости 140 км/ч и тормозном пути 20 м

По результатам анализа видно, что перемещения в зоне приложения нагрузки с увеличением скорости возрастают и площадь зоны деформаций увеличивается. Таким образом, проведя исследование с различными входными параметрами скорости и массы автомобиля, можно получить зависимость состояния травмированной кости от условий ДТП.

### **Заключение**

Осуществлено биомеханическое исследование состояния бедренной кости при травме в результате ДТП. Анализ напряженно-деформированного состояния бедренной кости проводился в зависимости от массы, скорости и длины тормозного пути автомобиля. Выявлена зависимость изменения состояния травмированной бедренной кости от условий ДТП. Результаты анализа могут быть учтены при проведении судмедэкспертизы.

### **Библиографический список**

1. Kanis J. A. A systematic review of hip fracture incidence and probability of fracture worldwide. URL: [https://www.researchgate.net/publication/221896891\\_A\\_systematic\\_review\\_of\\_hip\\_fracture\\_incidence\\_and\\_probability\\_of\\_fracture\\_worldwide](https://www.researchgate.net/publication/221896891_A_systematic_review_of_hip_fracture_incidence_and_probability_of_fracture_worldwide) (дата обращения: 17.08.2020).
2. Ridzwan M. I. Z. Finite Element Prediction of Hip Fracture during a Sideways Fall. URL: [https://www.researchgate.net/publication/236964644\\_Finite\\_Element\\_Prediction\\_of\\_Hip\\_Fracture\\_during\\_a\\_Sideways\\_Fall?\\_sg=AMtxim75lwDLxIFG6unZLAQpfZUkpo-ncM\\_3preL7s0gfHkqo9gDpz1zXnKtVSwFZbhdgZF6MhoSEMo](https://www.researchgate.net/publication/236964644_Finite_Element_Prediction_of_Hip_Fracture_during_a_Sideways_Fall?_sg=AMtxim75lwDLxIFG6unZLAQpfZUkpo-ncM_3preL7s0gfHkqo9gDpz1zXnKtVSwFZbhdgZF6MhoSEMo) (дата обращения: 18.08.2020).
3. Shahbad R. An investigation of the effects of osteoporosis, impact intensity and orientation on human femur injuries: a parametric finite element study. URL: [file:///C:/Users/%D0%92%D0%B8%D0%BA%D0%B0/Downloads/An\\_investigation\\_of\\_the\\_effects\\_of\\_osteoporosis\\_im%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/%D0%92%D0%B8%D0%BA%D0%B0/Downloads/An_investigation_of_the_effects_of_osteoporosis_im%20(1).pdf) (дата обращения: 17.08.2020).

УДК 629.7.062.3

**Е. В. Боборыкин**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

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

## РЕАЛИЗАЦИЯ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ СЕРВОПРИВОДОМ АНТЕННЫ ЗЕМНОЙ СТАНЦИИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

### Введение

Для поворотов антенны по азимуту и углу места используются электродвигатели, синхронные и асинхронные. При применении асинхронных электродвигателей частота вращения магнитного поля статора не совпадает с частотой вращения ротора, что является недостатком, так как это вызывает «скольжение». Устранить проблему можно, использовав синхронный двигатель с векторным способом управления, это даст преимущество по точности регулирования скорости вращения ротора, так как частота его вращения совпадает с частотой вращения магнитного поля статора. В статье рассматривается реализация векторного управления сервоприводом с использованием в плате управления широтно-импульсной модуляции (ШИМ), что позволяет улучшить быстроту реакции системы на изменение нагрузки, увеличить диапазон управления и точность регулировки.

Сложность разработки заключается в том, что из-за работы с СВЧ-диапазоном на плате управления появляется множество наводок и шумов, но их можно скомпенсировать правильной разводкой платы, изоляцией и алгоритмом работы микроконтроллера платы. Если антенна располагается на самолете, то нужно еще обязательно учитывать размеры платы и ее массу. Но самое главное – работающий алгоритм и соответствующий программный код, который реализует ШИМ и подает сигналы управления на полумосты и тормоз в нужные моменты времени для управления антенной.

### Особенности антенн для слежения за спутником на высокоэллиптической или низкой круговой орбите и требования к сервоприводам

Для обеспечения связи через искусственный спутник Земли (ИСЗ) антенна земной станции должна быть наведена на спутник и постоянно отслеживать его движение в пространстве. Эта задача решается посредством опорно-поворотного устройства (ОПУ), на котором устанавливается антенна и в состав которого входят механизмы вращения с управляющим приводом.

Слежение за ИСЗ осуществляется с ошибками. Их наличие приводит к уменьшению уровня принимаемого с ИСЗ сигнала, а следовательно, к снижению потенциала спутниковой радиолинии. Составляющие ошибки обусловлены динамикой движения ИСЗ и динамическими свойствами объекта управления (динамическая ошибка), а также действием помех (флуктуационная ошибка). Скорости и ускорения в приводе всегда ограничены, поэтому в некоторых ситуациях возникновение ошибки неизбежно. Знание законов изменения угловых координат ИСЗ в зависимости от времени позволяет рассчитать угловые скорости и ускорения и тем самым сформулировать требования к характеристикам привода ОПУ [1].

Сервопривод чаще встречается в робото- и радиотехнике. Без него невозможно обойтись, особенно когда речь идет о решении задачи точного перемещения грузов или предметов. Такая задача возникает при выполнении какой-либо механической работы (покраска, сварка, шлифовка, перемещение антенн и т. д.). Все дело в свойствах сервопривода. Это привод, в котором используется отрицательная обратная связь, позволяющая точно управлять параметрами движения исполнительного (выходного) звена привода (чаще всего это выходной вал). Для создания такой обратной связи обычно используется датчик положения выходного звена сервопривода, но могут применяться и датчики скорости, усилия и т. д. Например, подается сигнал об установке вала в угловое положение 30°. Вал поворачивается в это положение и держит его, пока не придет сигнал о новом положении. Такие возможности управления серьезно отличают сервопривод от обычного мотор-редуктора, который способен только непрерывно вращаться, пока на него подано напряжение. В результате если такими приводами

оснащен радиолокатор, то он может сканировать или передавать сигнал на углы, которые способен повернуться ротор привода.

Для управления ротором в приводе может использоваться скалярное и векторное управление. В нашем случае нужно векторное, так как при нем задается магнитный вектор на статоре, который под нужным углом будет поворачивать ротор в заданное положение. В скалярном управлении взаимодействие статора и ротора происходит через изменение питающего напряжения и частоты напряжения, подаваемого на статор, что нужно лишь для просто вращения ротора с определенной скоростью. Типичная схема реализации сервопривода показана на рис. 1.

## Устройство сервопривод

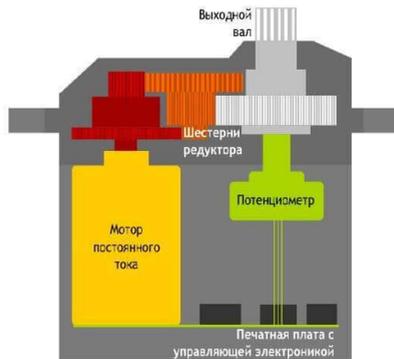


Рис. 1. Схема реализации сервопривода

В следующем разделе будет рассмотрена структура и ШИМ для платы сервопривода управления зеркальной антенны, предназначенной для слежения за спутником на высокоэллиптической орбите [2].

### Принцип векторного управления сервоприводом антенны для слежения за спутником на высокоэллиптической или низкой круговой орбите

Управление электродвигателем в сервоприводе может осуществляться векторным и скалярным методом. Второй нам не подходит, так как применяется для управления асинхронными электродвигателями. Моделирование векторного способа реализуется в программе MatLab, «скриншоты» с кодом и результатом моделей представлены в следующем разделе.

Для реализации векторного управления сначала нужно знать положение ротора, чтобы было относительно чего отмерять  $90^\circ$ , поскольку двигатель развивает наибольший момент, когда ротор находится под  $90^\circ$  к вектору тока, задаваемого статором. Это проще всего сделать, установив датчик положения на вал ротора. Потом нужно разобраться, как создать вектор тока, поддерживая желаемые токи в фазах  $\alpha$  и  $\beta$ . На двигатель прикладывается трехфазное напряжение. Для поддержания нужной величины подаваемого тока понадобятся датчики токов фаз. Далее нужно собрать структуру векторного управления в виде программы на микроконтроллере, которая будет делать все остальное [3].

Поддерживать ток микроконтроллером можно, используя программный ПИ (пропорционально-интегральный) регулятор тока и ШИМ. Например, структура с регулятором тока для одной фазы  $\alpha$  показана на рис. 2.

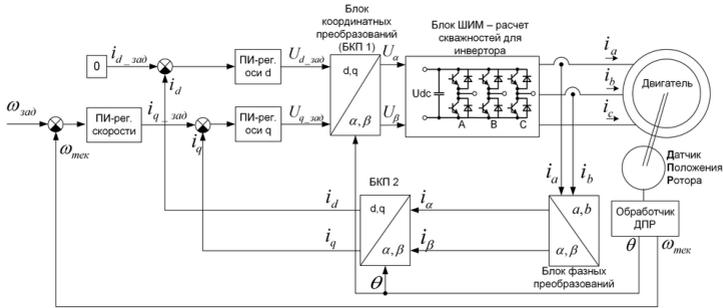


Рис. 2. Структура векторного датчикового управления для трехфазной синхронной машины

Здесь задание тока  $i_{a\_зад}$  – некая константа, тот ток, который необходимо поддерживать для этой фазы, например 1А. Задание поступает на сумматор регулятора тока. Регулятор тока на выходе задает напряжение фазы  $U_a$ . Напряжение поступает на блок ШИМ, который рассчитывает задания скважностей (уставок сравнения) для таймеров ШИМ микроконтроллера, формирующих ШИМ на мостовом инверторе из четырех ключей, чтобы сформировать это  $U_a$ . Алгоритм может быть разный, например для положительного напряжения ШИМим правой стойкой пропорционально заданию напряжения, на левой замкнут нижний ключ, для отрицательного ШИМим левой, на правой замкнут нижний. В итоге такая структура делает программный «источник тока» за счет источника напряжения: задается нужное нам значение  $i_{a\_зад}$ , а данная структура с определенным быстродействием его реализует. БПК 1 и БПК 2 – блоки координатных преобразований. Они поворачивают вектор на входе на заданный угол. Причем БПК 1 поворачивает на  $+θ$ , а БПК 2 на  $-θ$ . Это вся разница между ними. В иностранной литературе их называют преобразованиями Парка (Park transformation). БПК 2 делает преобразование координат для токов: от неподвижных осей  $α$  и  $β$ , привязанных к статору двигателя, к вращающимся осям  $d$  и  $q$ , привязанным к ротору двигателя (используя для этого угол положения ротора  $θ$ ). БПК 1 осуществляет обратное преобразование: от задания напряжения по осям  $d$  и  $q$  делает переход к осям  $α$  и  $β$ . Формулы для преобразования координат простые, их легко можно найти (рис. 3).

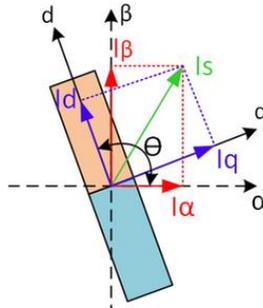


Рис. 3. Координатные преобразования из неподвижных осей  $α$  и  $β$ , привязанных к статору двигателя, к вращающимся осям  $d$  и  $q$ , привязанным к ротору

То есть вместо «вращения» задания регуляторов вращаются их входы и выходы, а сами регуляторы работают в статическом режиме: токи  $d$ ,  $q$  и выходы регуляторов в установившемся режиме постоянны. Оси  $d$  и  $q$  вращаются вместе с ротором (так их вращает сигнал с датчика положения рото-

ра), при этом регулятор оси  $q$  регулирует как раз тот ток, который называется «перпендикулярным полю ротора», т. е. это моментобразующий ток, а ток  $d$  сонаправлен с «магнитом ротора», поэтому он не нужен и задается равным нулю. Такая структура избавлена от недостатка первого варианта – регуляторы токов даже не знают, что что-то где-то крутится. Они работают в статическом режиме: отрегулировали каждый свой ток, вышли на заданное напряжение – и все: как ротор от них «не убегай», они про это даже не узнают, всю работу по повороту делают блоки координатных преобразований [4, 5].

Трехфазные токи служат для одной цели – создать вектор тока статора  $I_s$ , направленный в нужную сторону и имеющий нужную амплитуду. Поэтому трехфазные токи можно просто пересчитать в двухфазные, а дальше оставить ту же систему управления. В англоязычной литературе такой «пересчет» называют преобразованиями Кларк – Clarke transformation, у нас – фазными преобразованиями. На рис. 2 эта операция производится блоком фазных преобразований. Делаются они опять при помощи курса геометрии (рис. 4).

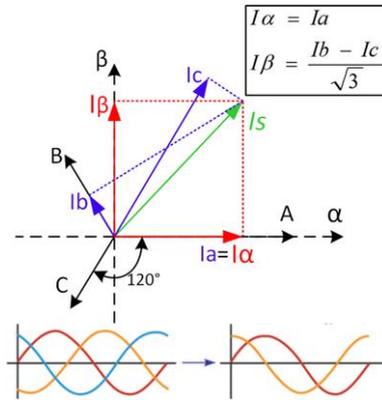


Рис. 4. Фазные преобразования – из трех фаз к двум.  
Для удобства принимаем равенство амплитуды вектора  $I_s$  амплитуде тока в фазе

### Модель работы модуля ШИМ и результаты моделирования

Немного слов про ток фазы С. Туда можно не ставить датчик тока, так как три фазы двигателя соединены в звезду и по закону Кирхгофа все, что втекло через две фазы, должно вытечь из третьей (если, конечно, в двигателе не пробита изоляция и половина не утекла куда-то на корпус), поэтому ток фазы С вычисляют как скалярную сумму токов фаз А и В со знаком минус. Хотя третий датчик иногда ставят чтобы снизить погрешность измерений.

Также нужна полная переделка модуля ШИМ. Обычно для трехфазных двигателей используют трехфазный шестиключевой инвертор. Внутри модуля ШИМ с помощью обратных фазных преобразований можно пересчитать это в напряжения фаз А, В, С, которые надо приложить в этот момент к двигателю. Наивный метод – задать на каждую стойку инвертора скважность, пропорциональную желаемому напряжению плюс 0,5. Это называется синусоидальной ШИМ. В этом методе все хорошо, кроме того, что будет недоиспользован инвертор по напряжению, т. е. максимальное напряжение, которое будет получено, окажется меньше, чем можно было бы получить, если бы использовали более совершенный метод ШИМ.

На рис. 5 показан код для реализации векторной ШИМ в программе MatLab.

```

clear all
close all
f = 50;
w = 2*pi*f;
A = 13;
phi = 0;
fd = 1000;
N = 100;
t = (0:1/fd:(N-1)/fd);
a = A*cos(w*t); %% phase current 1
b = A*cos(w*t+120*pi/180); %% phase current 2
c = A*cos(w*t+240*pi/180); %% phase current 3
y=[a;b;c];
dpr=70*pi/180; %% dpr out (radian)

%%ClarkTransform (a,b ----> a,betta)
aa=a; %% a
bb=(2*b+a)/sqrt(3); %% betta
yc=[aa; bb];
yClark=2/3*[1 -1/2 -1/2; 0 sqrt(3)/2 -sqrt(3)/2; 1/2 1/2 1/2]*y;

%%revClarkTransform (a,betta ----> a,b,c)
yClarkrev=[1 0 1; -1/2 sqrt(3)/2 1; -1/2 -sqrt(3)/2 1]*yClark;

%%ParkLeft (a,betta ----> d,q)
idl=aa*cos(dpr)+bb*sin(dpr); %% d
iq1=-aa*sin(dpr)+bb*cos(dpr); %% q
%ipl=[cos(dpr) sin(dpr); -sin(dpr) cos(dpr)]*yc;

%%revParkLeft (d,q ----> a,betta)
iapl=idl*cos(dpr)-iq1*sin(dpr); %% a
ibpl=idl*sin(dpr)+iq1*cos(dpr); %% betta

%PI-REG
wzad=100; %% speed set
kp=1.6; %% koef P
ki=-0.05; %% koef I
imin=-10; %% limiter error for I
imax=10; %% limiter error for I
e=[zeros(1,10)]; %% error
wtek=[zeros(1,10)]; %% current speed
isum=[zeros(1,10)]; %% sum errors
F=[zeros(1,10)];
I=[zeros(1,10)];
PI=[zeros(1,10)];
for tau=1:30
    if tau==1
        wtek(1)=70;
        e(1)=wzad-wtek(1);
        PI(1)=kp*e(1)+e(1)*ki;
        isum(1)=e(1);
    else
        wtek(tau)=wtek(tau-1)+PI(tau-1);
        e(tau)=wzad-wtek(tau);
        isum(tau)=e(tau)+e(tau-1);
        isum(tau)=e(tau)+isum(tau-1);
        if isum(tau)<imin
            isum(tau)=imin;
        elseif isum(tau)>imax
            isum(tau)=imax;
        end
        F(tau)=kp*e(tau);
        I(tau)=ki*isum(tau);
        PI(tau)=F(tau)+I(tau);
    end
end

```

Рис. 5. Код для реализации векторной ШИМ

На рис. 6 представлены осциллограммы самого питающего трехфазного напряжения для электродвигателя (слева сверху), пересчет трехфазного напряжения в двухфазное для осуществления регулировки самого трехфазного напряжения (справа сверху и снизу слева) и значения с ПИ регулятора (справа снизу).

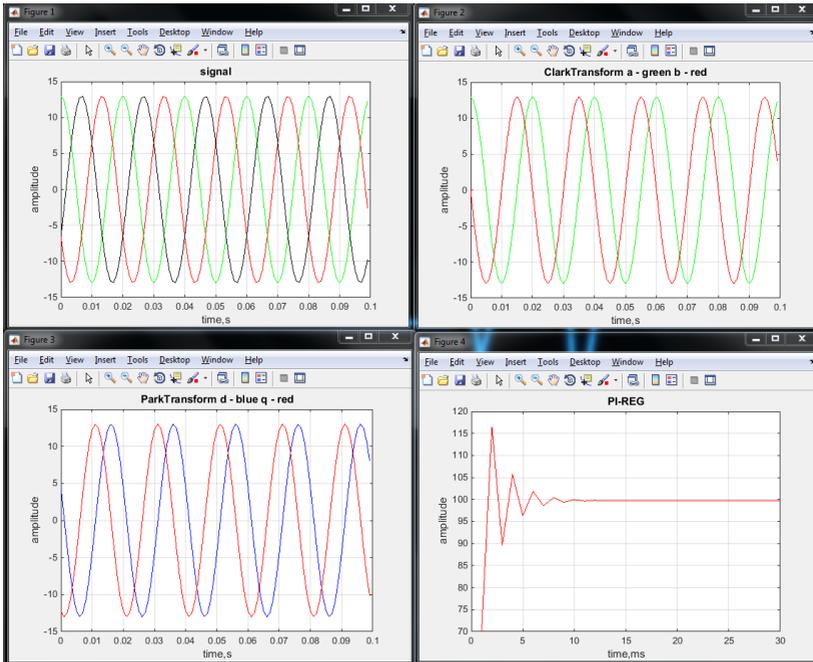


Рис. 6. Осциллограммы

На рис. 7 видны временные диаграммы сигналов с выходов силовых ключей, задающих трехфазное напряжение.

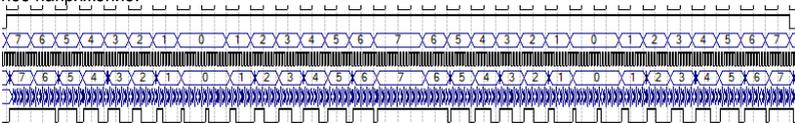


Рис. 7. Временные диаграммы ШИМ

В результате моделирования заметна реализованная ШИМ на основе кода и датчиков положения и тока, данные с которых идут на ПИ-регулятор и БКП. Подобные ШИМ пишутся в боевых проектах для сервоприводов управления зеркальной антенной небольшого размера для слежения за спутником на высокоэллиптической или низкой круговой орбите.

### Заключение

Сервоприводы получили достаточно широкое распространение. Их можно встретить в точных приборах, автоматах, производящих различные платы, программируемых станках, промышленных ро-

ботах и других механизмах. Большую популярность приводы такого типа приобрели в авиамодельной сфере за счет эффективного расхода энергии и равномерного движения.

В статье был рассмотрен специализированный вид схемы использования синфазного электродвигателя, датчиков положения и тока, полумостов, управляющей части и тормоза, которые в совокупности и образуют сервопривод. Для управления антенной по азимуту и углу места нужно написать правильный алгоритм и программный код, которые будут задавать верную широтно-импульсную модуляцию. Эта модуляция путем открытия и закрытия полумостов в нужные моменты времени образует трехфазное напряжение, необходимое для вращения ротора, к которому через вал прикреплена антенна.

Проработанный подход и моделирование показали реализуемость векторного управления сервоприводом антенны, а применение ШИМ позволяет с заданной точностью вращать вектор магнитного поля статора, плавно задавать старт двигателя и вращать им во всем диапазоне частот.

В различных сферах также используются серводвигатели. Они могут перемещать выходной вал в заданное положение и удерживать его автоматически. Также помогут придать движение какому-либо механизму, координируемому вращениями вала. Для мотора важными параметрами являются равномерность и тональность движения, эффективность затрачиваемой энергии.

### Библиографический список

1. Bramerdorfer G., Cavagnino A., Vaschetto S. Cost-optimal machine designs fulfilling efficiency requirements: A comparison of IMs and PMSMs // IEEE International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC). Miami, FL, USA, 2017.
2. Козярук А. Е., Рудаков В. В. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов. СПб.: СПбЭК, 2002. 64 с.
3. Shao-Liang A., Xiang-Dong S. Study on the Novel Generalized Discontinuous SVPWM Strategies for Three-Phase Voltage Source Inverters // IEEE Transactions on industrial informatics. 2013. Vol. 9, № 2.
4. Piippo A, Hinkkanen M, Luomi J. Analysis of an Adaptive Observer for Sensorless Control of PMSM Drives // 32<sup>nd</sup> Annu. Conf. of Industr. Electronics Soc., IECON2005. 6–10 Nov. 2005.
5. Chang Y.-C., Tzou Y.-Yu. A New Sensorless Starting Method for Brushless DC Motors without Reversing Rotation // 2007 IEEE Power Electronics Specialists Conference.

УДК 621.375.026

**Д. С. Гагарина**

магистрант кафедры медицинской радиоэлектроники

**В. Ф. Михайлов** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕДКОРРЕКЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

### Введение

При проектировании приемопередающих устройств особое внимание уделяется усилителям мощности. К ним предъявляется важное требование обеспечения высокой энергоэффективности. Однако оно выполняется только при работе усилителя мощности (УМ) в нелинейном режиме. Это в свою очередь приводит к появлению нелинейных искажений, которые проявляются в виде частотных составляющих, кратных несущей частоте.

### Способы предварительной коррекции нелинейных искажений

Реализация приемопередающего устройства с высокой степенью линейности – дорогостоящий и не всегда возможный проект. Было предложено осуществлять предварительную коррекцию сигналов. В научной литературе [1, 2] можно заметить два основных подхода по линеаризации приемопередающих устройств. Они основаны на принципах цифровой обработки сигналов.

Первый подход компенсации нелинейных искажений заключается в создании специального цифрового блока – предкорректора. Сигнал перед поступлением на усилитель мощности должен быть обработан в устройстве, которое имеет амплитудную и фазовую характеристики, обратные характеристикам усилителя мощности. Важно, что под влиянием внешних факторов (температура окружающей среды, влажность, атмосферное давление) характеристики нелинейного элемента могут изменяться. Поэтому необходимо, чтобы параметры корректирующего устройства варьировались в соответствии с характеристиками усилителя мощности. Такие системы называются системами с адаптивной предкоррекцией.

Нелинейность усилителя мощности принято описывать кубической зависимостью

$$y = x + ax^3,$$

где  $a$  – коэффициент нелинейности, обычно характеризующий амплитуды комбинационных составляющих.

Для уменьшения уровня нелинейных искажений требуется, чтобы амплитудная характеристика УМ на выходе была линейной. Для достижения этого требования необходимо включать в тракт предкорректора, имеющий обратную УМ амплитудную характеристику. С помощью программного пакета Matlab была смоделирована идея компенсации нелинейных искажений нелинейного элемента. На рис. 1 представлены результаты моделирования.

Однако искажения по амплитуде не столь критичны для сигнала, как искажения по фазе. Второй подход позволяет уменьшить величину паразитного отклонения фаз.

Подход основывается на адаптивной коррекции нелинейных искажений на этапе синтеза сигнала. В современных беспроводных системах связи широко применяются сигналы OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов), представляющие собой совокупность близкорасположенных поднесущих, которые передают сигнал несколькими подпотоками на более низких скоростях. Синтез и дальнейшая обработка таких сигналов происходит в частотной области, после чего осуществляется переход во временную область при помощи преобразования Фурье.

Так как при прохождении через нелинейный элемент в сигнале появляются паразитные комбинационные составляющие, очевидно, что применение эффективных видов модуляции становится невозможным, так как значительно смещается начальная фаза передаваемого сигнала.

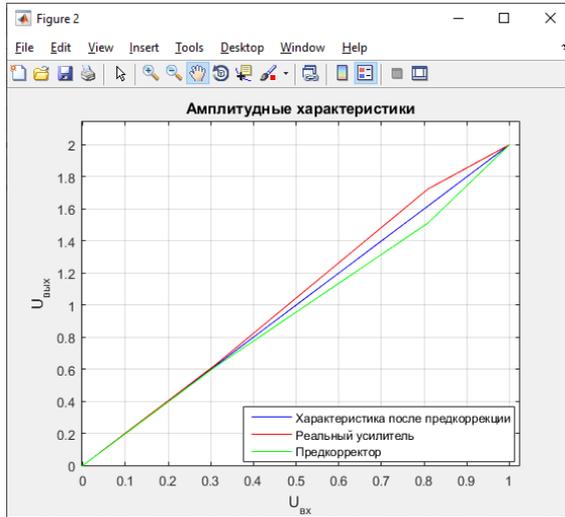


Рис. 1. Результаты моделирования компенсации нелинейных искажений

Сигнал на выходе передатчика с учетом нелинейности радиопередающего тракта можно математически отобразить в виде интегрального уравнения

$$y(t) = \int_0^T (x(t + \tau) + ax^3(t - \tau))h(\tau)d\tau,$$

где  $x(t)$  – OFDM-сигнал на входе передатчика,  $h(\tau)$  – импульсная характеристика линейных трактов передатчика.

Таким образом, принцип предкоррекции заключается в нахождении такого входного сигнала  $x(t)$ , который на выходе передающего устройства удовлетворяет требуемым значениям синфазных и квадратурных составляющих частотных субканалов группового сигнала  $y(t)$ .

Следовательно, задача предкоррекции при данном подходе сводится к решению интегрального уравнения для каждого группового сигнала  $y(t)$  на всей его длительности.

Приведенное уравнение в явном виде решить невозможно в силу того, что оно является нелинейным. Поэтому необходимо упростить его, имея в виду, что  $x(t)$  – OFDM – сигнал, занимающий определенную полосу частот, а  $h(\tau)$  задается как импульсная характеристика идеального полосового фильтра. Тогда очевидно, что

$$x(t) = \int_0^T x(t - \tau)h(\tau)d\tau.$$

В этом случае первое интегральное уравнение можно переписать следующим образом:

$$y(t) = x(t) + a \int_0^T x^3(t - \tau)h(\tau)d\tau,$$

$$x(t) = y(t) - a \int_0^T x^3(t - \tau)h(\tau)d\tau.$$

Преобразованное интегральное уравнение решается методом последовательных приближений, в качестве начального приближения используется  $x_0(t) = y(t)$ . Чтобы вычислить интеграл свертки в преобразованном интегральном уравнении, необходимо найти отсчеты OFDM-сигнала, а затем возвести их значения в куб. На следующем шаге следует произвести вычисление спектра полученного сигнала после возведения отсчетов в третью степень и фильтрацию в частотной области, чтобы устранить частотные составляющие вне полосы пропускания идеального полосового фильтра. После этого осуществляется переход во временную область с помощью обратного преобразования Фурье.

На языке Matlab написана программа, реализующая указанный алгоритм. Блок-схема программы приведена на рис. 2.

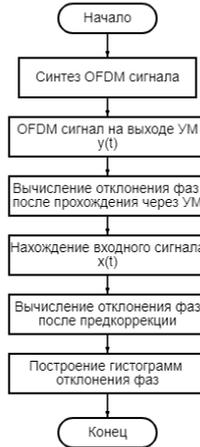


Рис. 2. Алгоритм программы

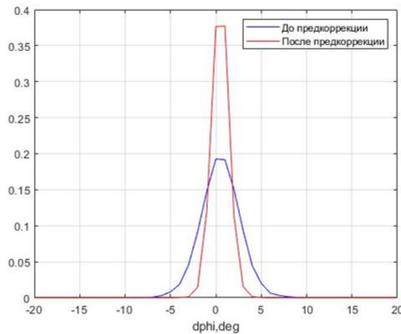


Рис. 3. Плотность распределения фаз на выходе нелинейного элемента до и после предкоррекции

Статистические характеристики фазового отклонения в виде распределения отклонения фаз от заданных значений в аналитическом виде получить не удастся. Поэтому воспользуемся методом имитационного моделирования, при котором в машинном масштабе времени воспроизводится формирование информационных символов, вычисление отсчетов, соответствующих OFDM-сигналов и после-

дующее решение нелинейного интегрального уравнения в виде свертки. Повторяем эту операцию большое число раз, формируем выборку случайных отклонений фаз от заданных значений. Методами математической статистики осуществляется обработка выборочной совокупности и вычисляется выборочная плотность распределения фаз методом гистограмм с использованием последующей интерполяции функции плотности распределения кубическими сплайнами. На рис. 3 представлены плотности распределения отклонения фаз до и после предкоррекции.

### **Вывод**

Проанализированный алгоритм позволяет снизить отклонение разности фаз, что дает возможность применять к сигналам относительную фазовую модуляцию большой позиционности.

### **Библиографический список**

1. Саяпин В. Ю. Обзор и сравнительный анализ способов построения компенсаторов нелинейных искажений в усилителях мощности // Докл. Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. 2015. № 4. С. 26–31.
2. 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.

УДК 621.396.677.85

**А. Ю. Галактионов**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**В. Ф. Михайлов** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**АНТЕННА РАДИОРЕЛЕЙНОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ ДИАПАЗОНА 80 ГГц**

Требование по эксплуатации узконаправленных антенн в рассматриваемых системах связи приводит к существенному усложнению условий их применения на практике. Известно, что в системе фиксированной радиосвязи типа «точка – точка» с узконаправленными антеннами возникают трудности с точным выравниванием положения луча из-за динамических отклонений (скручиваний и качаний) опорных конструкций, на которых установлены данные системы связи. Эти отклонения могут быть вызваны различными причинами, в основном такими как природные условия (ветер, осадки, деформации при дневном или сезонном изменении температуры воздуха), а также искусственными колебаниями. Из-за всех этих причин динамические отклонения опорных конструкций могут быть сопоставимы с шириной луча антенны, что может привести к существенному ухудшению характеристик системы связи [1].

Доступны разные подходы к разработке эффективной остронаправленной антенны миллиметрового диапазона длин волн. Например, она может быть произведена на двумерной решетке печатных микрополосковых антенных элементов с параллельным или последовательным возбуждением, что является привлекательным планарным решением с низкой стоимостью изготовления в массовом производстве.

Однако для обеспечения высокого значения КУ такая решетка должна содержать очень большое число антенных элементов, что сильно усложняет систему подведения сигнала. В случае решетки с параллельным возбуждением это увеличивает длину подводящих линий и, тем самым, приводит к увеличению потерь, особенно в миллиметровом диапазоне длин волн. Для решетки с последовательным возбуждением главным недостатком является частотная зависимость положения основного луча диаграммы направленности, вызванная изменением набега фаз между соседними элементами решетки при изменении рабочей частоты. Такое качание луча совершенно нежелательно для высоконаправленных антенн фиксированных систем радиосвязи, особенно в случае систем типа «точка – точка».

Один из возможных путей решения проблемы частотного качания луча – использование симметричного возбуждения ветвей системы подведения сигнала. В данном случае противоположные ветви системы подведения дают возможность компенсировать качание луча при изменении частоты, но это приводит к уменьшению КУ антенны, что делает данное решение неприоритетным [2].

Еще один подход к уменьшению потерь в подводящей системе двумерной антенной решетки – ее реализация на основе полых металлических волноводов. При этом отдельные антенные элементы могут быть реализованы на основе щелей или небольших рупорных антенн. Основным недостатком такого подхода оказывается массивность волноводных элементов в рассматриваемом диапазоне частот, а также сложность изготовления (обычно металлические элементы требуют высокоточной обработки металлических деталей).

Также может быть рассмотрена рефлекторная антенна, например антенна Кассегрена. Данный подход получил большое распространение в коммерческих реализациях высоконаправленных антенн рассматриваемого частотного диапазона за счет сравнительно простой конструкции и использования стандартного волноводного интерфейса на основе металлического волновода круглого или квадратного сечения, хотя такие коммерческие решения, как правило, имеют высокую стоимость.

Одним из недостатков этого типа антенн является эффект затенения излучающей апертуры вторичным отражателем. При этом поскольку размер вторичного отражателя обычно слабо меняется с увеличением размера рефлектора (и, соответственно, с увеличением КУ), то эффект затенения оказывает наибольшее влияние на антенны с умеренным значением КУ, которые имеют наибольшее распространение в транспортных сетях высокоскоростной передачи данных, системах передачи данных на небольшие расстояния, таких как соединения между зданиями в плотной городской застройке и обеспечения беспроводного доступа к конечному пользователю от последней узловой базовой станции (так называемая последняя миля (Last Mile Connectivity)).

Одним из наиболее перспективных подходов к реализации высоконаправленной антенны миллиметрового диапазона длин волн стали линзовые антенны (ЛА). В общем случае такая антенна представляет собой диэлектрическую линзу, фокусирующую излучение от первичного облучателя, расположенного в ее фокусе. Излучение от первичного облучателя со сферическим фазовым фронтом, преломляясь на границе раздела «диэлектрик – свободное пространство», формирует плоский фазовый фронт и, следовательно, узкий луч ДН в дальней зоне. Таким образом, принцип фокусировки в ЛА является схожим с таковым в классических рефлекторных антеннах. Однако поскольку облучатель располагается за излучающей поверхностью линзы, то в ЛА отсутствует эффект затенения апертуры, что позволяет повысить их коэффициент использования поверхности и, следовательно, КУ. По типу расположения первичного облучателя ЛА можно разделить на два основных класса: тонкие линзы и интегрированные линзовые антенны (ИЛА).

Таким образом, задача разработки узконаправленной антенны частотного диапазона 80 ГГц с возможностью электронного качания основного луча ДН актуальна. Такая сканирующая антенна будет иметь возможность динамической компенсации отклонений положения луча ДН, вызванных деформацией монтажных конструкций, и, тем самым, существенно повысить качество радиосоединения и доступность связи. Поскольку в большинстве практических ситуаций именно деформации, приводящие к изменению положения луча вдоль линии, соединяющей две антенны системы «точка – точка», приводят к разрыву радиосоединения, то для разрабатываемой антенны достаточно обеспечить возможность электронного качания луча только в одной плоскости. При этом предельные отклонения луча обычно не превышают двух ширин луча ДН, поэтому для рассматриваемой антенны достаточно обеспечить диапазон сканирования  $\pm 2 \theta$ , где  $\theta$  – ширина луча по уровню половинной мощности.

В качестве основного подхода к разрабатываемой антенне была выбрана ИЛА благодаря возможности простой реализации электронного качания луча ДН за счет переключения между набором первичных облучателей, расположенных на плоском основании линзы [3].

В качестве материала линз могут быть использованы различные диэлектрические материалы с малым уровнем тангенса угла диэлектрических потерь, такие как фторопласт, полиэтилен высокой плотности, Rexolite, кварцевое стекло и высокоомный кремний. Выбор материала линзы обусловлен требованиями разрабатываемой системы связи, однако при использовании планарных первичных облучателей выбор материала линзы, имеющего близкое значение диэлектрической проницаемости к материалу подложки, позволяет существенно уменьшить влияние поверхностных волн, возникающих на границе раздела печатной платы и линзы [2].

На системы связи, работающие в указанном частотном диапазоне, накладываются существенные регуляторные ограничения, в частности на значение КУ и ширину луча используемых антенн для локализации излучения и предотвращения интерференционных помех для близкорасположенных систем, работающих в этом частотном диапазоне. Согласно европейским регуляторным ограничениям антенна системы фиксированной радиосвязи частотного диапазона 71...86 ГГц должна иметь КУ не менее 38 дБи, что соответствует ширине основного луча диаграммы направленности порядка  $2^\circ$ , что близко к значению  $2,5^\circ$ , указанному в отечественных регуляторных документах. Такие значения КУ в рассматриваемом диапазоне частот соответствуют размеру апертуры антенны порядка  $D = 120 \dots 140$  мм, что позволяет реализовать такую систему в достаточно компактном форм-факторе, а это в условиях плотной городской застройки позволит размещать такие системы не только на радиорелейных мачтах, а также на различных неспециализированных опорных конструкциях, таких как опоры освещения, билборды и малые мачты на крышах зданий.

Линзу ИЛА диаметром  $D = 120$  мм необходимо выполнить из полиэтилена высокой плотности и состоять она должна из полужилптической коллимирующей поверхности, формирующей узкий луч ДН в дальней зоне в направлении, заданном положением активного первичного облучателя, и конусированным продолжением. Конусированное продолжение позволяет уменьшить размер и массу линзы за счет усечения не участвующей в формировании узкого луча ДН ее части. Такая модификация позволяет уменьшить вес линзы примерно на  $20 \dots 30$  % и не искажает ДН при условии, что диаметр усеченной части  $D_{\text{кон}} > D/4$ .

**Библиографический список**

1. Решение ГРЧ от 15.06.2010 № 10-07-04-1. Об упрощении процедуры выделения полос радиочастот 71-76 ГГц и 81-86 ГГц для использования радиорелейными станциями прямой видимости. URL: <http://www.grfc.ru/upload/medialibrary/246/005578.doc> (дата обращения: 01.02.2021).
2. Kalimulin R. Impact of Mounting Structures Twists and Sways on Point-to-point Millimeter-Wave Backhaul Links // IEEE International Conference on Communications, 2016.
3. Shivom A. Harmonized European Standard ETSI EN. URL: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302200\\_302299/30221703/02.02.01\\_60/en\\_30221703v020201p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302200_302299/30221703/02.02.01_60/en_30221703v020201p.pdf) (дата обращения: 01.02.2021).

УДК 621.396.677.85

**А. Ю. Галактионов**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**В. Ф. Михайлов** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**РАЗРАБОТКА УЗКОНАПРАВЛЕННОЙ АНТЕННЫ ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА 80 ГГц**

В данной статье была разработана модель антенны радиорелейной линии связи диапазона 80 ГГц, представлена конструкция интегрированной линзовой антенны, поддерживающая электронное управление лучом для двухточечных обратных радиостанций.

Для реализации была выбрана четырехэлементная линейная матрица микрополосковых патч-антенных элементов. Массив был ориентирован вертикально для компенсации качаний вдоль воображаемой линии между двумя станциями радиолинии. Колебания вдоль этой линии являются наиболее пагубным типом прогибов монтажных конструкций, которые могут существенно ухудшить качество радиосвязи. Колебания в ортогональном направлении фактически не изменяют ориентацию луча и могут допускаться радиолинией без влияния на качество связи. Известно, что использование интегрированной линзовой антенны обеспечивает возможность электронного управления лучом в различных условиях [1–3].

Линзу ИЛА диаметром  $D = 120$  мм нужно выполнить из полиэтилена высокой плотности, состоять она должна из полуэллиптической коллимирующей поверхности, формирующей узкий луч ДН в дальней зоне в направлении, заданном положением активного первичного облучателя, и конусированным продолжением. Конусированное продолжение дает возможность уменьшить размер и массу линзы за счет усечения не участвующей в формировании узкого луча ДН ее части. Такая конструкция позволит уменьшить массу линзы примерно на 20–30 % и не искажает ДН при условии, что диаметр усеченной части  $D_{\text{усч}} > D/4$ . В качестве первичных облучателей были выбраны волноводные облучатели.

Также для повышения согласования подводящего волновода и линзы были применены согласующие выступы на основании линзы в месте подведения волноводных облучателей. Положение первичных облучателей на основании линзы выбрано для обеспечения перекрытия лучей ДН по уровню половины мощности (–3 дБ).

Требуемый уровень перекрытия для рассматриваемой ИЛА достигается при расстоянии между центрами первичных облучателей 2,5 мм. С учетом производственных ограничений на толщину металлической стенки ширина раскрыва первичных волноводных облучателей была выбрана равной 2,1 мм, а длина – 2,54 мм, что соответствует длине стандартного волновода WR10. Сечение решетки из четырех перекрывающихся волноводных первичных облучателей, расположенных на основании линзы.

Хотя выбранная ширина несколько меньше оптимальной, такое уменьшение приведет к деградации КУ не более 0,3 дБ, что не превышает возможную деградацию КУ при использовании планарных первичных облучателей с неоптимальной шириной диаграммы направленности и является допустимым компромиссом между уровнем КУ и обеспечением перекрытия лучей по уровню половины мощности. Система распределения ИЛА основана на четырехпозиционном СВЧ-переключателе TGS4307. Согласно техническим характеристикам, данный переключатель вносит около 2,5 дБ потерь, что достаточно значительно.

Для использования данного переключателя была разработана система подведения на основе микрополосковых линий. Подключение такой системы подведения СВЧ-переключателя осуществлено с использованием волноводно-микрополоскового перехода на основе перекрывающихся полосковых линий. Переход реализован на однослойной печатной плате из СВЧ-материала RO4003C толщиной 0,203 мм. На противоположных сторонах платы в области перехода имеются перекрывающиеся полосковые линии, обеспечивающие плавную трансформацию низшей моды TE<sub>10</sub> подводящего волновода в квазиТЕМ моду микрополосковой линии.

Печатная плата с плавниковыми линиями зажимается между двумя половинами волновода WR10, разделенными в Е-плоскости. При этом две части волновода электрически соединяются металлизированными переходными отверстиями, продлевающими структуру волновода в теле печатной платы. Строение перехода было улучшено с помощью полного электродинамического моделирования

для обеспечения оптимальных характеристик в диапазоне 80 ГГц. Из-за того что конструкция волноводно-микророскового перехода основана на однослойной печатной плате, а для подачи линий питания и управления к СВЧ-переключателю необходимо не менее трех слоев металлизации, для экспериментального исследования полная система распределения была спроектирована на печатной плате на основе стеклотекстолита RO4003C, содержащей участки с одним диэлектрическим слоем на краях платы и с тремя диэлектрическими слоями в центральной части.

Разработанная ИЛА была интегрирована с наружными радиоблоками (ODU) посредством специального металлического крепления и платы управления, обеспечивающей необходимый уровень напряжения на коммутаторе для изменения положения луча, а также внешнего интерфейса управления.

Таким образом, доказано, что разработанная управляемая линзовая антенна может быть успешно внедрена в миллиметровые волновые системы связи «точка – точка», обеспечивающие автоматическое выравнивание линии связи по лучу.

#### **Библиографический список**

1. Решение ГКРЧ от 15.06.2010 № 10-07-04-1. Об упрощении процедуры выделения полос радиочастот 71-76 ГГц и 81-86 ГГц для использования радиорелейными станциями прямой видимости. URL: <http://www.grfc.ru/upload/medialibrary/246/005578.doc> (дата обращения: 01.02.2021).
2. Kalimulin R. Impact of Mounting Structures Twists and Sways on Point-to-point Millimeter-Wave Backhaul Links // IEEE International Conference on Communications, 2016.
3. Shivom A. Harmonized European Standard ETSI EN. URL: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302200\\_302299/30221703/02.02.01\\_en\\_30221703v020201p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302200_302299/30221703/02.02.01_en_30221703v020201p.pdf) (дата обращения: 01.02.2021).

УДК 616. 12-073

**Д. С. Карелина**

магистрант кафедры медицинской радиоэлектроники

**К. Н. Тимофеев** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**КОМПЛЕКСНАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕРМИЧЕСКИХ ПОРАЖЕНИЙ КОЖНОГО ПОКРОВА**

В статье рассматривается комплексный инструментальный подход к диагностике кожных покровов пациентов при термических поражениях. Это возможно при использовании комплекствующих производителей с полным набором продуктовых линеек. Один из таких передовых производителей – компания Analog Devices, применение новых модулей которой позволяет создавать приборы для выявления полной клинической картины термического воздействия на кожный покров с точки зрения как фиксации периметра поражения кожи, так и степени глубины поражения по всей площади ожога.

Оптические методы диагностики биологических тканей активно применяются в биологии и медицине на протяжении длительного времени, при этом инструменты и методы постоянно совершенствуются. Одно из перспективных направлений в данной области – комплексный инструментальный подход к диагностике, чему способствует активное обновление современной элементной базы, обусловленное в том числе внедрением 7- и 5-нанометровой технологии (например, передовые разработки компаний NVIDIA и AD). Это в свою очередь при решении задач диагностики биологических тканей позволяет использовать новые алгоритмы обработки 2D- и 3D-данных с применением элементов машинного обучения. В статье рассматривается комплексный инструментальный подход к диагностике кожных покровов пациентов при термических поражениях [3].

Оптическое излучение для извлечения данных о состоянии как здоровой, так и поврежденной биологической ткани используется достаточно давно. Основной диагностический метод исследования состояния кожного покрова пациента – применение излучения ближнего ИК-диапазона длин волн, которые обладают способностью достаточно глубоко проникать в поверхностные биологические ткани.

Одним из первых инструментальных методов, использующих инфракрасное излучение для выявления контраста при термическом поражении между здоровой и пораженной кожей пациента, был тепловизор, фиксирующий температуру с точностью до нескольких долей градуса в каждой микрозоне площадью 30 мкм<sup>2</sup>. Но использование тепловизора наталкивается на ряд сложно устранимых препятствий. Статистика показывает, что достоверность термографии лежит в пределах 55–70 %, что обусловлено ошибочной расшифровкой термограмм и наличием субъективного фактора при трактовке результатов обследования. При создании тепловизоров приходится учитывать и «окна» прозрачности атмосферы для ИК-диапазона, которые приведены на рис. 1 [1]. Вследствие того что биологические ткани частично содержат воду, спектральные «окна» прозрачности в инфракрасном диапазоне совпадают с теми диапазонами длин волн, где поглощение воды минимально.

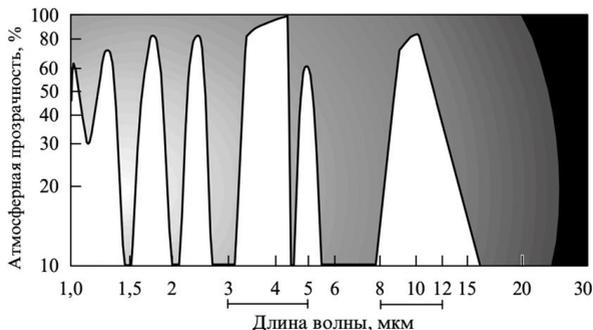


Рис. 1. «Окна» прозрачности атмосферы для инфракрасного излучения при разных длинах волн

Тепловизор может зафиксировать качественную характеристику и границу между здоровой кожей и тем ее участком, который подвергся термическому поражению, но фиксация глубины участка поражения ему недоступна [3]. От этого недостатка свободно решение, разработанное в ГУАП (ЛИАП) и описанное в патенте SU1415189A1. В нем сформулирован способ диагностики глубины ожогового поражения, предназначенный для ранней дифференциальной диагностики поверхностных и глубоких ожогов, в том числе у детей.

В работе [4] описан точечный метод исследования пораженного участка. Его преимущество перед томографией очевидно, но пораженный участок диагностируется только с количественной характеристикой степени поражения кожи в одной точке, тогда как площадь поражения, даже небольшого, желательно изучать более детально. Для разработки более совершенных инструментов диагностики биологических тканей, подвергнутых термическому поражению, целесообразно применять современные лазерные излучатели, но учитывать, что при использовании такого вида облучения на поверхности и внутри кожного покрова будут присутствовать эффекты: отражения, рассеяния, поглощения и пропускания. При диагностике кожного покрова пациента, с применением лазерного излучения, преобладают вопросы поглощения и рассеяния интенсивности падающей электромагнитной волны от излучателя. Поглощательная способность среды определяется как отношение поглощенной и падающей интенсивностей [3].

Для диагностики состояния кожного покрова пациентов целесообразно использовать ближний инфракрасный диапазон, который прозрачен для биологических тканей. В нем кванты практически не возбуждают электронные переходы, но еще имеют слишком высокую энергию для эффективного возбуждения колебательных степеней свободы молекул. Поэтому ИК-излучение в диапазоне длин волн 750–1 400 нм соответствует «окну» прозрачности кожного покрова пациентов. Так можно диагностировать объекты, расположенные на глубине 3–5 мм.

Если рассматривать реализацию устройства для диагностики термического поражения кожного покрова пациентов с использованием современной элементной базы, то рациональным вариантом оказывается высокоинтегрированный фотометрический интерфейсный модуль ADPD144R. Эта микросхема является практически законченным элементом для соответствующего прибора, имеет узел излучающих инфракрасных (ближняя зона) светодиодов, узел инфракрасных фотоприемников, а также полноценную аналоговую и цифровую часть для обработки данных [5]. Функциональная схема модуля приведена на рис. 2.

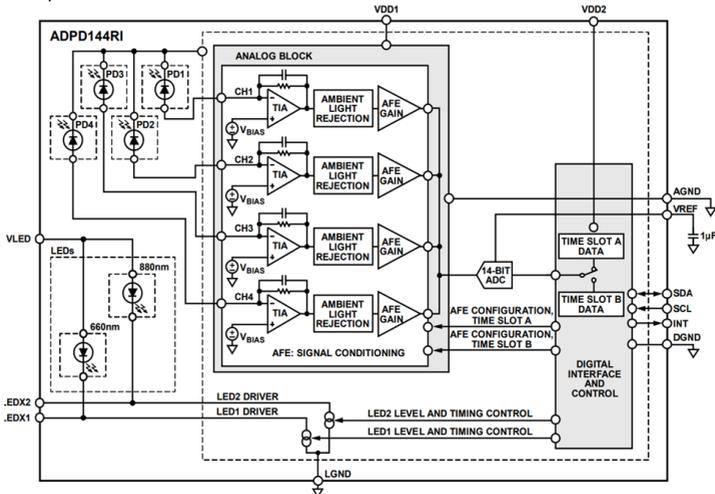


Рис. 2. Модуль оптического датчика PPG со встроенными инфракрасными излучателями и приемниками [6]

Интегральная схема в компактном корпусе обеспечивает оптическую развязку между встроенными светодиодными излучателями и детектирующими фотодиодами. Это позволяет улучшить отношения «сигнал – шум» (SNR). Модуль сочетает высокоэффективные светодиодные излучатели и чувствительный 4-канальный фотодиод (от PD1 до PD4) со специальным программным приложением.

Микросхема состоит из 4-канального аналогового внешнего интерфейса (AFE) с двумя независимо настраиваемыми каналами данных, с отдельным усилением и настройками фильтров. Также имеется 14-битный аналого-цифровой преобразователь, драйверы светодиодов и цифровой блок управления. Этот блок обеспечивает синхронизацию аналогового внешнего интерфейса (AFE) и светодиодов, цифровую обработку сигналов и передачу цифровых данных во внешнее устройство. Габаритные размеры модуля 2,8×5,0 мм со встроенными оптическими компонентами.

Для формирования полной клинической картины термического поражения кожи пациента целесообразно также иметь количественные показатели, характеризующие его границы. Решение этого вопроса может лежать в плоскости комплексного инструментального подхода к диагностике пораженного участка кожи. Граничные эффекты можно выявить по наличию или отсутствию кровотока в коже. При этом визуальное покраснение кожного покрова пациента не является исчерпывающим показателем, потому что необходимо собирать пульсирующие компоненты из вен и капилляров непосредственно под поверхностью кожи. Только когда кровотока отсутствует, можно делать заключение о границе термического поражения кожи. Видимое излучение с длиной волны 500–565 нм (зеленый свет) в этой ситуации дает наилучшие результаты [6]. Для решения этого вопроса целесообразно применить интегрированный оптический модуль с подавлением окружающего света и двумя светодиодами ADPD188GG.

При выборе компромисса между положением датчика и длиной волны светодиода необходимо искать наиболее подходящее оптическое решение. Ключевым моментом будет размещение передатчика и приемника таким образом, чтобы можно было получать максимальное количество принимаемого сигнала на каждый миллиампер используемого тока передачи. На рис. 3 представлен внешний вид интегрированного оптического модуля.



Рис. 3. Внешний вид интегрированного оптического модуля [7]

Фотодатчик модуля разделен на участки размерами 0,4 мм (2) и 0,8 мм (2), что обеспечивает гибкость, позволяющую увеличить общую поверхность фотодиода для большей чувствительности или использования детектора меньшего размера с целью предотвращения насыщения сенсора. Фотодиод размещается поверх аналогового интерфейса. Также модуль имеет аналоговый блок подавления окружающего света. Два зеленых светодиода управляются встроенными источниками тока, способными управлять токами до 370 мА и импульсами длительностью до 1 мкс, чтобы уменьшить общий средний ток. Корпус сконструирован таким образом, что проходящий светодиодный свет с трудом может достичь фотодатчика, не проникая в ткани. Это предотвращает оптические перекрестные помехи и обеспечивает пользователю лучший индекс модуляции, даже когда датчик помещен под стеклянным или пластиковым окном.

Комплексирование двух рассмотренных модулей позволяет создать принципиально новый инновационный компактный прибор для диагностики кожных покровов пациентов при термических пора-

жениях. Он будет способен представлять полную клиническую картину термического воздействия на кожный покров с точки зрения как фиксации периметра поражения кожи, так и степени глубины поражения по всей площади ожога.

Накопление комплексных данных, полученных при использовании оптических исследований термических поражений кожных покровов пациентов на рассмотренных длинах волн, позволит осуществить тренировку различных классификаторов для определенных видов ожогов, в терминах нейросетей – обучающих выборок.

#### Библиографический список

1. Vincent J. D. Radiometry // *Fundamentals of Infrared Detector Operation and Testing*. N. Y.: Wiley, 1990. Ch. 3.
2. Development and application of three-dimensional light distribution model for laser irradiated tissue / Yoon G., Welch A. J., Motamedi M. et al. // *IEEE J. Quantum Electr.* 1987. Vol. 23, № 10. P. 1721–1733.
3. Карякин Н. Н., Арефьев И. Ю. Совершенствование оказания специализированной медицинской помощи пострадавшим с термической травмой // *IV съезд комбустиологов России: сб. науч. тр., 13–16 окт. 2013 г. М., 2013. С. 21–22.*
4. Реестр интеллектуальной собственности. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/141/1415189.html> (дата обращения: 19.03.2021).
5. Вавилов В. П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. 2-е изд., доп. М.: ИСпектр, 2013. 544 с.
6. Технология оптического зондирования. URL: <https://www.analog.com/en/products/sensors-mems/optical-sensing-technology.html> (дата обращения: 19.03.2021).
7. Evaluating the ADPD188GG Optical Module. URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/user-guides/eval-adpd188ggz-ug-1256.pdf> (дата обращения: 19.03.2021).

УДК 621.391

**К. Э. Козлов**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**А. Н. Мингалев** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ НА ОСНОВЕ АНСАМБЛЯ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОДОВОГО И ПОЗИЦИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ СИГНАЛОВ

В настоящее время активно развиваются системы передачи информации. С каждым годом появляются новые требования к ним. Повышаются требования к расстоянию, на котором должна производиться передача сообщений, достоверности передачи и времени доведения сообщения. Рост общего количества абонентов в использованном частотном диапазоне приводит к появлению помех от сторонних станций.

При использовании в качестве несущего колебания в виде отрезка синусоиды спектр информационной последовательности сигналов будет узкополосным и иметь вид, представленный на рис. 1. Такой сигнал уязвим к сторонним помехам в рабочей полосе. При появлении в ней мощного источника стороннего излучения отношение сигнал/помеха будет крайне низким, а вероятность ошибки на бит высокой.

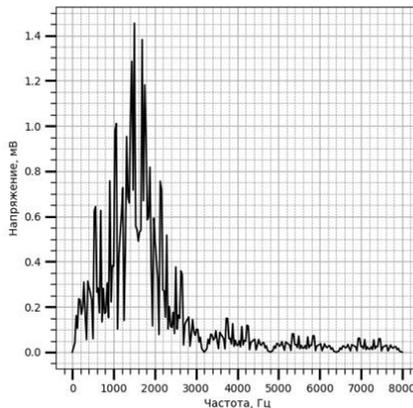


Рис. 1. Спектр модулированного сигнала с несущим колебанием в виде отрезка синусоиды

Априорная неопределенность об условиях распространения радиоволн и помеховой обстановке в точке приема не позволяет использовать оптимальные сигналы и методы их обработки. Сегодня особенно актуальна проблема обеспечения информационного обмена с беспилотными летательными аппаратами. Ее решение видится в развитии методов широкополосной передачи сообщений, не требующих знания априорной информации. Одним из способов обеспечения помехозащищенной передачи информации является использование сигналов с расширением спектра [1].

Передача информации с расширением спектра, когда сигнал занимает полосу частот значительно более широкую в сравнении с полосой, минимально необходимой для передачи данных, достаточно хорошо известна. Спектр широкополосной системы показан на рис. 2. Его расширение реализуется следующими методами: прямой модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью (ПСП); псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. Эти и другие методы подробно описаны [2]. В данной работе применяется метод прямой модуляции несущей ПСП, также называемый прямым расширением спектра шумоподобными сигналами.

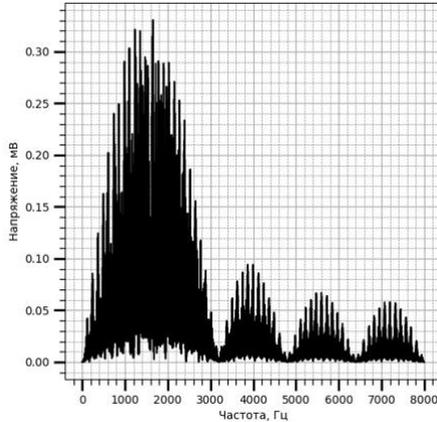


Рис. 2. Спектр широкополосной системы

Псевдслучайная последовательность – детерминированная последовательность, которая обладает статистическими характеристиками белого гауссовского шума. Генерация таких последовательностей осуществляется на основе порождающих полиномов [3].

Применение обычных последовательностей не обеспечивает необходимой помехозащищенности такой системы. Стоит использовать последовательности с хорошими автокорреляционными функциями, а также ансамбли с хорошими взаимокорреляционными функциями.

Системы передачи информации, в которых используются сигналы с расширением спектра, имеют ряд достоинств: повышенная помехоустойчивость, обеспечение кодового разделения сигналов, энергетическая скрытность, возможность противостоять специальным видам помех и др. [4].

Широкополосный сигнал характеризуется базой, которая определяется выражением

$$B = FT, \quad (1)$$

где  $F$  – ширина спектра;  $T$  – длительность периода сигнала.

Как правило,  $B \gg 1$ . Если база сигнала равна единице, то такие сигналы называют простыми.

Широкополосные системы могут достоверно передавать информацию в условиях воздействия помех от сторонних станций. Пусть в радиоканале присутствует сосредоточенная помеха. Тогда эффективное отношение сигнал/помеха определяется следующим выражением:

$$h^2_{эфф} = \frac{h^2_{ОБШ}}{1 + h^2_{ОБШ} \cdot \left(\frac{P_n}{P_c} \cdot B\right)}, \quad (2)$$

где  $h^2_{ОБШ}$  – отношение сигнал/помеха при воздействии на сигнал белого гауссовского шума;  $B$  – база сигнала;  $P_n$  – мощность помехи;  $P_c$  – мощность сигнала.

Примем в данном примере следующие характеристики сигнала:  $h^2_{ОБШ} = 10$ ,  $B = 3$ кГц и

$T = 20$  мс. Предположим, что сосредоточенная помеха в 2 раза больше нашего сигнала, т. е.  $\frac{P_n}{P_c} = 2$ .

Тогда из выражения (2) следует, что  $h^2_{эфф} = 7,5$ .

Существенным недостатком известных систем передачи данных с применением расширения спектра методом псевдслучайной последовательности является снижение скорости передачи инфор-

мации. Для ее повышения предлагается совместное использование нескольких различных видов модуляции. Основу системы передачи данных составляет ансамбль ПСП (кодовая модуляция). Кроме того, данные последовательности предлагаются дополнительно модулировать с применением М позиционной относительной фазовой модуляции (ОФМ). Ансамбль псевдослучайных последовательностей может быть расширен за счет использования циклических сдвигов ПСП. Как показано в [3], подобные сдвиги не изменяют структурные свойства последовательностей. Такой подход, по сути, позволяет увеличить количество бит, передаваемых с использованием кодовой модуляции.

Было проведено имитационное моделирование предложенного подхода, результаты представлены на рис. 3. При моделировании использовались: ансамбль из четырех ПСП, четыре ОФМ, четыре сдвига ПСП. Как видно из рисунка, помехоустойчивость рассматриваемой системы уменьшается незначительно, по сравнению с помехоустойчивостью системы, использующей только ансамбль ПСП, при этом скорость передачи информации увеличилась в 3 раза.

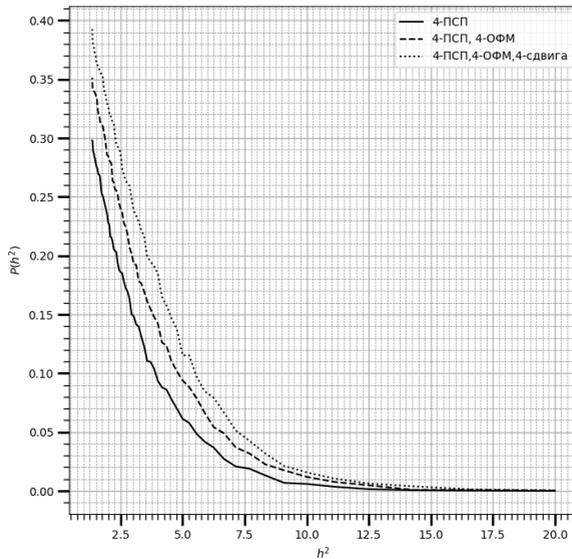


Рис. 3. Результат имитационного моделирования

Конкретный вид модуляции должен выбираться на основании анализа текущего состояния канала связи и достижения заданных критериев эффективности функционирования системы передачи данных. Предложенный в работе подход позволяет существенно увеличить скорость передачи информации в помехозащищенной системе.

### Библиографический список

1. Пестряков В. Б. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации. М.: Сов. радио, 1973. 424 с.
2. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра. М.: Радио и связь, 2000. 520 с.
3. Алексеев А. И. Теория и применение псевдослучайных сигналов. М.: Наука, 1969. 359 с.
4. Борисов В. И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью. М.: Радио и связь, 2003. 640 с.

УДК 621.391.812.61

**М. А. Кулигин**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**В. А. Жиров** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**МОДЕЛИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ЗАМИРАНИЙ РАДИОСИГНАЛА СПУТНИКОВОЙ РАДИОЛИНИИ В ДОЖДЕ****Введение**

В последние годы для предоставления пользователям высокоскоростного доступа к информации интенсивно развиваются радиосистемы ее передачи в высокочастотных диапазонах радиоволн. Освоение этих диапазонов осуществляется в целях достижения более высокой пропускной способности. Сигнал спутниковой радиолинии проходит в атмосфере, где присутствуют атмосферные газы и гидрометеоры, которые оказывают поглощающее действие на радиоволны.

Абонентский терминал при возникновении особо глубоких замираний освобождает ресурс для использования его другими абонентскими терминалами, что позволяет повысить эффективность частотно-энергетического ресурса транспондера. Для реализации этого сценария необходимо отслеживать изменение уровня принимаемого сигнала либо оценивать отношение сигнал/шум и прогнозировать возникновение замирания, освобождать занимаемый ресурс в интересах терминалов, находящихся в благоприятных условиях.

Наблюдения за влиянием осадков на работу радиолиний ведутся постоянно. Их результаты обрабатываются и наиболее полезные для практики публикуются в рекомендациях серии Р Сектора радиосвязи Международного союза электросвязи. Известные модели условно можно сгруппировать и представить в обобщенном виде [1].

**Долговременная статистическая модель**

Сегодня для практики наиболее значима модель, которую условно можно назвать долговременной статистической моделью [1]. Она характеризует потери, которые можно ожидать для конкретной радиолинии с конкретным положением земных станций и космических аппаратов. Эта модель основана на том факте, что потери в дожде в конкретном месте имеют монотонную зависимость от его интенсивности. Имеется также статистически устойчивая частотная и поляризационная зависимость потерь. Кроме того, значение имеет и геометрия трассы на спутник, которая влияет на протяженность пути в слое атмосферных осадков. В связи с этим если есть статистические данные по интенсивности дождя в данной географической точке, то можно спрогнозировать глубину замираний с заданной вероятностью.

Данная модель широко используется при проектировании линий, но не может применяться для решения задач управления в реальном времени в силу того, что никак не описывает временную закономерность изменения сигнала. Подходит для долгосрочного планирования.

**Модели на основе частных статистик**

Модели на основе частных статистик описывают замирания в терминах продолжительности замирания, понимаемых в статистическом смысле [2]. Продолжительность замирания – это интервал времени, в течение которого уровень радиосигнала на входе приемника ниже определенного порога. Она описывается в статистических терминах двумя показателями. Первый – вероятность возникновения замирания продолжительностью  $d$ , превышающей контрольный уровень  $D$ , при условии, что замирание  $a$  больше, чем  $A$ , т. е.  $P(d > D | a > A)$ . Это частная долговременная статистика, которую получают как отношение количества замираний продолжительностью больше  $D$  к общему количеству наблюдаемых замираний при условии, что порог  $A$  превышен. Второй показатель – условная функция распределения вероятности  $F(d > D | a > A)$ , где  $d$  – время замирания продолжительностью более  $D$ , для которых превышает порог замирания  $A$ . Это тоже частная статистика, которую оценивают по от-

ношению суммарного времени замираний продолжительностью более  $D$ , для которых превышен порог  $A$  к общему времени превышения порога.

Длительность замирания обычно представляется в виде интегральной функции распределения продолжительности замираний определенной глубины. Она также является частной долговременной статистикой.

Интересна частная статистика, использующая спектрально-корреляционное описание сигнала во время ослабляющего действия гидрометеоров [3]. Они более применимы, когда имеется стационарность процессов. Тем не менее, анализ спектров замираний и корреляционных функций, позволяет выявить определенные закономерности и получить исходные данные по замираниям в дожде для использования в задачах управления радиoliniями. Данная модель подходит для долгосрочного планирования, кроме того, может использоваться для обоснования требований к протоколам передачи, так как позволяет предсказывать длительность замирания.

**Стохастически-динамические модели замираний**

Стохастически-динамические модели – это модели на основе цепей Маркова. Они создаются на основе тех или иных частных статистик. Схематическое представление модели показано на рис. 1.

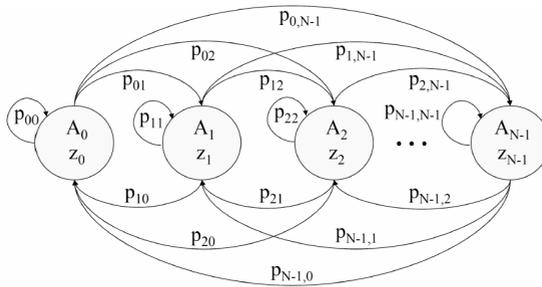


Рис. 1. Схематическое представление модели цепи Маркова с вероятностями состояний и вероятностями перехода состояний [4]

Число состояний равно  $N$ , вероятности состояний  $z_i$  дают вероятность уровня затухания  $A$  и могут быть упорядочены в вектор вероятности состояния  $z$ :

$$z = [z_0, z_1, \dots, z_N]. \tag{1}$$

Вероятности перехода состояния  $p_{ij}$  могут быть упорядочены в матрицу вероятностей перехода  $P$ :

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1,N-1} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ p_{N-1,1} & \dots & p_{N-1,N-2} & p_{N-1,N-1} \end{pmatrix}. \tag{2}$$

Из матрицы вероятностей перехода общей модели цепи Маркова  $N$ -состояния, генерируемой временным рядом затухания, может быть рассчитано стационарное распределение вероятностей цепи Маркова по формулам [5]

$$P(A \geq A_i) = \sum_{j=1}^{N-1} z_j, \tag{3}$$

$$\bar{z} = \bar{P} \cdot \bar{z}. \quad (4)$$

Матрица перехода модели Маркова  $N$ -состояния доступна от абсолютного минимума до абсолютного максимума значения затухания. Для оценки затухания необходимо учитывать только соответствующую часть матрицы перехода  $P$ , которая может быть вычислена с помощью формул [5]

$$P = \{P_{ij} \mid m < i, j < M\}, \quad (5)$$

$$m = \frac{A_{m,\min} - A_{h,\min}}{0.05}, \quad (6)$$

$$M = \frac{A_{m,\max} - A_{h,\min}}{0.05}, \quad (7)$$

где  $m$  – минимальное, а  $M$  – максимальное число состояний, принадлежащих минимальному ( $A_{m,\min}$ ) и максимальному ( $A_{m,\max}$ ) уровню затухания, возникшему при измерении после преобразования затухания. Абсолютный максимум и абсолютный минимум уровня затухания, произошедшие в ряду данных канала, подписываются  $A_{h,\min}$  и  $A_{h,\max}$ . При наличии матрицы переходных вероятностей, функция распределения может быть рассчитана по формулам (1) и (2). Результаты представлены на рис. 2.

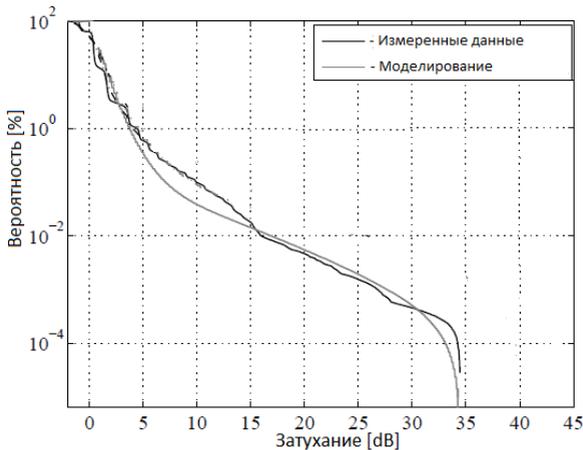


Рис. 2. Затухание измеренных данных и сгенерированных временных рядов. Параметры  $P_{ij}$  получены из гауссовой модели [5]

Представленные модели применяются в основном в имитаторах замираний, используемых при испытаниях аппаратуры. Модель может использоваться как основа для разработки протоколов управления радиолинией в реальном времени.

### Выводы

Изучив модели для описания замираний во время дождя можно сделать вывод, что стохастически-динамические модели замираний на основе цепи Маркова применимы для оценки затухания дождя на высокочастотных линиях связи, что очень важно при планировании соединений, так как осадки оказывают сильное влияние на распространение высокочастотных волн. Модели на основе частных ста-

тистик могут быть использованы для исходных данных в задачах управления радиолиниями. Долговременная статистическая модель используется при построении линий передачи, но не может быть применена для управления.

Модели на основе частных статистик и стохастически-динамические модели замираний полезны для долгосрочного планирования, кроме того, последние могут применяться для обоснования требований к протоколам передачи данных, разработки протоколов управления радиолинией в реальном времени.

#### **Библиографический список**

1. Рекомендация МСЭ-R P.618-13 – Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, необходимые для проектирования систем связи Земля-космос. 2017. 29 с.
2. Braten L., Amaya C., Rogers D. Fade Durations on Earth-Space Links: Dependence on Path and Climatic Parameters // Proceedings of URSI Commission F Meeting on Climatic Parameters in Radiowave Propagation Prediction (CLIMPARA '2001), Budapest, Hungary, WPP-184. 2001. P. 107–111.
3. Burgueno A., Vilar E., Puigcerver M. Spectral Analysis of 49 Years of Rainfall Rate and Relation to Fade // Dynamics, IEEE Trans. on Comm. 1990. Vol. 38. P. 1359–1366.
4. Heder B., Horvath P., Bito J. Attenuation Time Series Generation at 38 GHz with Time and State Discrete Markov Model // IST Mobile Summit 2006, Myconos, Greece, CD Proceeding. 2006.
5. Heder B., Bito J. General N-State Markov Model for Rain Attenuation Time Series Generation // Wireless Personal Communications, Springer Netherlands. 2008. 14 p.

УДК 621.396.946

**С. Д. Ларин**

студент кафедры медицинской радиэлектроники

**В. А. Жиров** – доктор физико-математических наук, профессор – научный руководитель**ПРОТОКОЛ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ В КАНАЛЕ МЕТЕОРНОЙ СВЯЗИ****Введение**

В работе рассматривается возможный вариант протокола передачи сообщений по метеорным радиополосам связи и управления, использующим эффект отражения УКВ радиоволн от метеорных следов. Новизна заключается в применении протоколом циклического избыточного кода – алгоритма нахождения контрольной суммы, предназначенной для проверки целостности данных.

Объект исследования – радиополоса метеорной связи. Предмет – процесс передачи сообщений по радиополосам метеорной связи.

Цель исследования – повышение своевременности доставки сообщений (показатель своевременности – вероятность успешной передачи сообщения определенной длины в контрольные сроки) на основе учета статистических характеристик радиополосы метеорной связи. Задача – разработка протокола передачи сообщений по радиополосам метеорной связи, учитывающего статистические характеристики канала.

**Принцип работы метеорной связи**

Метеорная радиосвязь (МРС) использует явление отражения радиосигнала от ионизированных следов метеоров в пространстве, вызванных попаданием метеоров в атмосферу. Метеорный след должен соответствовать определенной геометрии, в частности иметь четкое начало и конец. Время эксплуатации следа невелико: от десятков миллисекунд до нескольких секунд. Таким образом, конкретная линия может поддерживать связь через метеорный след в течение очень короткого периода времени, а затем пользователям придется ждать, пока другой след с аналогичными геометрическими характеристиками войдет в атмосферу. В канале МРС передатчик передает данные пакетами, когда обнаруживается метеорный след, далее связь обрывается, и он ожидает другой след и снова передает данные.

Используемый радиочастотный диапазон для работы с метеорными следами находится между 20 и 120 МГц. Более низкие частоты желательнее и обеспечивают лучшую производительность, но приемники на них ограничены внешними шумами. Космический и техногенный шумы настолько велики по сравнению с ожидаемыми уровнями сигнала систем метеорной связи, что эти более низкие частоты становятся практически непригодными для связи по метеорному радиоканалу (МПК). Внешний шум уменьшается пропорционально квадрату частоты. К сожалению, производительность МПК также падает в зависимости от частоты. Опытным путем было установлено, что диапазон рабочих частот 40...55 МГц является оптимальным для установления связи по МПК.

Следы метеоров подразделяются на две категории: недоуплотненные и переуплотненные – в зависимости от линейной плотности свободных электронов. Разделительная линия составляет  $q = 2 \cdot 10^{14}$  эл/м. Следы с линейной плотностью меньше этого значения являются недоуплотненными; те, у которых она выше, – переуплотненными.

Распределение прямых ионизированных метеорных следов – важный аспект работоспособности канала. Для того чтобы канал был пригодным к использованию, необходимо, чтобы следы приблизительно удовлетворяли условию зеркального отражения. То есть чтобы ионизированный след был касательным к вытянутому сфероиду, в фокусах которого находятся передающий и приемный терминалы (рис. 1) [1].

Так как время прохождения сообщений по кругу во много раз меньше времени передачи сообщений, а время существования канала мало, то для передачи сообщений можно использовать протокол передачи с остановками и ожиданием подтверждения (SW ARQ). На рис. 2 показан пример передачи нескольких кадров с использованием ARQ Stop-and-wait [2].

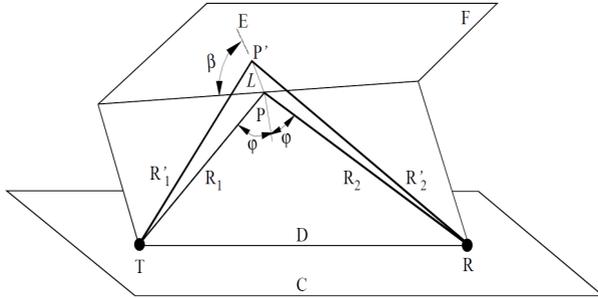


Рис. 1. Геометрия распространения лучей от метеорного следа. С – Земная поверхность; D – плоскость распространения; E – след; F – касательная плоскость;  $\beta$  – угол между осью следа и плоскостью распространения; T – передатчик; R – приемник. Для условий L, P, P', R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>1</sub>', R<sub>2</sub>' и  $\varphi$

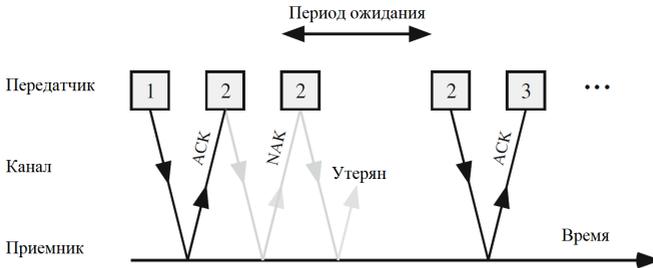


Рис. 2. Протокол SW ARQ

### Использование статистики

Использование статистической характеристики с целью повышения своевременности доставки сообщений представляется возможным при гарантировании обнаружения ошибок в канале связи. Существует много методов для исправления подобных ошибок, и для метеорной связи можно сравнивать корректирующее кодирование, которое исправляет ошибки, и кодирование для обнаружения ошибок. Однако применение хороших корректирующих кодов значительно сократит пропускную способность канала, поэтому далее рассматривается алгоритм, исключительно обнаруживающий ошибки.

Наиболее известный метод обнаружения ошибок передачи данных – циклический избыточный код (ЦИК) (англ. Cyclic redundancy code, CRC). Это алгоритм вычисления контрольной суммы, предназначенный для проверки целостности передаваемых данных.

Путем сопоставления данных из источников [1, 3, 4] было смоделировано годовое представление статистики метеорных вспышек (рис. 3).

Одни ученые [3, 4] рекомендуют использовать длину пакетов данных в пределах 100...200 бит, аргументируя это повышенной достоверностью передачи данных. Другие [1] докладывают, что для МРК со средними показателями вполне приемлемо увеличить длину пакета до 800 бит. В рассматриваемой модели было принято решение утвердить размер пакета равным 300 бит, вероятность ошибки на бит  $\epsilon = 1 \cdot 10^{-2}$ .

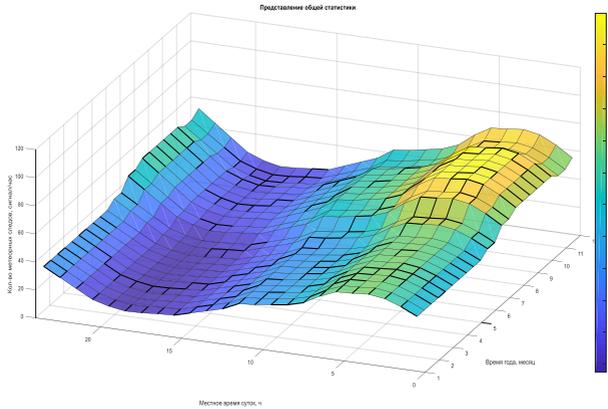


Рис. 3. Годовое представление статистики

В табл. 1 приведены результаты моделирования процесса передачи пакетных данных в канале с шумом. Рисунок 4 иллюстрирует полученную зависимость.

Таблица 1

**Зависимость вероятности пропуска искаженной последовательности от длины генераторного полинома**

Степень полинома	4	6	8	10	12	14	16
Количество испытаний*	1 млн	1 млн	1 млн	1 млн	100 тыс.	100 тыс.	100 тыс.
Полином	10011	1000011	111010101	11000110011	1100000001111	10001000010000101	1000100000001000001
Вероятность пропуска ошибочных последовательностей	0,035817	0,008066	0,002968	0,00153	0,000698	0,000025	0,000013

\*В целях экономии вычислительных ресурсов, начиная с полинома 12-й степени, количество испытаний было снижено в 10 раз.

На основании результатов исследования алгоритма ЦИК было заключено, что гарантию обнаружения ошибок в метеорном радиоканале дает генераторный полином 16-й степени. При передаче необходимого пакета данных с установленной величиной, равной 300 битам, вероятность пропуска искаженных последовательностей (невывявление наличия факта искажения информации) равна 0,000013 при  $\epsilon = 1 \cdot 10^{-2}$ , а при  $\epsilon = 1 \cdot 10^{-3}$  вероятность пропуска искаженных последовательностей стремится к нулю. Контрольная сумма в данном случае занимает только 5 % объема данных передаваемого пакета.

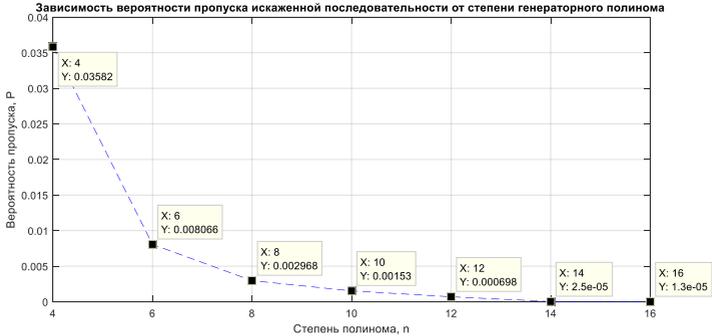


Рис. 4. Зависимость вероятности пропуска искаженной последовательности от степени генераторного полинома

На графике (рис. 5) приведена функция распределения для времени передачи четырех фрагментов сообщения для метеорного канала с надежностью 90 %. Исходные данные для моделирования представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Исходные данные для моделирования**

Вероятность корректной однократной передачи сообщения $p_c$	0,85
Вероятность, что зондирующее сообщение, подтвердится и передачи информационных сообщений корректны $p_{c3}$	0,614125
Граничные условия вероятности обнаружения ошибок $p_o$	
Худшее	0,75
Лучшее	0,99999

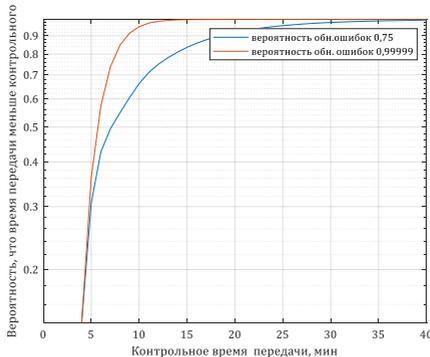


Рис. 5. Функция распределения времени передачи фрагментированного сообщения

**Заключение**

Результаты моделирования показывают значительную зависимость показателя своевременности от вероятности обнаружения ошибок.

Была достигнута цель по повышению своевременности доставки сообщений, на рис. 5 построена функция распределения времени передачи фрагментированного сообщения на основе учета статистических характеристик радиолинии метеорной связи, отражающая вероятность успешной передачи сообщения определенной длины в контрольные сроки. Построение модели и дальнейшее сравнение алгоритмов обнаружения ошибок позволило установить характеристики специального кодирования и описать зависимость вероятности пропуска искаженной последовательности от длины генераторного полинома.

#### Библиографический список

1. Freeman R. L. Radio system design for telecommunications. 3<sup>d</sup> ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. 911 p.
2. Gebali F. Analysis of Computer and Communication Networks. Victoria: Springer, 2008. 604 p.
3. Мирошников В. И., Будко П. А., Жуков Г. А. Составной тракт доведения информации до робототехнических комплексов в северных морях // Техника средств связи. 2019. № 3 (147). С. 2–26.
4. Мирошников В. И., Будко П. А., Жуков Г. А. Основные направления развития метеорной связи // Научном. технологии в косм. исслед. Земли. 2019. Т. 11, № 4. С. 30–47.

УДК 378.147

**В. А. Лебедева**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

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

## БИОМЕХАНИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ СТРУКТУР ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ ДИСПЛАЗИИ ПРИ КОРРЕКЦИИ В ДЕТСКОМ ВОЗРАСТЕ

### Введение

Рассмотрено напряженно-деформированное состояние структур тазобедренных суставов у подростков со степенью дисплазии от 1 и 2 по Crowe и различным типом конгруэнтности суставных поверхностей. Получено распределение напряжений в вертлужной впадине, выделены зоны недогруженности и перегруженности, в которых изменяются механические свойства костной ткани.

Дисплазия тазобедренных суставов представляет собой комплекс различных структурных тканей, возникающих в период формирования тазобедренного сустава, и остается одним из самых распространенных заболеваний костно-мышечной системы у детей [1]. Частота ее встречаемости варьирует в разных странах и за последние годы увеличилась до 27,5–28,7 случаев на 1 000 новорожденных [2].

### Постановка проблемы

Несмотря на распространенность патологии, отсутствие стандартов консервативного лечения детей в возрасте до года приводит к появлению остаточных дефектов развития сустава и его нестабильности у подростков, для которых единственным возможным методом лечения остается травматичное хирургическое вмешательство, а его наиболее часто используемый вид – тройная остеотомия таза. Однако большое количество различных методик выполнения данной операции неизбежно влечет негативные последствия со стороны анатомии тазового кольца и биомеханики тазобедренного сустава.

Для выбора оптимальной величины коррекции положения вертлужной впадины в ходе ее реориентации при проведении операции с целью исключения возникновения гипер- и гипокоррекции необходимо обладать сведениями о зависимости величин напряжений в тазобедренном суставе от величины конгруэнтности вертлужной впадины и головки бедренной кости.

Следовательно, цель исследования – оценка напряженно-деформированного состояния тазобедренных суставов при различных типах вертлужной впадины (укороченной и скошенной) для прогнозирования изменения биомеханических характеристик ткани при выполнении коррекции хирургическим методом.

### Материалы и методы исследования

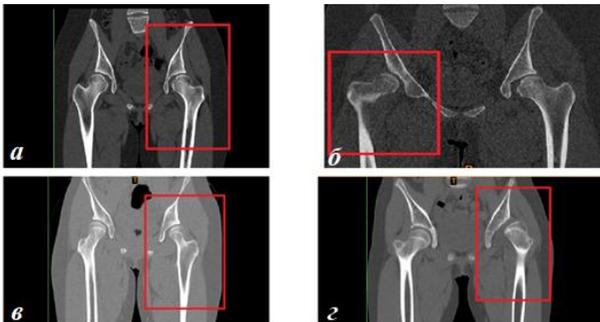


Рис. 1. Типы тазобедренных суставов, исследуемых в работе: а – вертлужная впадина (вв) укорочена, дисплазия 1-й степени; б – вв скошена, дисплазия 1-й степени, в – вв скошена, дисплазия 1-й степени; г – вв скошена, дисплазия 2-й степени

В качестве исходных были использованы данные компьютерной томографии с диспластическими изменениями тазового и бедренного компонентов. Исходные тазобедренные суставы были разделены на две группы: со «скошенной» и «укороченной» вертлужной впадиной в зависимости от ее конфигурации и величины конгруэнтности между суставными поверхностями. Также при проведении исследования учитывалась степень дисплазии тазобедренного сустава по классификации Crowe (см. рис. 1).

С помощью компьютерной программы Mimics были получены трехмерные модели тазового и бедренного компонентов, а затем посредством пакета прикладных программ SolidWorks были построены компьютерные модели тазобедренных суставов, включающие тазовую кость, бедренную кость, хрящ головки бедренной кости, а также схематизированные суставные связки. Материалы принимаются однородными и изотропными.

### Результаты исследования

Исследование было проведено для пиковых значений нагрузки, возникающих при ходьбе, для ребенка средней массы 50 кг, составляющих 500 Н [3].

Были получены эпюры напряжений для различных типов тазобедренных суставов, в частности рассмотрено распределение напряжений в вертлужной впадине (рис. 2).

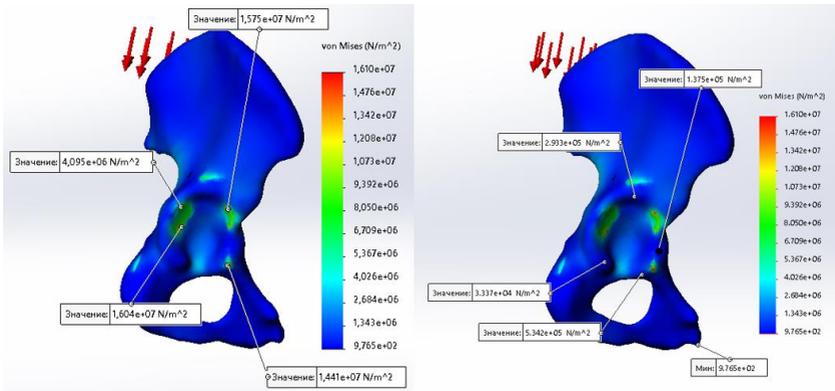


Рис. 2. Распределение напряжений в вертлужной впадине для тазобедренного сустава с укороченной крышей вертлужной впадины, 1-я степень дисплазии по Crowe

В результате дисплазии крыши вертлужной впадины, для случая как со скошенной впадиной, так и с укороченной, головка бедренной кости оказывает избыточное давление на область контакта, в результате чего формируется зона склерозированной костной ткани, свойства которой близки к свойствам компактной костной ткани [4].

Все это приводит к повышению компактного давления. По результатам исследования, в ходе проксимальной миграции головки бедра и прогрессирования дисплазии величина контактных напряжений в верхней части вертлужной впадины увеличивается от 1,19 (вертлужная впадина скошена, 1-я степень по Crowe) до 11,59 МПа (вертлужная впадина скошена, 2-я степень по Crowe).

В области дна вертлужной впадины наблюдается обратный процесс: образуются локальные участки недогруженности костной ткани. Полость сустава заполняется рубцовой тканью, и образуется оссификат, механические свойства которого меньше, чем у нормальной спонгиозной ткани.

Распределение напряжений в вертлужной впадине приведено в табл. 1.

**Распределение напряжений в вертлужной впадине в зависимости от типа впадины**

Напряжение	Тип вертлужной впадины							
	Укорочена, 1-я степень		Скошена, 1-я степень		Скошена, 1-я степень		Скошена, 2-я степень	
	max/min	средн.	max/min	средн.	max/min	средн.	max/min	средн.
Максимальные в зоне контакта вертлужной впадины, МПа	5,48	1,97	15,77	7,69	2,79	1,19	27,07	11,59
Минимальные напряжения в зоне контакта вертлужной впадины, МПа	0,016	0,018	0,033	0,049	0,012	0,036	0,03	0,87

**Выводы**

В результате исследования получены данные о распределении напряжений в вертлужной впадине у подростков с различной степенью дисплазии тазобедренных суставов.

**Библиографический список**

1. Перспективы молекулярной диагностики дисплазии тазобедренных суставов у детей / А. В. Сертакова, О. Л. Морозова, С. А. Рубашкин [и др.] // Вестн. РАМН. 2017. № 3. С. 195–202.
2. Джамалбекова Э. Д. Ранняя диагностика и лечение дисплазии тазобедренного сустава у детей в грудном возрасте // Бюл. науки и практики. 2019. Т. 5, № 9. С. 59–67.
3. Loading of Orthopaedic Implants // OrthoLoad. URL: <https://orthoload.com> (дата обращения: 08.03.2021).
4. Олейник Е. А. Биомеханические аспекты нагружения тазобедренного сустава при диспластическом коксартрозе // Ортопедия, травматология и протезирование. 2014. № 4. С. 115–121.

УДК 621.391.833.24

**В. А. Ложкина**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**С. И. Малинин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

**АНАЛИЗ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ АЛГОРИТМА ПРИЕМА СИГНАЛОВ  
В УСЛОВИЯХ МЕЖСИМВОЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ**

Получены выражения для расчета вероятности ошибок при поэлементном приеме с использованием обратной связи. Построены графики зависимости вероятности ошибок от отношения сигнал/шум для среднего значения вероятности ошибок и для наилучшего случая. Проведено сравнение полученных результатов с результатами расчета средней вероятности ошибок для алгоритма, синтезированного на базе СКО-критерия.

Ю. К. Выболдин и С. И. Малинин [1] синтезировали подоптимальный алгоритм приема зависимых сигналов с использованием обратной связи. В данной статье сохранены все обозначения, используемые указанными авторами.

Найдем среднюю вероятность ошибок при поэлементном приеме по правилу (5) [1] при условии, что все информационные параметры предшествующих элементов сигнала приняты верно. Если количество «мешающих» сигналов слева и справа от интервала, на котором принимается решение, вносящих наибольшие искажения и подлежащих компенсации, равно  $n$ , то при достаточно большом  $n$  находим аргумент функции вероятности ошибок:

$$\frac{\bar{\eta}}{\sigma} = \sqrt{2mh} \sqrt{\frac{1}{T} (x_0 - \bar{X}_0^T X^{-1} \bar{X}_0)}, \tag{1}$$

где  $x_0 = \int_{-nT}^{nT} Z_0^2(t) dt$ ;  $h^2 = \frac{P_c T}{\nu^2}$  – отношение энергии несущей на длительности элементарной посылки

к спектральной плотности средней мощности шума.

Если  $n$  мало, то аргумент вероятности ошибок можно представить следующим выражением:

$$\frac{\bar{\eta}}{\sigma} = \sqrt{2mh} \left( \frac{\sqrt{\frac{1}{T} (x_0 - \bar{X}_0^T X^{-1} \bar{X}_0)}}{\sqrt{\frac{1}{T} (x_0 - \bar{X}_0^T X^{-1} \bar{X}_0)}} - \frac{\frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{-(n+1)} \theta_k (x_{0k} - \bar{X}_0^T X^{-1} \bar{X}_k)}{\sqrt{\frac{1}{T} (x_0 - \bar{X}_0^T X^{-1} \bar{X}_0)}} \right), \tag{2}$$

где  $\bar{X}_k$  – вектор-столбец размера  $n$ , элементов  $x_{kp}$ , при  $k = -\infty, \dots, -(n+1); p = -n, \dots, -1$ .

Для широко применяемых на практике сигналов, имеющих форму «приподнятого» косинуса,

$$Z_r(t) = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^L \theta_{rk} (1 + \sin \frac{\pi(t+kT)}{T}),$$

$$x_0 = \int_{-nT}^{nT} Z_0^2(t) dt - \frac{1}{4} \int_{-T/2}^{3T/2} (1 + \sin \frac{\pi t}{T})^2 dt = \frac{3T}{4},$$

$$x_1 = \int_{-nT}^{nT} Z_0(t) Z_1(t) dt = \frac{1}{4} \int_{-T/2}^{3T/2} (1 + \sin \frac{\pi t}{T}) (1 + \sin \frac{\pi(t-T)}{T}) dt = \frac{T}{8}, \quad \rho = \frac{x_1}{x_0} = \frac{1}{6} \approx 0,167,$$

корреляционная функция элементарной посылки имеет вид:

$$B_Z((k-p)T) = x_{kp} = \begin{cases} x_0 & |k-p|=0 \\ x_0\rho & |k-p|=1 \\ 0, & |k-p|>1. \end{cases} \quad (3)$$

Аргумент функции вероятности ошибок в этом случае определяется следующим выражением:

$$\frac{\eta}{\sigma} = \sqrt{2}mh\sqrt{\frac{1}{T}x_0} \frac{1-\rho^2 - \theta_{-2}\rho^2}{\sqrt{1-\rho^2}}, \quad (4)$$

где  $\theta_{-2}$  – параметр «мешающего» элемента сигнала, который принимает равновероятные значения  $\pm 1$ ,  $\rho = \frac{x_{kp}}{x_0}$ .

Для получения среднего значения вероятности ошибок нужно вычислить вероятность ошибок для каждого из этих значений и результаты усреднить. Результаты зависимости среднего значения вероятности ошибок  $\bar{P}_{\text{ОШМП}}$  от отношения сигнал/шум  $h_1$ , представлены кривой 3 на рис.1. Для сравнения на том же рисунке приведена кривая 1, рассчитанная без учета подавления МСИ. Из сравнения кривых 1 и 3 следует, что прием с учетом подавления МСИ даже при  $n = 1$  позволяет получить энергетический выигрыш порядка 3 дБ (при  $P_{\text{ош}} = 10^{-4}$ ), по сравнению с соответствующим приемом без подавления МСИ.

Интересно сравнить полученные результаты с результатами расчета средней вероятности ошибок для алгоритма, синтезированного на базе СКО-критерия [2]. В этом случае аргумент функции вероятности ошибок для рассматриваемого примера определяется следующим выражением:

$$\frac{\eta}{\sigma} = \sqrt{2}mh\sqrt{\frac{1}{T}x_0} \frac{1-\rho\alpha_1 + \theta_{r-1}(\rho-\alpha_1) - \theta_{-2}\rho\alpha_1}{\sqrt{1-2\rho\alpha_1 + \alpha_1^2}}, \quad (5)$$

где

$$\alpha_1 = \frac{\rho}{\frac{1-\rho^2}{1-2\rho^2} \left(1 + \frac{1}{2h^2}\right)}.$$

Для получения среднего значения вероятности ошибок по (5) необходимо вычислить вероятности ошибок отдельно для каждой из четырех комбинаций информационных символов элементов сигнала, следующих за основным элементом, и результаты усреднить.

На рис. 1 кривая 4 представляет собой зависимость среднего значения вероятности ошибок  $\bar{P}_{\text{ОШСКО}}$  от отношения сигнал/шум  $h_1$ . Из сравнения кривых 3 и 4 следует, что средние вероятности ошибок для обоих алгоритмов практически совпадают. Однако расчет весовых коэффициентов при использовании критерия ОМП, как показано в [1], требует существенно меньших вычислительных затрат, чем в случае критерия СКО.

Приведенные результаты получены в предположении, что все информационные параметры предшествующих элементов сигнала приняты верно. Однако для системы с обратной связью по решению характерно «размножение ошибок» при неправильно принятых решениях, что может привести к срыву работы решающего устройства.

В реальных условиях обычно точно неизвестны информационные параметры элементов сигнала, предшествующих основному элементу. Поэтому в правиле приема (5) [1] вместо вектора известных параметров можно использовать вектор оценок  $\hat{\hat{\theta}}$ , полученных в моменты принятия решения об их значениях.

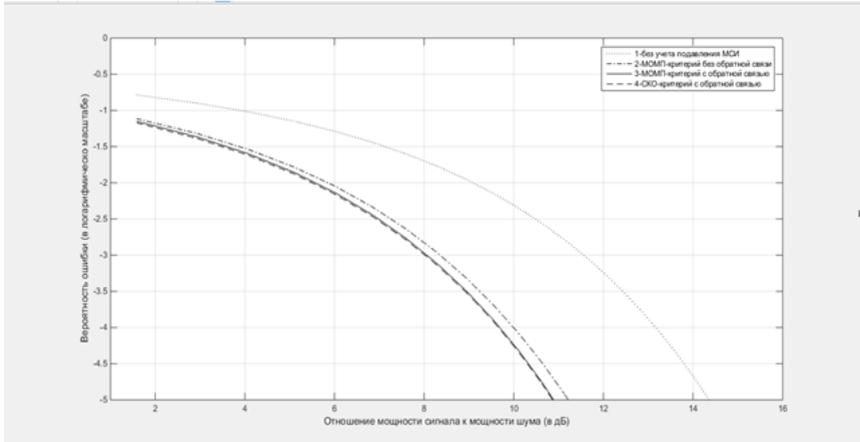


Рис. 1. Зависимости среднего значения вероятности ошибок  $\bar{P}_{ОШ}$  от отношения сигнал/шум

Пусть в данный момент необходимо определить информационный параметр некоторого  $k$ -го элемента сигнала. При этом правило принятия решения (5) [1] переписывается в виде

$$\eta = \tilde{X}'_k - \tilde{X}'_0 X^{-1} \tilde{X}'_k - \frac{\mu U m}{2} \left( \tilde{X}'_0 - \tilde{X}'_0 X^{-1} \tilde{X}'_k \right) \tilde{\theta}'_k \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} 0, \quad (6)$$

где

$$x'_k = \int_{(k-n)T}^{(k+n)T} \left( Z'(t) \cos \omega t - \frac{\mu U}{2} \right) Z_k(t) dt; \quad (7)$$

$\tilde{X}'_k$  – вектор-столбец размера  $n$  величины  $X'_{k+p}$  при  $p = 1, \dots, n$ ;  $\tilde{\theta}'_k$  – вектор-столбец размера  $n$  оценок информационных параметров  $\left\{ \hat{\theta}_{k-p} \right\}$ ,  $p = 1, \dots, n$ .

Определим оценку для информационного параметра  $\theta_{r,k-1}$  элемента сигнала  $Z_{k-1}(t)$ , предшествующего основному элементу  $Z_k(t)$ . Для этого рассмотрим сигнал в момент принятия решения об информационном параметре  $\theta_{r,k-1}$ , когда соответствующий ему элемент сигнала  $Z_{k-1}(t)$  является основным. Обозначим  $k-1=p$  и запишем логарифм функции правдоподобия (2) [1] относительно информационного параметра  $\theta_p$ , рассматриваемого элемента сигнала, и вектора-столбца  $\tilde{\theta}_p$  информационных параметров элементов сигнала, следующих за рассматриваемым элементом. Подставляя в него оценку вектора параметров элементов сигнала, следующих за рассматриваемым элементом (3) [1]

$$\tilde{\theta}_p = \frac{2}{\mu U m} X^{-1} \tilde{X}'_p - \theta_p X^{-1} \tilde{X}'_0 - X^{-1} \tilde{X}'_p,$$

где  $\tilde{\theta}_p$  – вектор-столбец неизвестных информационных параметров элементов сигнала, предшествующих рассматриваемому элементу, и решая уравнения правдоподобия

$$\frac{\partial}{\partial \theta_p} \ln L(Z' / \theta_p) = 0$$

относительно  $\theta_p$ , получаем

$$\theta_p = \hat{\theta}_p = \frac{2}{\mu U m} \frac{\left( x'_p - \bar{X}_0^T X^{-1} \bar{X}'_p \right) - \left( \bar{X}_0^T - \bar{X}_0^T X^{-1} \bar{X} \right) \hat{\theta}_p}{x_0 - \bar{X}_0^T X^{-1} \bar{X}_0} \quad (8)$$

Воспользовавшись обозначением (8) [1] и введя обозначения

$$x_0 - \bar{X}_0^T X^{-1} \bar{X}_0 = \alpha,$$

перепишем (8) в следующем виде:

$$\hat{\theta}_p = \frac{1}{\alpha} \left\{ \frac{2}{\mu U m} \left( x'_p - \bar{X}_0^T X^{-1} \bar{X}'_p \right) - b_1 \theta_{p-1} - \sum_{m=2}^n b_m \theta_{p-m} \right\} \quad (9)$$

Подставляя в выражение (9) вместо значения  $\theta_{p-1}$  его оценку по (9) при замене  $p$  на  $p-1$  и так далее, получим рекуррентное соотношение для оценки  $\hat{\theta}_p$ :

$$\hat{\theta}_p = \frac{1}{\alpha} \sum_{l=0}^{\infty} a_l \frac{2}{\mu U m} \left( x'_{p-l} - \bar{X}_0^T X^{-1} \bar{X}'_{p-l} \right), \quad (10)$$

где

$$a_l = \begin{cases} 0, & l < 0, \\ 1, & l = 0, \\ -\left( \frac{b_1}{\alpha} a_{l-1} + \frac{b_2}{\alpha} a_{l-2} + \dots + \frac{b_n}{\alpha} a_{l-n} \right), & l > 0. \end{cases} \quad (11)$$

Подставляя (10) в (6) как элементы вектора-столбца  $\bar{\hat{\theta}}_k$  при  $p = k-1, k-2, \dots, k-n$  находим

$$\eta = \sum_{l=0}^{\infty} a_l \left( x'_{k-l} - \bar{X}_0^T X^{-1} \bar{X}'_{k-l} \right) \begin{matrix} < \\ > \end{matrix} 0, \quad (12)$$

где коэффициенты  $a_l$  определяются по (11). Воспользовавшись обозначением (7) [1], можно переписать правило приема (12) в виде

$$\eta = \sum_{l=0}^{\infty} a_l \left( x'_{k-l} - \sum_{m=1}^n c_m x'_{k-l+m} \right) \begin{matrix} < \\ > \end{matrix} 0. \quad (13)$$

Из (13) с учетом (11) следует, что схема, реализующая данный алгоритм, представляет собой рекурсивный фильтр. Элементы сигнала, следующие за основным элементом в прямой цепи такого фильтра, вычитаются с соответствующими коэффициентами  $\{c_m\}$  из основного элемента сигнала. Далее полученный сигнал, проходит через цепь обратной связи и с соответствующими коэффициентами  $\frac{1}{\alpha} \bar{b}$  вычитается из выходного сигнала. Этот процесс повторяется циклически. Бесконечная сумма в (13) указывает на то, что правило приема (13) отображает установившийся режим.

Оптимальные приемники, основным элементом которых является рекурсивный фильтр, получены ранее на основе оптимальной линейной фильтрации Винера-Колмогорова и Калмана-Бьюси. Однако расчет весовых коэффициентов этих фильтров нуждается в априорных сведениях о статистических характеристиках шума и уровне принимаемого сигнала, а также требует еще более значительных вычислительных затрат, чем это было в схемах оптимального приема без обратной связи, синтезированных по СКО-критерию. Анализ помехоустойчивости таких алгоритмов связан с существенными трудностями.

Расчет весовых коэффициентов полученного алгоритма не требует априорных сведений о статистических характеристиках шума и уровне принимаемого сигнала и производится с существенно меньшими вычислительными затратами. Анализ помехоустойчивости приема по правилу (12) в общем случае затруднителен. Для наиболее простого случая, когда  $n = 1$ , в прямой и обратной цепях рекурсивного фильтра имеется всего по одному элементу линии задержки. Корреляционная функция элементарной посылки на входе приемного устройства  $B_Z((k - \rho)T)$  имеет вид (3) и правило принятия решения (13) упрощается:

$$\eta = \sum_{l=0}^{\infty} (x'_{k-l} - \rho x'_{k-l+1}) \left( \frac{-\rho}{1-\rho^2} \right)^l < 0. \quad (14)$$

Для вычисления  $\bar{\eta}$  нужно в выражение (14) подставить выражение (7) с учетом (1) [1] и усреднить. Отметим, что при малом  $n$  в выражении (1) [1] необходимо учитывать третью сумму, обусловленную элементами сигнала, не подлежащими компенсации. В результате для наихудшей ситуации получаем

$$\bar{\eta} = \frac{\mu U m x_0}{2 T} \left( 1 - 2\rho^2 - \frac{\rho^3}{1-\rho^2} \right). \quad (15)$$

Выражение для дисперсии принимает вид:

$$\sigma^2 = \overline{(\eta - \bar{\eta})^2} = \overline{\left[ \sum_{l=0}^{\infty} \left( \int_{-\infty}^{\infty} n(t) Z_{k-l}(t) dt - \rho \int_{-\infty}^{\infty} n(t) Z_{k-l+1}(t) dt \right) \left( \frac{-\rho}{1-\rho^2} \right)^l \right]^2} = \quad (16)$$

$$= \frac{v^2 x_0}{2 T} \frac{1 - 3\rho^2 - \rho^4 + \rho^6}{1 - 3\rho^2 + \rho^4}.$$

Используя выражения (15) и (16) для вычисления аргумента функции Крампа, имеем

$$\frac{\bar{\eta}}{\sigma} = \sqrt{2} m h \sqrt{\frac{x_0}{T}} \gamma(\rho), \quad (17)$$

где

$$\gamma(\rho) = \left( 1 - 2\rho^2 - \frac{\rho^3}{1-\rho^2} \right) \sqrt{\frac{1 - 3\rho^2 + \rho^4}{1 - 3\rho^2 - \rho^4 + \rho^6}}.$$

Для сигналов вида «приподнятый косинус»  $\rho \approx 0,167$ , при этом  $\gamma(\rho) = 0,939$  и вероятность ошибок определится выражением

$$P_{0ш} = \frac{1}{2} (1 - \Phi(1,150 m h)). \quad (18)$$

На рис. 1 приведена также зависимость  $P_{\text{ОШ}}(h_1)$  для алгоритма без обратной связи – кривая 2. Из сравнения кривых следует, что введение обратной связи незначительно повышает помехоустойчивость приема по сравнению со схемой без обратной связи (энергетический выигрыш менее 0,5 дБ при  $P_{\text{ОШ}} = 10^{-4}$ ). Незначительное повышение помехоустойчивости связано с тем, что выбранные сигналы слабо коррелированы ( $\rho = 0,167$  в выражении (3)).

#### Библиографический список

1. Выболдин Ю. К., Малинин С. И. Синтез алгоритмов приема сигналов в условиях межсимвольных искажений с использованием обратной связи // Компоненты и технологии. 2012. № 6. С. 158–160.
2. Финк Л. М. Теория передачи дискретных сообщений. М.: Сов. радио, 1970. 296 с.
3. Бельфиоре К. А., Парк Дж. Х. Компенсация посредством решающей обратной связи // ТИИЭР. 1979. Т. 67, № 8. С. 67–83.

УДК 621.317.34:621.372

**И. В. Мажник**

магистрант кафедры медицинской радиоэлектроники

**В. Ф. Михайлов** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БОРТОВОЙ АНТЕННЫ,  
ЗАКРЫТОЙ ТЕПЛОЗАЩИТНЫМ МАТЕРИАЛОМ И СЛОЕМ РАСПЛАВА**

При гиперзвуковых скоростях полета космических аппаратов происходит нагрев покрытия, вызванный его шероховатостью, трением и вязкостью воздуха. Для защиты космического аппарата от нагрева используют теплозащиту, которая, как правило, имеет электрические свойства материалов с диэлектрическими потерями. Нагрев приводит к изменению электрических свойств диэлектрика. Причем бортовая антенна вместе с радиопрозрачной теплозащитой образует единую конструкцию – антенное окно. В этих случаях для уменьшения их влияния на излучение используют нагревостойкие диэлектрические материалы с малым тангенсом угла диэлектрических потерь. Значительные изменения электрических свойств и толщины материала покрытия в процессе эксплуатации, такие как унос массы расплава теплозащиты, предопределяют изменения характеристик излучения бортовых антенн, а конкретнее коэффициент полезного действия и диаграмму направленности, при которых работа радиосистем часто становится невозможной.

Бортовые антенны летательных аппаратов являются слабонаправленными, что достигается излучением из открытого конца волновода. В теоретическом плане электродинамическая задача разработки математических моделей в общем виде может быть сформулирована следующим образом. Имеется излучающий раскрыв антенны (рис. 1), расположенный на бесконечном экране, перед которым находится диэлектрический слой толщиной  $d_1$  с комплексной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_{a1}$ , за ним слой толщиной  $d_2$  с комплексной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_{a2}$ . Бесконечный экран соответствует металлическому корпусу КА, первый слой эквивалентен твердому диэлектрическому слою теплозащиты, второй – расплавленному слою теплозащитного материала. Расчет совместного влияния теплозащитного диэлектрика и слоя расплава на характеристики антенн сводится к решению задачи излучения апертуры через двухслойную структуру с параметрами диэлектрика.

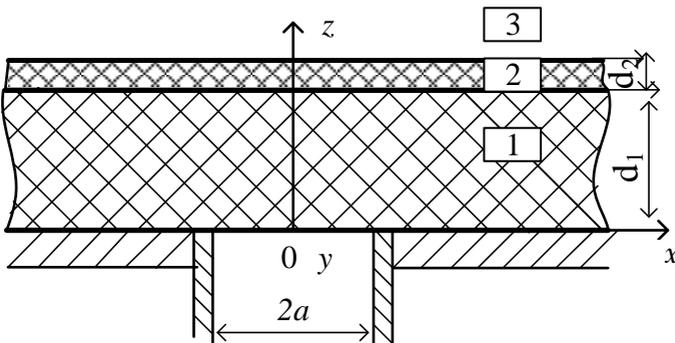


Рис. 1. Электродинамическая модель антенного окна:

$d_1$  – толщина однородного слоя теплозащиты;  $d_2$  – толщина однородного расплавленного слоя;  
 $a$  – радиус волновода;  $x, y, z$  – декартовы координаты; 1 – область, занимаемая диэлектрической защитой;  
 2 – область расплавленного слоя, 3 – свободное пространство

Представим составляющие электромагнитного поля в виде углового спектра плоских волн [1]:

$$\frac{d^2\hat{H}_x}{dz^2} + (k^2\varepsilon_a - k_x^2 - k_y^2)\hat{H}_x = 0, \quad \frac{d^2\hat{H}_y}{dz^2} + (k^2\varepsilon_a - k_x^2 - k_y^2)\hat{H}_y = 0.$$

где  $k$  – волновое число,  $k_x$ ,  $k_y$  – проекция волнового вектора на ось  $x$  и  $y$ ,  $\varepsilon_a$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды, которая имеет вид:

$$\varepsilon_a = \varepsilon_0(\varepsilon'_{1,2} - j\varepsilon''_{1,2}), \quad \text{tg}\delta = \frac{\varepsilon''_{1,2}}{\varepsilon'_{1,2}},$$

где  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная,  $\varepsilon'_1$  – относительная диэлектрическая проницаемость теплозащиты при  $0 \leq z \leq d_1$ ,  $\varepsilon'_2$  – относительная диэлектрическая проницаемость слоя расплава при  $d_1 \leq z \leq d_2$ , при  $z > (d_1 + d_2)$  относительная диэлектрическая проницаемость равна 1.

Далее, удовлетворяя условиям излучения для областей 1–3, находим неизвестные константы интегрирования, которые определяются из граничных условий при  $z = 0$ ,  $z = d_1$  и  $z = d_2$ . Будем рассматривать колебания типа  $H_{11}$  в круглом волноводе.

При условии излучения ( $z \rightarrow \infty$ ), переходя от спектрального представления  $\hat{H}$  к полю  $E$ , имеем [2]

$$\begin{aligned} E_x^{(3)} &= \frac{1}{4\pi^2} \iint_{\Pi} F_{x_1}^{(3)}(x, y, z, x', y', 0) E_x(x', y', 0) dx' dy' + \\ &+ \frac{1}{4\pi^2} \iint_{\Pi} F_{x_2}^{(3)}(x, y, z, x', y', 0) E_y(x', y', 0) dx' dy', \\ E_y^{(3)} &= \frac{1}{4\pi^2} \iint_{\Pi} F_{y_1}^{(3)}(x, y, z, x', y', 0) E_x(x', y', 0) dx' dy' + \\ &+ \frac{1}{4\pi^2} \iint_{\Pi} F_{y_2}^{(3)}(x, y, z, x', y', 0) E_y(x', y', 0) dx' dy'. \end{aligned}$$

Здесь  $\Pi$  – область интегрирования по раскрытию волновода,  $x', y'$  – координаты, отсчитываемые в раскрытии излучающего волновода.

Составляющие электрического поля в раскрытии при  $z = 0$  имеют следующий вид [3]:

$$\begin{aligned} E_x(x', y', 0) &= E_r(r', \varphi') = \frac{-jH_0 a^2 \omega \mu_0}{\eta_{11}^2 r'} J_1\left(\frac{\eta_{11} r'}{a}\right) \cos \varphi', \\ E_y(x', y', 0) &= E_\varphi(r', \varphi') = \frac{jH_0 a \omega \mu_0}{\eta_{11}} J_1'\left(\frac{\eta_{11} r'}{a}\right) \sin \varphi', \end{aligned}$$

где  $r', \varphi'$  – цилиндрическая система координат,  $H_0$  – амплитуда, определяемая мощностью источника поля,  $\mu_0$  – абсолютная магнитная проницаемость воздуха,  $J_1$  – функция Бесселя первого порядка,  $\eta_{11}$  – корень функции Бесселя.

Для расчета диаграммы излучения была разработана программа на языке программирования Python [4, 5]. Результаты расчета представлены в полярной системе координат.

Расчет по разработанной математической модели диаграммы направленности и КПД бортовых антенн базируется на известных температурных зависимостях теплозащиты. Температурные зависимости определяются видом теплозащиты антенны, а значение температуры – траекторией полета.

На рис. 2 изображены диаграммы направленности теплозащиты горячепрессованного ВН при  $\epsilon'_1 = 4,2$ ,  $\text{tg}\delta = 0,0001$ , с наличием слоя расплава 0,1 мм и без него. Из рис. 2 следует, что наличие слоя расплава влияет на форму диаграммы направленности.

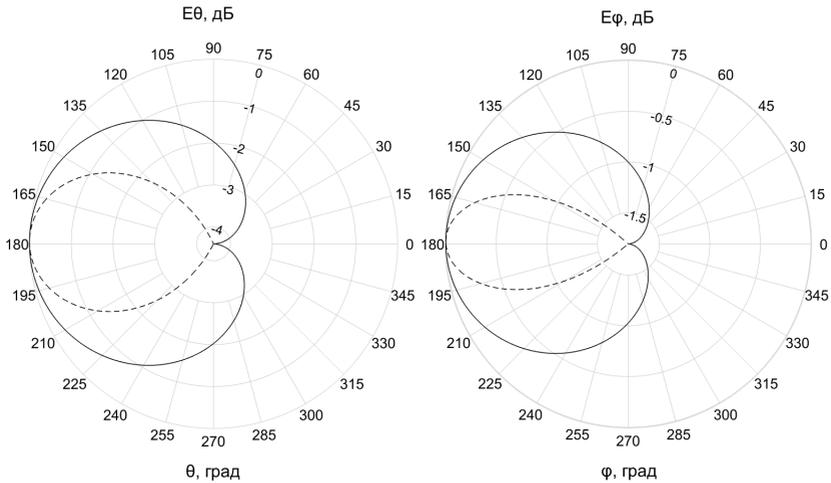


Рис. 2. Нормированная диаграмма излучения круглого волновода с однородной теплозащитой  $d_1 = 3$  см: без слоя расплава (—), с толщиной слоя расплава  $d_2 = 0,1$  мм (---)

Излучаемая мощность для дальней зоны может быть рассчитана по следующему выражению:

$$P_{\text{изл}} = \frac{1}{2Z_0} \int_0^{\pi/2} \int_0^{2\pi} (|E_\theta|^2 + |E_\phi|^2) r^2 \sin\theta d\theta d\phi,$$

где  $E_\theta = E_x \cos\theta \cos\phi + E_y \cos\theta \sin\phi - E_z \sin\theta$ ,  $E_\phi = E_y \cos\phi - E_x \sin\phi$ ,  $E_z = \frac{1}{j\omega\epsilon_0 Z_0} \frac{\partial E_x}{\partial x}$ ,

$r = \sqrt{z^2 + (x' - x)^2 + (y' - y)^2}$ ,  $Z_0$  – волновое сопротивление свободного пространства.

Для круглого волновода с волной  $H_{11}$  имеем [3]

$$P_{\text{пад}} = Z_0 H_0^2 \frac{k\pi a^4}{4} \sqrt{k^2 - (\eta_{11}/a)^2} (J_1(\eta_{11}) / \eta_{11})^2 (1 - 1/(\eta_{11})^2).$$

КПД исследуемой антенны определяется  $P_{\text{изл}}$  и  $P_{\text{пад}}$  и рассчитывается как

$$\eta = \frac{P_{\text{изл}}}{P_{\text{пад}}}.$$

КПД будем рассчитывать также для теплозащиты горячепрессованного ВН и пленки расплава с тангенсом угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta = 100$  (рис. 3). Если примем, что на уровне  $-30$  дБ связь теряется, то эти потери будут на высотах, которые заштрихованы. Из рис. 3 следует, что наличие пленки расплава существенно влияет на КПД бортовой антенны, и при толщине расплава 0,35 мм связь невозможна.

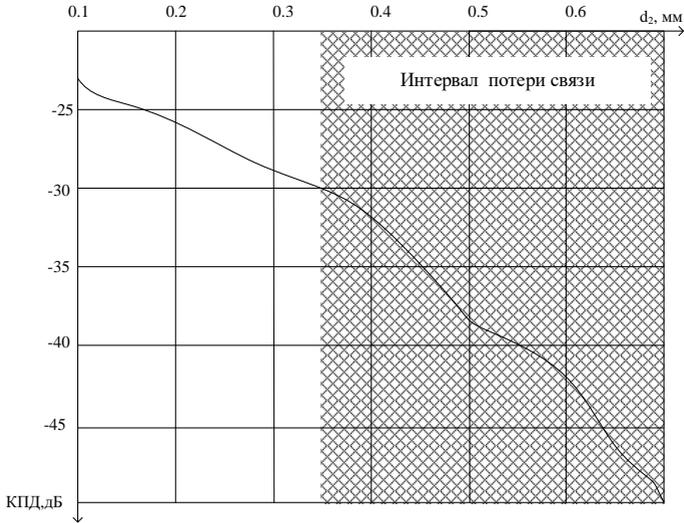


Рис. 3. Зависимость КПД от толщины расплава  $d_2$  для горячепрессованного ВП с однородной теплозащитой при  $d_1 = 3$  см

По результатам расчета радиотехнических характеристик антенного окна для условий аэродинамического нагрева можно разработать рекомендации по выбору теплозащиты, которая обеспечит наивысшую стабильность характеристик антенн в условиях эксплуатации и снизит чувствительность к воздействию высокотемпературного нагрева.

#### Библиографический список

1. Михайлов В. Ф. Характеристики излучения круглого волновода через плоскую однородную теплозащиту // Электромагнит. волны и электромагнит. системы. 2019. № 1. С. 12–19.
2. Мажник И. В., Михайлов В. Ф. Расчет характеристик излучения круглого волновода, закрытого теплозащитой // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: матер. XXIII Междунар. науч. конф.: в 2 ч. СПб., 2020. С. 118–124.
3. Collin E. R. Foundations for Microwave Engineering. 2<sup>nd</sup> ed. Wiley-IEEE Press. 2001. P. 194–197.
4. Свидетельство № RU 2021614062, РФ. Программа расчета диаграммы направленности круглого волновода, закрытого теплозащитой и слоем плазмы / Д. В. Васильева, И. В. Мажник, В. Ф. Михайлов (РФ). № 2021613308 // ФСПИС. 2021. 1 с.
5. Свидетельство № RU 2021612958, РФ. Программа расчета КПД круглого волновода, закрытого теплозащитой и слоем плазмы / Д. В. Васильева, И. В. Мажник, В. Ф. Михайлов (РФ). № 2021612222 // ФСПИС. 2021. 1 с.

УДК 612.1

**В. А. Макарова**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**Е. П. Виноградова** – старший преподаватель – научный руководитель

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СРЕДСТВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА И ИХ СТРУКТУРЫ

### Введение

В современном мире можно найти любую информацию, но не всегда она будет достоверной или полной. Сфера медицины не исключение. Например, объем знаний, нормативные значения по физиологическим показателям организма человека (далее ФПОЧ) постоянно растут, тем самым увеличивается объем ресурсов, на которых они представлены. Однако проблема заключается в их описании и структуре: один и тот же показатель в различных источниках может по-разному трактоваться, для его характеристики в отечественных и зарубежных источниках могут использоваться разные условные обозначения, что вносит неясности, присутствуют грубые ошибки в формульной записи, или таких записей нет. Возникает необходимость в анализе средств представления ФПОЧ для выявления более достоверных источников.

Цель работы – рассмотрение таких средств представления ФПОЧ, как сайты для обывателей, так называемые «базы знаний», сайты профессиональных сообществ, специализированные программные продукты.

### 1. Сайты для обывателей

Сайты для обывателей – это различного рода «базы знаний», которые размещены на коммерческих медицинских сайтах.

Для сравнительного анализа были выбраны: лабораторная служба «Хеликс», медицинская компания «Инвитро», база знаний MedSpecial – «Доказательная медицина для всех». Сравнение осуществлялось по таким основным критериям, как: удобство использования источника; полнота представления; присутствие литературных источников; присутствие референсных значений.

#### 1.1. Лабораторная служба «Хеликс»

Лабораторная служба «Хеликс» – медицинская лаборатория, содержащая базу знаний [3]. В ней представлены статьи на различные тематики по описанию лабораторных исследований, некоторые заболевания, которые ими можно диагностировать. На рис. 1 показана главная страница сайта.

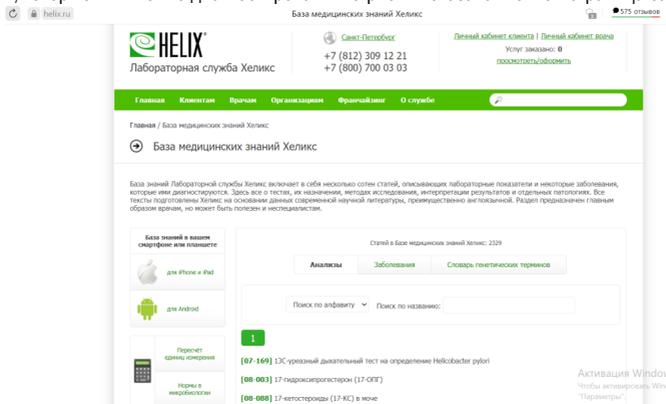


Рис. 1. База медицинских знаний Хеликс

Рассмотрим более подробно структуру базы знаний.

1. Источник удобен для использования как врачами, так и пациентами, поскольку понятен и содержит обширную информацию.

2. Присутствует версия для персонального компьютера, для телефона и планшета (версии для iPhone/iPad и Android).

3. Есть калькулятор пересчета единиц измерения (рис. 2), где указывается необходимый показатель. Он нужен для перевода данных в другую единицу измерения, что бывает полезно. Для осуществления данной процедуры предоставляется выбор значений: точное значение или диапазон.

**Калькулятор пересчёта единиц измерения** ✕

Выберите аналит ▼

**Точное значение** **Диапазон значений**

Единица измерения Хеликс:

↓

Альтернативная единица:

Рис. 2. Калькулятор пересчета единиц измерения

Помимо калькулятора, присутствует справочник норм в микробиологии (рис. 3). Данные можно ввести самому либо выбрать из имеющихся. Показатели представлены на английском языке. Выводимая информация – патогенность и количественная норма.

**Нормы в микробиологии** ✕

Вид микроорганизма:

**Ввести** **Выбрать**

Тип биоматериала:

Введите название вида микроорганизма ▼

Определить

Патогенность:

Количество в норме:

Рис. 3. Нормы в микробиологии

4. Описание ФПОЧ показано в полном объеме: присутствует общая информация о них, синонимы на английском и русском языках, методы их исследования. В базе знаний рассказано о проводимых тестах, их назначениях, методах исследования, интерпретированы результаты, указаны отдельные патологии. Информация о показателях предназначена для врачей, но может быть полезна неспециалистам для общего развития или понимания краткой сути своих результатов. Конечно, для пациентов полное разъяснение дает врач.

5. Отражена современная научная литература для каждого из показателей, предпочтение отдается англоязычным источникам, в которых отображены используемые данные, присутствуют и русскоязычные.

6. В описании ФПОЧ отображаются референсные значения, что немаловажно для интерпретации результатов.

### 1.2. Медицинская компания «Инвитро»

«Инвитро» – медицинская компания, которая специализируется на лабораторной диагностике и медицинской помощи [4]. Имеет более 1 500 медицинских офисов, которые находятся в 6 странах, таких как Россия, Беларусь, Казахстан, Украина, Армения, Кыргызстан. В клинике проводится более 2 500 лабораторных исследований. Главная страница показана на рис. 4.

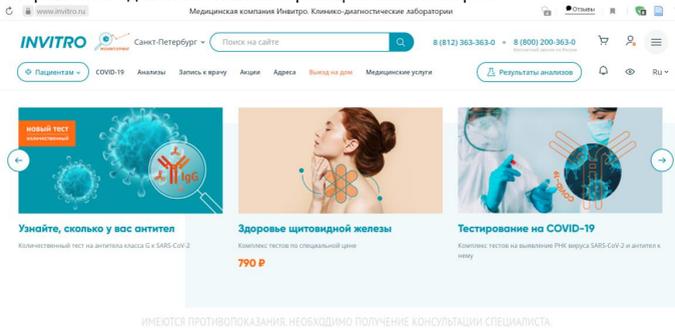


Рис. 4. Главная страница медицинской компании «Инвитро»

Рассмотрим более подробно структуру сайта.

1. Источник предназначен больше для неспециалистов в области медицины, но и для врачей будет полезна информация, поскольку отражены больше общие разъяснения.

2. Интуитивно сложно найти информацию о конкретных показателях, поскольку уклон делается на анализы и уже потом на трактовку конкретных данных. Однако в разделе «Анализы» есть разделение на подразделы: «Системы», «Органы» и «Болезни». При выборе одного из них можно найти нужный анализ.

3. Для корректной работы на сайте пользователю понадобится ПК (персональный компьютер) на базе операционных систем Windows, Mac OS или Linux либо телефон или планшет с использованием мобильных операционных систем, таких как iOS и Android. Немаловажно, что есть версия для слабовидящих.

4. Каждый показатель представлен в конкретном анализе, показаны синонимы. Раскрывается способ проведения исследования, его краткое описание. Перечислены цели, для которых используются данные. Есть информация о подготовке к проведению и показанию к назначению анализа, интерпретированы результаты, где отражены единицы измерения, диапазон количественного определения.

5. Присутствует литература, как зарубежная, так и российская. Есть отображение референсных значений, что хорошо для понимания результатов обычному пользователю, который не имеет медицинского образования.

Примечание: для некоторых показателей необходимо перейти по ссылке, чтоб посмотреть их, так как они находятся в общем файле с другими взаимосвязанными показателями.

### 1.3. Сайт «Доказательная медицина для всех»

«Доказательная медицина для всех» – это некоммерческий сайт, в котором отражены медицинские знания [2]. Его создали российские врачи, которые придерживаются принципов доказательной медицины. Отличительной особенностью является представление современной, а главное актуальной, информации, которая подкрепляется научными фактами. Целевая аудитория – в основном медики, но данные будут полезны специалистам, смежным с медицинской отраслью. На рис. 5 представлена главная страница сайта.

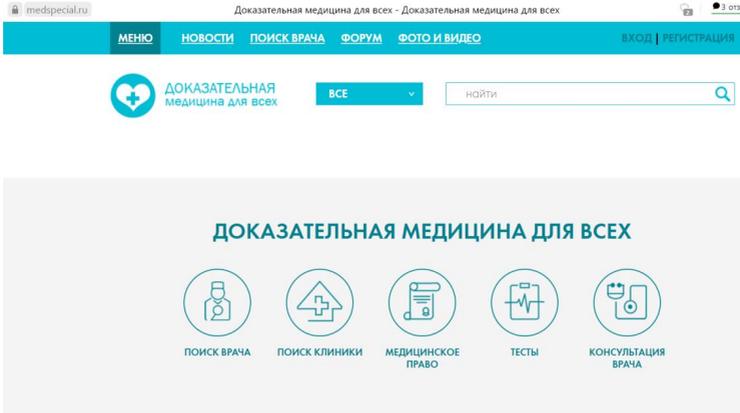


Рис. 5. Главная страница сайта «Доказательная медицина для всех»

1. Сайт содержит различную информацию: отдельно для врачей и пациентов. В разделе для пациентов представлены статьи о здоровье, способах обезопасить себя, пользе прививок и т. д.
2. Показатели даны только в виде определений, без значений, для некоторых приведены методы исследования.
3. Нет литературных источников.

## 2. Сайты профессиональных сообществ

Сайты профессиональных сообществ – специализированные сообщества, где медики могут принимать активное участие в обсуждении интересующих их вопросов в области медицины. Публикуются статьи, есть справочники по различным направлениям.

Согласно статье «Обзор самых популярных и посещаемых сайтов медицинской тематики в России и СНГ» сайта «Selection», были выбраны наиболее популярные среди медиков сообщества – «Med Портал», «Medside» [8].

### 2.1. «Med Портал»

«Med Портал» – это информационный медицинский портал о здоровье человека. Один из старейших ресурсов по медицинской тематике, на котором публикуется достоверная и верифицированная информация [5]. Основан в 1998 г. и по сей день активно развивается, добавляются новые функции.

Рассмотрим подробнее структуру.

1. Содержит такие разделы, как «Новости», «Энциклопедия», «Клиники Москвы».
2. «Энциклопедия» состоит из 36 разделов, среди них «Анализы и диагностика», «Гастроэнтерология», «Кардиология» и т. д. Всего данный ресурс содержит более 800 нозологий и 3 000 статей.

На рис. 6 представлена начальная страница раздела по эндокринологии: слева подразделы с материалами о различных заболеваниях эндокринной системы, присутствуют познавательные и полезные заметки, связанные с данной областью.

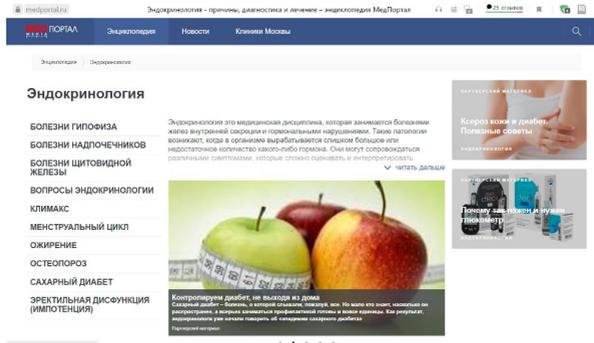


Рис. 6. Страница раздела эндокринологии

Сама информация отражена с уклоном на конкретные болезни. Статья содержит такие подпункты, как: определение болезни, причины, диагностика и лечение, источники, преимущественно зарубежные. Нет подробного описания.

## 2.2. Medside

Medside – это медицинский информационный портал, на котором представлена справочная информация о заболеваниях, симптомах и лекарственных препаратах [10]. Имеются разделы: «Болезни», «Симптомы», «Лекарства», «Новости медицины», «Медицинский справочник и словарь». Портал основан в 2011 г. и с тех пор постепенно пополняется. На рис. 7 представлена главная страница.

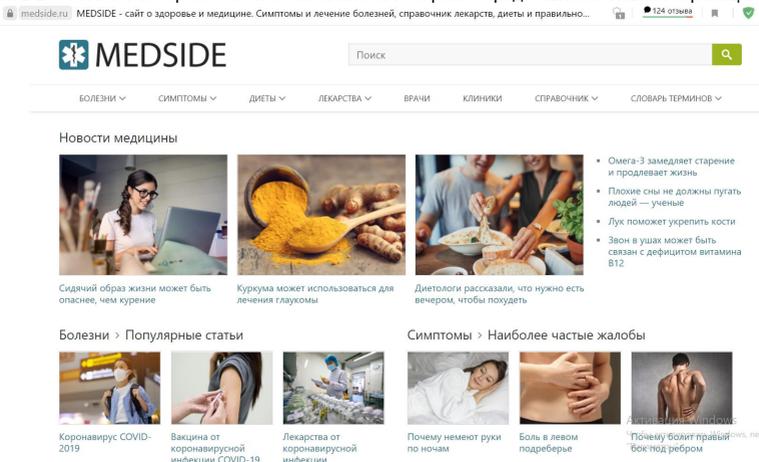


Рис. 7. Главная страница портала Medside

Рассмотрим подробнее структуру отображения данных на примере раздела «Болезни» и его подраздела «Воспалительные болезни ЦНС».

В подразделе представлен список заболеваний, указана дата публикации статьи. Описания состоит из подпунктов:

- общие сведения;
- патогенез;

- классификация;
- причины;
- анализы и диагностика.

### 3. Специализированные программные продукты

Под специализированными программными продуктами понимается программное средство [1], предназначенное для обмена данными между пользователями, в данном случае приложения и различные социальные сети. Сейчас в области медицины ведется активное развитие в направлениях общения, взаимодействия, передачи информации.

Основываясь на сборнике мобильных программ, в котором отражены лучшие мировые площадки для анализа редких и интересных клинических случаев из разных отраслей медицины, рассмотрим некоторые из них.

#### 3.1. Приложение «Медкампус»

Приложение «Медкампус» создано для студентов-медиков и медицинских работников [6]. Это площадка, где пользователи обмениваются современной информацией. Для студентов присутствует раздел, где они могут поделиться лекциями, задать вопросы профессионалам.

В приложении есть литература по различным сферам медицины в виде статей, которые постоянно дополняются. Однако есть ограничение по доступу: это закрытое сообщество доступно для пользователей, которые работают или учатся в медицинской сфере.

Отличительная особенность данного продукта – реализация в виде социальной сети, где есть лента новостей, можно добавлять друзей, публиковать собственные материалы и т. д.

Приложение работает на мобильных операционных системах iOS и Android. Часто выходят обновления. На рис. 8 можно ознакомиться с полезными ссылками приложения «Медкампус».

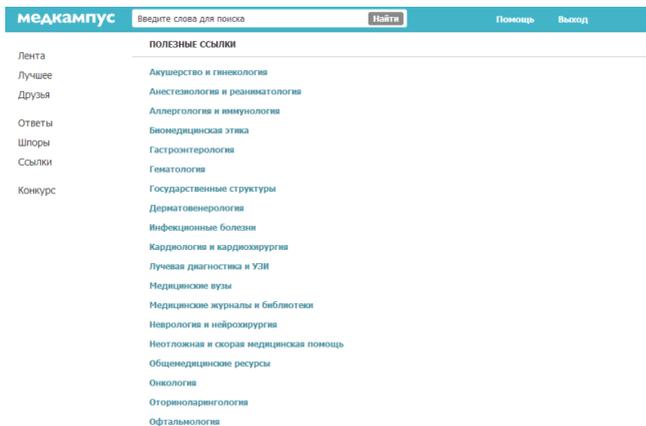


Рис. 8. Полезные ссылки приложения «Медкампус»

#### 3.2. Приложение «Справочник врача-МКБ-10»

«Справочник врача» – это медицинское мобильное приложение, которое можно загрузить в AppStore и Google Play [9]. Содержит медицинский калькулятор, медицинскую энциклопедию, справочники лекарств и болезней, новости медицины, информацию об операциях, анализах, а также о показателях организма человека. Главная особенность – приложение бесплатное и без рекламы, что в наше время очень актуально, поскольку реклама значительно увеличивает время на поиск нужной информации. На рис. 9 представлена главная страница приложения.



Рис. 9. Главная страница приложения «Справочник врача»

Приложение будет полезно не только для студентов медицинских вузов, но и для врачей-ординаторов и опытных докторов.

В приложении имеются следующие разделы.

- Новости медицины: клинические случаи, переводы публикаций передовых зарубежных изданий, познавательные статьи о медицине, а также актуальные медицинские новости каждый день.
- Медицинский калькулятор: содержит 85 калькуляторов, которые сгруппированы по системам, возможен поиск по названиям. Имеется возможность добавления в список избранного материала для более быстрого просмотра. Прилагается теоретическое описание.
- Международная классификация болезней (МКБ-10): удобный медицинский справочник, включающий правки в соответствии с письмом Минздрава России от 05.12.2014 № 13-2/1664.
- Медицинские анализы: анализы нормы и крови, полный справочник анализов, содержащий 442 лабораторных показателя.
- Справочник МЭС: медико-экономические стандарты, разработанные Министерством здравоохранения РФ, включающие протоколы диагностики и лечения, требования к выздоровлению и его сроки.
- Федеральная электронная медицинская библиотека (ФЭМБ): доступ к более чем 20 000 публикаций медицинской тематики (клинические рекомендации, книги, диссертации и многое другое).

### Заключение

Были рассмотрены различные источники, в которых в разном формате отражаются данные по ФПОЧ. Каждый из них по-своему уникален, но есть и сходства. Во многих источниках информация представлена в более общем виде, в некоторых – в виде статей без конкретики. Есть профессиональные форумы, где обсуждаются новые данные. Однако всего этого может быть недостаточно для полноты представления о конкретных показателях организма человека.

Таким образом, еще не созданы ресурсы, полностью удовлетворяющие таким критериям, как наличие разделов согласно системам организма, удобство в использовании, одинаковая полезность врачам и пациентам.

Для устранения указанной проблемы можно спроектировать базу данных, в которой бы хранилась подробная информация о ФПОЧ. Удобство ее использования заключается в простом интерфейсе, разделении на системы организма человека, чтоб пользователю не пришлось искать для каждой системы показатели в различных источниках, присутствии методик измерения, подробном описании процесса сбора материала для выявления нужных значений. База данных должна быть интуитивно понятна пользователю, при этом должна существовать возможность изменения или дополнения данных. Создание базы данных предполагается на языке SQL, интерфейс – на JavaScript с использованием кода CSS.

### Библиографический список

1. Гордеев, А. В., Молчанов А. Ю. Системное программное обеспечение. СПб.: Питер. 2001. 736 с.
2. Доказательная медицина для всех. URL: <https://medspecial.ru/> (дата обращения: 20.04.2021).
3. Лабораторная служба «Хеликс». URL: <https://helix.ru/> (дата обращения: 18.04.2021).
4. Медицинская компания «Инвитро». URL: <https://www.invitro.ru/> (дата обращения: 20.04.2021).
5. Медицинский портал, все о здоровье человека. URL: <https://medportal.ru/> (дата обращения: 20.04.2021).
6. Медкампус. URL: <https://www.medcampus.ru/> (дата обращения: 10.03.2021).
7. Медицинские сообщества. URL: <https://medical-club.net/medicinskie-soobshhestva/> (дата обращения: 10.05.2021).
8. Популярные медицинские сайты: обзор-каталог. URL: <https://infoselection.ru/infokatalog/zdorove-i-medsina/zdorove-i-medsina-obshchee/item/548-populyarnye-meditsinskie-sajty-obzor-katalog> (дата обращения: 20.04.2021).
9. Справочник врача – МКБ-10, МЭС, СМП: приложение в Google Play. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.medsolutions&hl=ru&gl=US> (дата обращения: 10.04.2021).
10. Medside. URL: <https://medside.ru/> (дата обращения: 20.04.2021).

УДК 621.396.42

**Г. А. Паёгузова**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**А. Н. Мингалеев** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**СПОСОБ АДАПТАЦИИ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ КАНАЛАХ СВЯЗИ**

Переход на цифровые системы связи способствует решению задачи по повышению качества передачи данных. Под повышением качества передачи данных понимается необходимость обеспечения гарантированных показателей задержки, верности и скорости передачи данных при минимизации затрат. Но реальные каналы имеют нестационарный характер, особенно в беспроводных системах передачи данных, таких как Wi-Fi, WiMAX, MBWA. Наилучших качественных показателей передачи данных в таких условиях позволяют достичь адаптивные системы передачи данных [1].

Адаптивная система передачи данных – это система, обладающая свойством приспосабливаться к изменениям внешних условий функционирования и свойствам входящих в нее устройств и обеспечивающая при этом заданные значения качественных показателей путем целенаправленного изменения параметров устройств и своей структуры. Под адаптивностью следует понимать такой уровень организации системы, который характеризуется наличием не только обратных связей, но и устройств наблюдения, измерения и анализа, идентификации и управления, позволяющих принимать решения на основании аналитических построений [2]. Процесс адаптации состоит из измерений характеристик входного сигнала, ввода этой информации в вычислительный алгоритм и использования полученных результатов для регулирования адаптивной системы. Регулирование системы заключается в автоматической коррекции ее параметров.

Применение адаптивных систем передачи данных решает задачу обеспечения высокого уровня достоверности принимаемой информации при условии достижения максимально возможной скорости.

Для обеспечения возможности построения адаптивных систем введем понятие критерия качества функционирования системы. В процессе работы системы передачи данных должна непрерывно производиться оценка данного критерия. По ее результатам система меняет свои параметры таким образом, чтобы выполнялись заданные требования по выбранному критерию качества.

Один из основных критериев качества при передаче цифровой информации – вероятность ошибки на бит (BER – Bit Error Rate). Данный показатель может использоваться как сам по себе, так и в составе более сложных критериев. Например, задан такой критерий качества, как вероятность ошибки на кодовый блок, он может быть рассчитан на основе показателя BER, а также сведений о структуре и характеристиках используемого помехоустойчивого кода.

Наиболее перспективным направлением представляется построение адаптивных систем, использующих относительную фазовую модуляцию (ОФМ). Для повышения скорости передачи данных в условиях хорошего канала связи желательно использовать ОФМ с числом позиций более двух, что позволяет передавать на длительности одной элементарной посылки более одного информационного бита.

Структурная схема адаптивной системы передачи данных представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема адаптивной системы передачи данных

Она состоит из источника сообщений 1, кодера 2, модулятора 3, канала связи 4, демодулятора 5, декодера 6, получателя сообщений 7, анализатора качества передачи 8, канала обратной связи 9, устройства управления 10, получателя сообщений 11.

Рассмотрим подробнее порядок функционирования разработанной адаптивной системы передачи данных и назначение отдельных ее элементов.

С выхода источника информации имеющаяся информация поступает на вход кодера, в котором осуществляется ее кодирование помехоустойчивым кодом. После кодирования информация попадает на вход модулятора, где по заданной схеме выполняется модуляция, по окончании которой формируется информационный сигнал. С выхода модулятора сигнал по каналу связи передается на вход демодулятора, где осуществляется прием кодовой комбинации, которая может содержать ошибки из-за наличия в канале связи искажений. Далее с выхода демодулятора кодовая комбинация направляется на вход декодера, в котором происходит декодирование комбинации, по результатам чего получают информационное слово и определяют число обнаруженных ошибок.

С первого выхода декодера информационное слово передается на вход получателя сообщений, а со второго выхода число, равное количеству обнаруженных декодером ошибок в полученном кодовом слове, передается на вход блока анализатора качества передачи, в котором осуществляется оценка принятых данных. В качестве оценки меры достоверности информационного обмена прием такой критерий, как вероятность ошибки на бит. Необходимость определения вероятности ошибки на бит обусловлена тем фактом, что передача информации осуществляется с разной скоростью. При этом необходимо учитывать, что чем медленнее скорость передачи, тем ниже кратность модуляции, следовательно, ошибок в полученном кодовом слове будет меньше и код справится со своей задачей.

Цель любой системы передачи данных – передавать данные с максимально возможной информационной скоростью, чтобы количество ошибок демодуляции не превышало исправляющую способность применяемого помехоустойчивого кода. Для этого необходимо определить максимальную допустимую кратность модуляции.

Из-за отсутствия информации о канале связи на начальном этапе передача данных осуществляется с самой низкой скоростью (с самой низкой кратностью модуляции ОФМ-2) с последующим постепенным переходом на более высокую кратность (ОФМ-4, ОФМ-8 и т. д.).

В целях получения информации о канале связи предварительно перед передачей данных осуществляют передачу вызывного сигнала с указанием рабочей частоты и параметров системы передачи и т. д. Затем на практике первый пакет информации передается на минимально возможной информационной скорости. При классическом подходе к построению адаптивных систем, если он принят без ошибок, то приемная сторона по каналу обратной связи сообщает об этом на передающую сторону. В этом случае передающая сторона при передаче следующего пакета увеличивает информационную скорость на минимально возможную в системе величину и ждет от приемной результата передачи, на основании которого она может еще раз увеличить информационную скорость. Такой порядок повышения информационной скорости действует, пока на очередном блоке помехоустойчивый код не справится с декодированием и на следующем пакете информационная скорость будет понижена.

Предположим, что оптимальная скорость (кратность модуляции) 8. Один пакет передали на 2-позиционной ОФМ, другой – на 4-позиционной, следующий на 8-позиционной, затем на 16-позиционной, и только потом вернулись на оптимальную в существующих условиях 8-позиционную ОФМ. Вместо того чтобы сразу передавать на 8-позиционной ОФМ, пришлось применить четыре цикла (этапа) передачи информации.

Как видно из примера, основным недостатком классического подхода к построению адаптивных систем оказывается пошаговый алгоритм функционирования адаптации. В этом случае процесс поиска оптимальных параметров системы будет длительным, во время него либо система будет работать с меньшей информационной скоростью передачи, чем потенциально достижимая, либо не будет обеспечен достаточный уровень исправляющей способности применяемого помехоустойчивого кода.

Следовательно, необходимо решить следующую задачу: пропустить все эти этапы и сразу передавать на оптимальной скорости передачи данных по результатам единственного тестирования.

Такой новый подход по одномоментному выбору оптимальных параметров системы передачи данных предложен в настоящей работе.

Решение поставленной задачи осуществляется с помощью анализатора качества передачи. Из блока анализатора качества передачи после проведения в нем анализа информация о том, с какой кратностью передавать следующий блок данных, посредством канала обратной связи передается в устройство управления, которое управляет кодированием и модуляцией.

В устройстве управления применяются адаптивные алгоритмы после получения данных от анализатора качества передачи и после осуществления в устройстве проверки по CRC, расположенном в декодере, контрольного вычисления, исходя из заранее выбранного критерия функционирования. В качестве него используется, как уже отмечалось, критерий, предусматривающий обеспечение максимально возможной информационной скорости при условии соблюдения заданной достоверности передаваемых данных.

Управление устройством обработки производится для того, чтобы поддержать оптимальное функционирование в соответствии с выбранным критерием. Достоинство адаптивных алгоритмов состоит в их работоспособности во многих приложениях, где либо не существует аналитических методов анализа, либо они неизвестны. Такая ситуация наблюдается и при передаче данных по нестационарным каналам связи. Тогда адаптация обеспечит выбор наилучших значений этих параметров.

Предложенный в данной работе способ является эффективным и позволяет решить задачу определения достоверности принимаемой информации и оценивания характеристик канала связи в режиме реального времени по рабочим сигналам, что в свою очередь способствует обеспечению возможности своевременного перехода в наиболее выгодный режим работы с точки зрения обеспечения максимальной скорости передачи полезной информации при сохранении заданной достоверности принимаемых данных.

#### **Библиографический список**

1. Коновалов П. А. Исследование методов оптимизации систем передачи данных по результатам оценки качества канала. URL: <https://www.dissercat.com/content/issledovanie-metodov-optimizatsii-sistem-peredachi-dannykh-po-rezultatam-otsenki-kachestva-k> (дата обращения: 16.03.2021).
2. Служивый М. Н. Адаптивные системы радиосвязи // Вестн. Ульянов. гос. техн. ун-та. 2000. № 3. С. 38–48.

УДК 617.76

**А. А. Сафронова, П. А. Пашкова**

студенты кафедры медицинской радиоэлектроники

**П. И. Бегун** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ОТДЕЛОВ ПОЗВОНОЧНОГО СТОЛБА ПОСЛЕ ОПЕРАЦИИ**

Рассмотрен алгоритм биомеханических исследований поясничного и грудного отделов позвоночника, позволяющий определить напряженно-деформированное состояние при различных нагрузках, возникающих в позвоночнике после операции, в программных пакетах SolidWorks и Mimics.

**Введение**

Хирургическое лечение детей с врожденной деформацией позвоночника до настоящего времени важная и нерешенная проблема ортопедии [1].

Наиболее частой причиной, приводящей к прогрессирующему характеру течения врожденных деформаций позвоночного столба, являются аномалии развития тел позвонков, такие как недоразвитый позвонок – «полупозвонок», приводящий к грубым искривлениям, и сращение позвонков и ребер. Последняя аномалия негативно сказывается не только на развитии опорно-двигательного аппарата, но и на дыхательной и сердечно-сосудистой системах. По данным скрининговых популяционных исследований, частота пороков развития позвонков грудной локализации составляет 0,1–0,5 на 1 000 новорожденных [2]. В Санкт-Петербурге частота встречаемости пороков развития позвоночника и костей грудной клетки у новорожденных в общей структуре аномалий костно-мышечной системы составляет 3,2 %. Среди всех деформаций позвоночного столба врожденные искривления позвоночника составляют от 2 до 11 % [3].

После хирургического вмешательства возможны такие осложнения, как деформация металлоконструкции, предназначенной для фиксации выравненной сколиотической и кифотической дуги, разрушение костной ткани в месте установления винтов. Для снижения вероятности послеоперационных осложнений необходим учет индивидуального анатомического строения позвоночника пациента и механических свойств костной ткани.

Цель работы: проведение биомеханических исследований напряженно-деформированного состояния структур грудного и поясничного отделов позвоночника в программах Mimics и SolidWorks при различных нагрузках, возникающих после реконструкции позвоночника у детей раннего возраста. Полученные данные позволят определить критические нагрузки на позвоночник с установленным эндофиксатором.

**Материалы и методы**

На рис. 1 изображены снимки КТ детей с искривленным поясничным отделом (1 – до операции, 2 – после операции): при недоразвитом «полупозвонке» – пациент *K*, 3 года, с искривленным грудным отделом (3 – до операции), со сросшимися позвонками – пациент *L*, 5 лет (4 – после операции), пациент *N*, 6 лет. У пациента *N* металлоконструкция разрушилась.

На рис. 2 представлен интерфейс программы Mimics с выделенными «масками» для создания оболочек позвонков в случае недоразвитого «полупозвонка».

Полученные «маски» в формате STL транспортируются в SolidWorks для создания твердых тел и соединения позвонков в единый участок. Связки и межпозвонковые диски воссоздаются на основе снимка КТ и в соответствии с анатомией человека (рис. 3).

Исследования проведены для первого клинического случая (недоразвитый полупозвонок). На основе данных, полученных от ФГБУ им. Г. И. Турнера, воссоздан эндофиксатор, установленный в ходе операции для фиксации выравненных позвонков (рис. 4).



Рис. 1. КТ позвоночного столба. Пациент с недоразвитым полупозвонком: 1 – до операции, 3 – после операции. Пациент со сросшимися позвонками: 2 – до операции, 4 – после операции

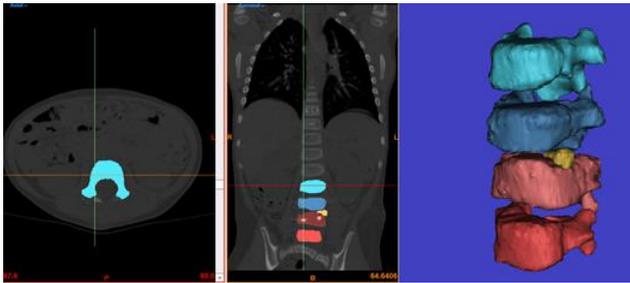


Рис. 2. Интерфейс программы Mitics с выделенными «масками»

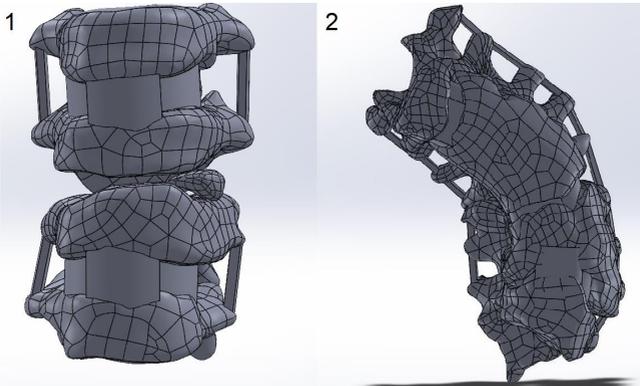


Рис. 3. Интерфейс программы SolidWorks со сборкой участка позвоночника: 1 – в случае недоразвитого полупозвонка, 2 – в случае сросшихся позвонков

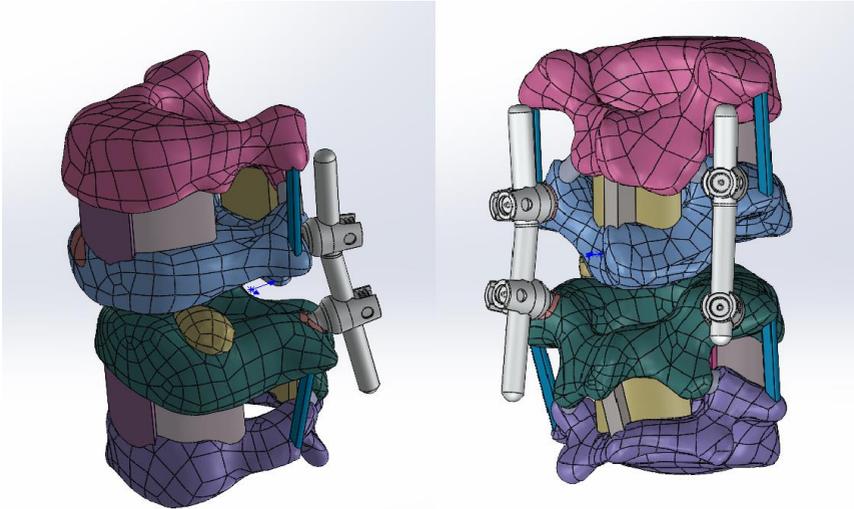


Рис. 4. Интерфейс программы SolidWorks со сборкой участка позвоночника L3–L6 и установленным эндофиксатором

При проведении исследований модель имеет жесткое закрепление в верхней концевой пластине L3 с приложением силы к нижней концевой пластине L6. Нагрузки заданы согласно [4]. В зависимости от движения пациента после операции (поворот головы, поднятие руки, ноги, поворот на бок и т. д.) необходимы различные исследования прилагаемых нагрузок по отдельности и в совокупности. В табл. 1 представлены механические свойства материалов.

Таблица 1

**Механические характеристики участка позвоночного столба, МПа**

Кортикальная кость	Губчатая кость	Базовая субстанция фиброзного кольца	Пульпозное ядро	Транспендикулярный эндофиксатор	Связки позвоночного столба	Фасеточные суставы
$E_x = 5\,406$ ; $E_y = 5\,406$ ; $E_z = 1\,052$ ; $\nu_{xy} = 0,484$ ; $\nu_{yz} = 0,203$ ; $\nu_{xz} = 0,203$	$E_x = 67$ ; $E_y = 67$ ; $E_z = 95$ ; $\nu_{xy} = 0,45$ ; $\nu_{yz} = 0,315$ ; $\nu_{xz} = 0,315$	$E = 2$ ; $\nu = 0,17$	$E = 0,47$ ; $\nu = 0,499$ ; $G = 0,21$	$E = 115 \cdot 10^3$ ; $\nu = 0,32$ ; $G = 392 \cdot 10^3$	$E_{ALL} = 20$ ; $E_{PLL} = 70$ ; $E_{LF} = 50$ ; $E_{ISL} = 28$ ; $E_{SSL} = 28$ ; $E_{TL} = 50$ ; $\nu = 0,3$	$E = 4,7$ ; $\nu = 0,4$

**Результаты и обсуждения**

На рис. 5 представлена компьютерная модель участка позвоночного столба с установленным эндофиксатором, сила 138 N (активное поднятие по лестнице).

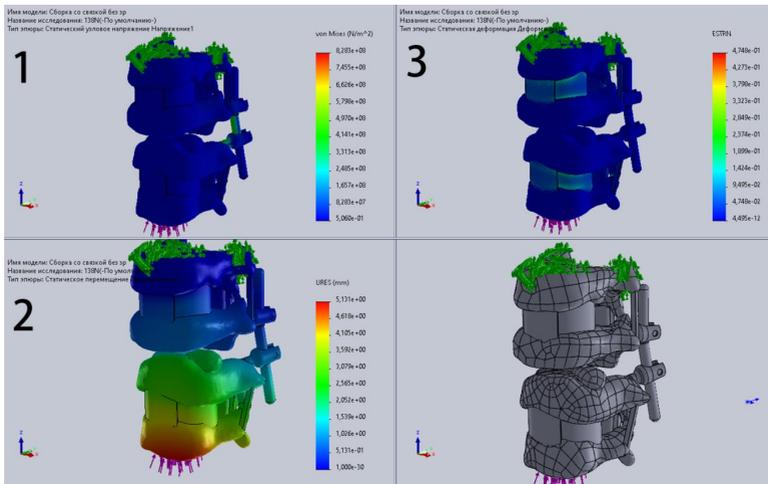


Рис. 5. Интерфейс SolidWorks: компьютерная модель участка позвоночного столба с установленным эндофиксатором, сила 138N, 1 – эпюры напряжений, 2 – эпюры перемещений, 3 – эпюры деформаций

Напряжение в эндофиксаторе составляет 828 МПа, предел текучести титана – 835 МПа, предел прочности – 1 050 МПа. Полученное значение превышает предельную текучесть титана, что влечет за собой деформацию металлоконструкции, данная нагрузка противопоказана в послеоперационный период.

### Заключение

Представлены исследования напряженно-деформированного состояния участка позвоночного столба при патологических изменениях. Полученный алгоритм можно использовать для проведения других исследований, например сросшегося участка позвонков, и подбора оптимального решения коррекции в зависимости от напряжений, которые приходятся на металлическую конструкцию. Данные исследования помогают определить критические нагрузки на эндофиксатор, исходя из индивидуальной геометрии отделов позвоночника, и снизить риск послеоперационных осложнений.

### Библиографический список

1. Виссарионов С. В., Хусаинов Н. О., Кокушин Д. Н. Анализ результатов хирургического лечения детей с множественными аномалиями развития позвонков и грудной клетки с использованием внепозвоночных металлоконструкций // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2017. Т. 5, № 2. С. 5–12.
2. Хирургическое лечение сколиоза в период незавершенного роста позвоночника / А. А. Кулешов, С. Т. Ветрилэ, К. Г. Жестков [и др.] // Вестн. травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. 2010. № 1. С. 9–16.
3. Хусаинов Н. О., Виссарионов С. В., Кокушин Д. Н. Хирургическое лечение детей с врожденными деформациями позвоночника на фоне множественных пороков развития: обзор литературы // Хирургия позвоночника. 2017. Т. 14, № 2. С. 14–20.
4. Публичная база данных Института биомеханики и регенерации опорно-двигательного аппарата им. Джулиуса Вольфа. URL: <https://orthoload.com/database/> (дата обращения: 20.03.2021).

УДК 004.421

**З. Д. Сергеева**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**Т. В. Сергеев** – кандидат биологических наук, доцент – научный руководитель**СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ И ГИРОСКОПОВ****Введение. Актуальность в медико-биологическом аспекте**

Неправильная осанка – проблема, которой сейчас уделяется достаточно много внимания, потому что все больше людей проводят жизнь в неестественной позе из-за сидячего образа жизни и постоянного использования смартфонов. По данным статистики ВОЗ (Всемирная организация здравоохранения), 80 % населения страдает от заболеваний позвоночника, и самое распространенное из них – шейный остеохондроз. К сожалению, заболевания позвоночника влияют не только на структуру костной ткани [1], но и на другие системы организма: на поздних стадиях остеохондроза возрастают риски спинальных инсультов, поражений головного мозга, патологий сосудов и сердца.

Для выявления заболевания на ранних стадиях можно наблюдать за снижением подвижности шейного отдела, выявлять нарушения осанки. Эти задачи могут быть решены при помощи создания носимой системы слежения за движениями структур шейного отдела, основанной на MEMS-датчиках движения [2].

**Введение. Актуальность выбранных технических решений**

При создании носимой системы датчиков перед разработчиком всегда встает проблема очищения сигнала от помех. Помеха может быть вызвана самой двигательной активностью, непроизвольным сокращением мышц и другими причинами [3]. Визуально можно выделить два типа помех на графике сигнала, снятого с датчика движения: импульсы, представляющие собой резкие единичные повышения амплитуды сигнала вследствие резких движений, и высокочастотную (по отношению к полезному сигналу) низкоамплитудную помеху, связанную с дрожанием мышц, недостаточной плавностью движения, и т. д.

Для дальнейшей работы с сигналом, расчетом перемещений тела и выделением типовых движений необходимо очистить поступивший с датчиков сигнал от обоих видов помех.

**Цель и задачи**

Для выбора алгоритма фильтрации сигнала с датчиков движения следует выполнить следующие задачи:

- 1) провести обзор литературы;
- 2) выбрать решения, обеспечивающие полосовую фильтрацию сигналов акселерометра;
- 3) сравнить фильтрационные алгоритмы и выявить их недостатки/достоинства;
- 4) выбрать лучшее решение для подавления одновременно гармонических и импульсных помех.

**Описание рассматриваемых решений**

*Экспоненциальный фильтр* представляет собой линейный БИХ-фильтр нижних частот, который используется во многих цифровых системах. Аналитически он может быть описан следующим уравнением [4]:

$$y_k = \theta x_k + (1 - \theta)y_{k-1},$$

где  $x_k$  – измеренное значение в момент времени  $k$ ,  $y_k$  – фильтрованное значение в момент времени  $k$ ,  $\theta$  – коэффициент фильтрации (от 0 до 1). Этот усредняющий фильтр применим только в случае либо не очень большого количества помех, либо малой их амплитуды. Поэтому его возможно использовать для сглаживания высокочастотных шумов в показаниях акселерометра. Среди преимуществ фильтра

можно выделить: простоту вычисления; отсутствие буфера; хорошее подавление импульсных помех. С другой стороны, этот фильтр имеет довольно большую задержку. В работе используется фильтр с  $\theta = 0,11$ .

*Фильтр скользящего среднего* – линейный КИХ-фильтр нижних частот. При программной реализации работает по принципу буфера, в котором хранятся несколько последних измерений для усреднения. За счет необходимости создания буфера появляется небольшая задержка выходного сигнала, однако простота вычисления позволяет использовать фильтр при фильтрации небыстро изменяющихся данных. Аналитически фильтр описывается так [4]:

$$y_k = \sum_{i=k-N+1}^N w_i x_i,$$

где  $N$  – число точек данных, обрабатываемых фильтром,  $w_i$  – вес каждого измерения  $x_i$ . Фильтр хорошо сглаживает составляющую случайного шума, однако сохраняет реакцию на скачок амплитуды, из-за чего хуже справляется с импульсным шумом. В работе используется фильтр выборки  $n = 15$ .

*Медианный фильтр* – нелинейный КИХ-фильтр, который широко используется для уменьшения уровня шума и обработки сигналов, подверженных импульсным помехам. Принцип работы такого фильтра порядка  $2n + 1$  ( $n$  – четное число) для  $k$ -го отсчета выходного сигнала можно описать следующим образом:

$$y_k = \text{med}(x_{k-n}, x_{k-n+1}, \dots, x_{k+n}),$$

где  $y_k = \text{med}(x_1, \dots, x_m, \dots, x_{2m+1}) = x_{n+1}$ , а  $x_m$  – элементы ряда, ранжированные в порядке возрастания [5]. Берется массив равный размеру окна, отсчеты в нем сортируются в порядке возрастания внутри окна, значение, находящееся посередине, поступает на выход. Основное преимущество заключается в простоте реализации и хорошем подавлении случайных шумовых выбросов. К недостаткам можно отнести менее эффективное подавление белого и флуктуационного шума. В данной работе используется фильтр с размером окна 5.

### Сравнение фильтров

Для сравнения работы фильтров приведем их (АЧХ) (рис. 1).

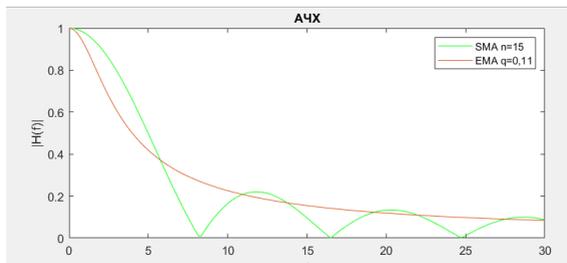


Рис. 1. АЧХ исследуемых линейных фильтров (зеленым – SMA, скользящее среднее, красным – EMA, экспоненциальный фильтр)

Частотную характеристику медианного фильтра нельзя представить какой-либо детерминированной функцией частоты в силу нелинейности фильтра.

В качестве обрабатываемого сигнала были взяты показания акселерометра и гироскопа при расположении датчиков на движущемся макете. Движение макета имитирует наклон головы вперед из вертикального положения до самой нижней точки. На рис. 2 приведена схема движения макета. Так как движение проходило вдоль оси  $Z$  датчика, то имеет смысл рассмотреть сигналы акселерометра с осей  $Y$  и  $Z$ , а также показания гироскопа по оси  $X$ .

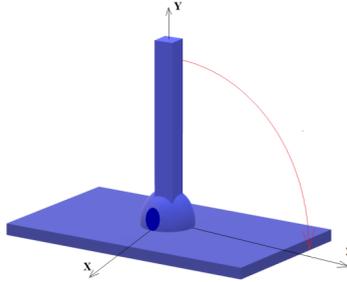


Рис. 2. Схема движения макета (обозначена красной линией)

На рис. 3 представлены результаты сглаживания полученного сигнала описанными фильтрами.

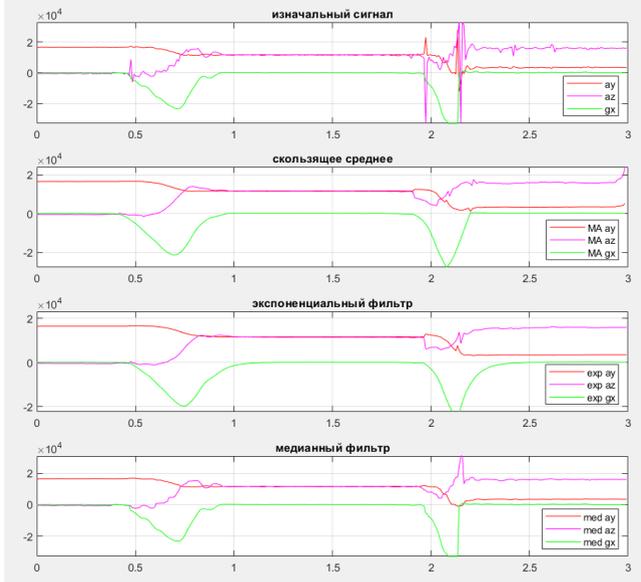


Рис. 3. Результаты сглаживания

**Скользящее среднее:** из графика видно, что высокочастотные колебания сглаживаются хорошо, однако скачки сигнала все еще заметны, несмотря на довольно большой порядок фильтра ( $n = 15$ ). Из-за особенностей фильтра последние отсчеты сигнала искажены (повышение уровня).

**Экспоненциальный:** фильтрация высокочастотного шума сравнима с уровнем результатов предыдущего фильтра, что объясняется уровнем подавления высоких частот (см. рис. 1). Импульсы устранены не полностью.

**Медианный:** показывает неплохие результаты в борьбе с импульсной помехой. Однако высокочастотная помеха сглажена хуже, что заметно на сигнале акселерометра (az). Также на оси az не сглажен пик в районе 2,1 с, что, скорее всего, связано с его сложной формой и большей протяженностью во времени, чем у импульсов на 0,4 и 1,9 с.

### Заключение

Было рассмотрено несколько фильтров, применяющихся для фильтрации потокового сигнала. Наилучшим образом в борьбе со обоими видами помех проявил себя экспоненциальный. Преимущество и одновременно недостаток рассмотренных фильтров в малом количестве настраиваемых характеристик, что позволяет обрабатывать с их помощью практически любые массивы, однако поодиночке они плохо справляются с фильтрацией помех, возникающих при движении. Для улучшения степени фильтрации следует создавать гибридные решения, представляющие собой последовательную обработку сигнала различными фильтрами.

### Библиографический список

1. Верховина Т. К. Изменения плотности костной ткани у больных с остеохондрозом шейного отдела позвоночника // *Acta Biomedica Scientifica*. Иркутск, 2019. Вып. 4, № 6. С. 26–31.
2. Евстюхин Н. С. Исследование алгоритмов фильтрации акселерометров на базе аппаратно-программных средств Arduino // *Молодой исследователь Дона*. 2019. № 4 (19). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-algoritmov-filtratsii-akselerometrov-na-baze-apparatno-programmnyh-sredstv-arduino> (дата обращения: 09.04.2021).
3. Arraigada M. Calculation of displacements of measured accelerations, analysis of two accelerometers and application in road engineering // 6<sup>th</sup> Swiss Transport Research Conf. Monte Verità / Ascona, March 15–17 2006.
4. Анисимов С. Ю. Цифровые фильтры в SCADA. URL: [http://www.pmg.org.ru/asutp/scada\\_filter.pdf](http://www.pmg.org.ru/asutp/scada_filter.pdf) (дата обращения: 09.04.2021).
5. Авшалумов А. Ш., Филаретов Г. Ф. Медианные фильтры как средство обработки стохастических сигналов в информационных системах // *Изв. ТулГУ. Серия «Вычислительная техника. Информационные технологии. Системы управления»*. 2005. Вып. 4. Информационные системы. С. 9–15.

УДК 621.391

**В. А. Середенко**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**В. В. Егоров** – доктор технических наук, старший научный сотрудник – научный руководитель**СИНТЕЗ АНСАМБЛЯ КВАЗИОРТОГОНАЛЬНЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ НАД РАЗЛИЧНЫМИ ПОЛЯМИ ГАЛУА**

В настоящее время актуальна задача «уплотнения» частотных диапазонов в связи с постоянно увеличивающимся количеством радиостанций. Как следствие, может возникнуть проблема наличия помех от сторонних станций, которая решается посредством использования псевдослучайных последовательностей (ПСП). Применение M-последовательностей (последовательностей максимальной длины) позволяет организовать устойчивую передачу цифровой информации в условиях неопределенной помеховой обстановки.

ПСП обладают хорошими автокорреляционными свойствами, поэтому нашли широкое применение для решения задач установления тактовой и цикловой синхронизации при приеме дискретных сообщений.

Для практических целей наиболее часто сегодня используются последовательности над полем Галуа по основанию 2 (GF(2)). Однако их применение для радиотехнической практики усложняется тем обстоятельством, что изменение фазы на  $\pi$  приводит к значительным искажениям из-за переходных процессов в линейных цепях радиопередающих устройств. Также число известных двоичных ПСП невелико, что снижает возможность их использования на практике. Поэтому перспективен подход, основанный на использовании последовательностей, основание которых отлично от двух.

M-последовательности – это периодические последовательности, которые обладают следующими свойствами:

- 1) период ПСП, определяемый как

$$L = p^n - 1, \quad (1)$$

где  $p$  – основание поля Галуа;  $n$  – степень порождающего полинома;

- 2) инвариантность циклическому сдвигу. M-последовательность, сдвинутая на любое количество элементов, в пределах  $[1; L - 1]$ , сохраняет все свои свойства;

- 3) постоянный уровень боковых лепестков периодической автокорреляционной функции (АКФ) любой M-последовательности, равный  $(-1/L)$ . Таким образом, с ростом  $L$  уровень боковых лепестков уменьшается [1].

Наиболее широко известный способ синтеза ПСП основывается на алгебре неприводимых полиномов в полях Галуа (GF(p), где  $p$  – простое число).

Пусть порождающий полином последовательности имеет вид

$$\sum_{i=0}^n a_i \cdot x^i = 0, \quad (2)$$

где  $a_i$  – коэффициент полинома [2].

Тогда алгоритм синтеза ПСП можно представить в виде следующего рекуррентного соотношения:

$$\gamma_k = -\sum_{i=1}^L a_i \cdot \gamma_{k-i}, \quad (3)$$

где  $\gamma_k$  – элемент ПСП.

Следует обратить внимание на то, что выражение (3) появляется, когда коэффициент свободного члена полинома (2) равен единице. В обратном случае, необходимо выполнить ряд действий:

1) перенести свободный член полинома в правую часть уравнения:

$$\sum_{i=1}^n a_i \cdot x^i = -a_0 \cdot x^0;$$

2) избавиться от отрицательного значения коэффициента свободного члена в правой части уравнения путем умножения обеих частей на -1 согласно арифметике поля Гауа:

$$\sum_{i=0}^{n-1} (-a_{n-i} \cdot x^{n-i}) \bmod p = a_0 \cdot x^0,$$

где  $n$  – степень полинома;

3) умножить обе части имеющегося уравнения на мультипликативное обратное свободного члена:

$$\sum_{i=0}^{n-1} (a_0^* \cdot a_{n-i} \cdot x^{n-i}) \bmod p = a_0^* \cdot a_0 \cdot x^0,$$

где  $a_0^*$  – мультипликативное обратное к коэффициенту свободного члена.

Для синтеза М-последовательностей используются примитивные полиномы, которые являются подмножеством неприводимых полиномов. Полином считается неприводимым, если он делится без остатка только на самого себя и на единицу в соответствующем поле [3].

Примитивным называется полином, являющийся делителем полинома  $x^L - 1$  и обладающий свойством неприводимости [3]. Однако поиск примитивных полиномов достаточно трудоемкая задача, требующая выполнения значительного количества арифметических операций. Для ее упрощения предлагаем осуществлять селекцию М-последовательностей среди уже сгенерированных ПСП, основываясь на их автокорреляционных функциях (АКФ) вида

$$R(m) = \sum_{k=0}^{L-1} z_k \cdot z_{(m+k)}^* \bmod L, \quad (4)$$

где  $z_k = \exp\left(i \frac{2\pi}{p} \gamma_k\right)$  – комплексная последовательность, порождаемая ПСП [4].

Пример результата поиска последовательностей максимальной длины подобным способом приведен в табл. 1.

Таблица 1

**М-последовательности длины 26 и порождающие их полиномы над GF(3)**

Порождающий полином	М-последовательность
2011	00111021121010022201221202
2211	00110102122210022020121112
2101	00101211201110020212210222
2121	00122212010110021112102022

Перед применением в системах передачи информации полученных последовательностей необходимо минимизировать вероятность ошибки на бит путем их ортогонализации. Как известно, ортогональные сигналы имеют нулевое значение скалярного произведения в начальной точке. Однако скалярное произведение может принимать максимальное значение, равное (1), что в свою очередь вносит неоднозначность в получаемые результаты. Эта неоднозначность обусловлена различными длинами последовательностей, так как каждой длине ПСП соответствует свое значение максимума скалярного произведения.

Таким образом, чтобы избежать описанной проблемы, в работе используется следующее выражение, позволяющее оценить коррелированность M-последовательностей:

$$\cos \phi = \frac{\sum_{i=1}^L x_i \cdot y_i^*}{\|X\| \cdot \|Y\|}, \quad (5)$$

где  $\|X\| = \sqrt{\sum_{i=1}^L x_i^2}$  и  $\|Y\| = \sqrt{\sum_{i=1}^L y_i^2}$  – нормы векторов последовательностей.

Выбор в пользу данного выражения был сделан, поскольку значение косинуса угла между любыми векторами всегда находится в пределах [-1; 1], чего нельзя сказать о скалярном произведении.

Учитывая тот факт, что M-последовательности не могут быть абсолютно ортогональными ( $\cos \phi \neq 0$ ), выражение (5) сводится к условию квазиортогональности [5]:

$$\cos \phi \rightarrow -\frac{1}{L}. \quad (6)$$

Результат применения (5) ко всем парам имеющихся M-последовательностей можно наглядно представить в виде матрицы, строки и столбцы которой являются номерами ПСП соответственно. Ниже приведен пример такой матрицы для последовательностей, приведенных в табл. 1.

1	0.307692	0.307692	-0.0384615
0.307692	1	-0.0384615	0.0769231
0.307692	-0.0384615	1	0.307692
-0.0384615	0.0769231	0.307692	1

В матрице наблюдаются две взаимоисключающие пары ПСП (1-я и 4-я или 2-я и 3-я), удовлетворяющие условию (6), причем одновременно в одной системе сигналов эти пары использоваться не могут, нужно отдать предпочтение лишь одной из них. Как следствие, полученный результат не является удовлетворительным.

Для расширения базиса предлагается осуществить циклические сдвиги некоторых ПСП. Результат выполнения таких операций для все тех же последовательностей длины 26 приведен в матрице:

1	-0.0384615	-0.0384615	-0.0384615
-0.0384615	1	-0.0384615	-0.0384615
-0.0384615	-0.0384615	1	-0.0384615
-0.0384615	-0.0384615	-0.0384615	1

Результаты анализа показывают, что применение предложенного метода позволяет удвоить объем системы сигналов для рассматриваемого примера. ПСП, входящие в состав квазиортогонального базиса, приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Троичные M-последовательности, образующие квазиортогональный базис (L = 26)**

Порождающий полином	M-последовательность
2011	22120200111021121010022201
2211	00110102122210022020121112
2101	20212210222001012112011100
2121	02022001222120101100211121

Для последующего увеличения объема ансамбля квазиортогональных последовательностей в него необходимо добавлять новые ПСП. Число  $M$ -последовательностей ограничено количеством примитивных полиномов, определяемым как

$$Q = \frac{\phi(L)}{n}, \quad (7)$$

где  $\phi(L)$  – функция Эйлера;  $n$  – степень примитивного полинома.

Поэтому предлагается добавление в базис уже имеющихся  $M$ -последовательностей, но с другими значениями циклических сдвигов. При добавлении нужно следить за сохранностью условия (6) между вносимой и уже входящими в состав базиса ПСП. Результат осуществления предложенного решения приведен в табл. 3.

Таблица 3

**Список внесенных  $M$ -последовательностей в квазиортогональный базис ( $L = 26$ )**

Порождающий полином	$M$ -последовательность
2211	02202012111200110102122210

В результате сравнения полученных таблиц ясно, что при расширении ансамбля квазиортогональных  $M$ -последовательностей в него была добавлена 2-я ПСП с одним удовлетворяющим значением сдвига. Добавление остальных ПСП со всеми возможными вариантами их циклических сдвигов и 2-й ПСП, имеющей другие значения сдвигов, приводит к нарушению условия квазиортогональности системы (6). Результат вычислений косинусов углов между ПСП, входящими в ансамбль, согласно (5), представлен в матрице:

1	-0.0384615	-0.0384615	-0.0384615	-0.0384615
-0.0384615	1	-0.0384615	-0.0384615	-0.0384615
-0.0384615	-0.0384615	1	-0.0384615	-0.0384615
-0.0384615	-0.0384615	-0.0384615	1	-0.0384615
-0.0384615	-0.0384615	-0.0384615	-0.0384615	1

Достигнутые результаты свидетельствуют о возможности построения ансамбля квазиортогональных нечетных ПСП. Таким образом, описанный в работе алгоритм действий, направленных на синтез квазиортогонального базиса, применим во всех полях Галуа, основание которых – произвольное простое число.

**Библиографический список**

1. Волков Л. Н., Немировский М. С., Шинаков Ю. С. Системы цифровой радиосвязи. Базовые методы и характеристики. М.: Эко-Трендз, 2005. 392 с.
2. Варакин Л. Е. Системы с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985. 384 с.
3. Лидл Р., Нидеррайтер Г. Конечные поля: в 2 т. Т. 1. М.: Мир, 1988. 430 с.
4. Варакин Л. Е. Теория сложных сигналов. М.: Сов. радио, 1970. 373 с.
5. Ипатов В. П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения. М.: Техносфера, 2007. 488 с.

УДК 616

**Е. А. Соколова**

бакалавр кафедры медицинской радиоэлектроники

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

### БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЧЕЛЮСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ УДАРА

Для проведения биомеханического анализа поведения костных тканей челюсти при различных нагрузках можно использовать компьютерное моделирование. Для этих целей подходят такие пакеты программ, как Materialise Mimics Medical, Materialise 3-matic Medical и SolidWorks. Подобный подход идеален в современном мире, поскольку благодаря стремительному развитию технологий компьютерные модели позволяют проводить любые исследования без вреда для человека.

#### Materialise Mimics Medical

Компьютерная модель объекта строится на основе компьютерных томограмм (КТ). Компьютерная томография базируется на рентгеновском излучении, которое способно проходить через непрозрачные среды [1]. Программа Mimics выводит изображение с этих снимков в трех проекциях, а благодаря ее широкому функционалу можно построить трехмерные модели тех частей организма, которые необходимы в исследовании, на основании их плотности по шкале Хаунсфилда.

Шкала начинается от  $-1\ 000$  HU (hounsfield unit – единица Хаунсфилда) для воздуха, жировая ткань находится в диапазоне от  $-120$  до  $-90$  HU, для воды значение составляет  $0$  HU, крови –  $50-60$ , костной ткани – от  $250$  и выше [2]. В табл. 1 представлены готовые значения единиц Хаунсфилда.

Таблица 1

Значения единиц Хаунсфилда

Тип костной ткани	Минимальное значение	Максимальное значение
Спонгиозная кость (взрослый)	148	661
Кортикальная кость (взрослый)	662	1 988
Все костные структуры	226	3 071

В программе Mimics, были построены три маски: для спонгиозной и кортикальной костей, для всех костных структур. Их изображения представлены на рис. 1.

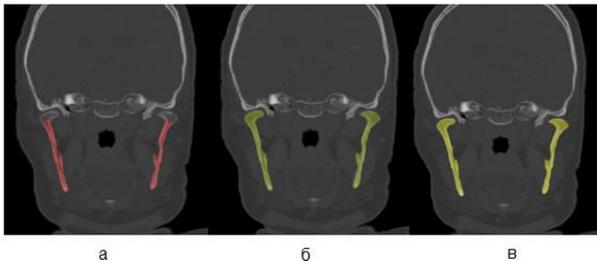


Рис. 1. Маски, построенные для кортикальной (б) и спонгиозной (а) костей, а также для всех костных структур (в)

### 3-matic Medical

Для дальнейшей работы в программе SolidWorks необходимо отредактировать полученные маски, для чего они были импортированы в программу 3-matic Medical. На рис. 2, а представлена сетка, построенная для спонгиозной кости, можно заметить, что она неоднородна и ее грани не упорядочены. Программа 3-matic Medical позволяет избавиться от всех неровностей и получить гладкое изображение сетки, а также сделать модель однородной внутри. В результате была получена сетка, представленная на рис. 2, б.

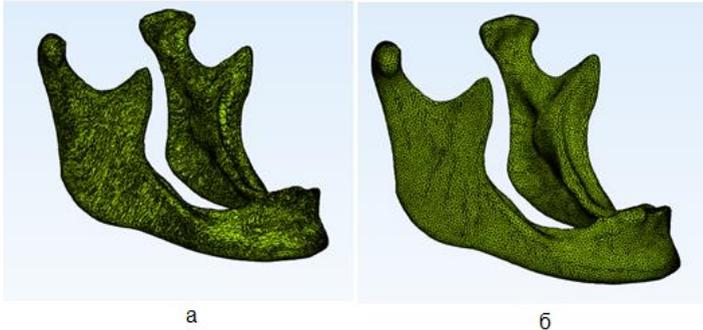


Рис. 2. Сетка нижней челюсти для спонгиозной кости до (а) и после (б) обработки

По окончании обработки полученный результат сохраняется в формате STL, для этого во вкладке File необходимо выбрать Export.

### Построение твердотельной модели в SolidWorks

Для дальнейшей работы по созданию твердотельной модели построенная сетка была открыта в программе SolidWorks [3]. После открытия файла требуется построить твердотельную модель, для чего следует вызвать «мастер обработки сетки», который должен подготовить сетку для дальнейшего построения твердого тела. В результате будут построены поверхности будущего твердого тела, некоторые из них могут быть самопересекающимися, что приводит к возникновению ошибок. Их необходимо исправить с помощью редактора линии элемента. Изображение будущего твердого тела (а) и полученный результат (б) представлены на рис. 3.



Рис. 3. Поверхность будущего твердого тела (а) и результат построения (б)

В результате будут построены три твердотельные модели, впоследствии спонгиозная и кортикальная объединяются для создания двухкомпонентной детали.

### Проведение исследования

Для исследования была использована однокомпонентная модель нижней челюсти без зубов, мышечные усилия не включались в анализ. Свойства материала кости приведены в табл. 2. Нагрузка 2000 Н, прикладывалась к площадкам с размерами 2×2, 4×4, 6×6, 8×8 и 10×10 мм. Челюсть была закреплена в области суставной головки, а давление подавалось на площадку.

Таблица 2

### Свойства материала нижней челюсти

Модуль упругости	10 842 Н/мм <sup>2</sup>
Коэффициент Пуассона	0,3
Массовая плотность	1 441 кг/м <sup>3</sup>
Предел текучести	160 Н/мм <sup>2</sup>

В результате исследования для площадки 2×2 была получена эпюра напряжений, представленная на рис. 4.

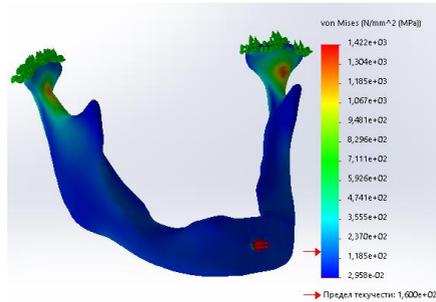


Рис. 4. Эпюра полученных напряжений

Как можно заметить из рисунка, наибольшее напряжение  $1,422e+03$  МПа возникает в области основания мышечков. Можно сделать вывод о локализации повреждения именно в этой области. В результате исследования для всех площадок были построены графики напряжения, перемещения и деформации, которые представлены на рис. 5–6.

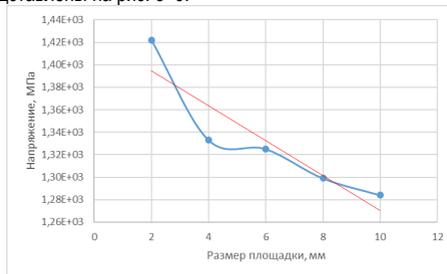


Рис. 5. График зависимости напряжения от размера площадки

Можно заметить, что с увеличением размера площадки напряжение падает. Аналогичным образом происходит падение перемещения и деформации.

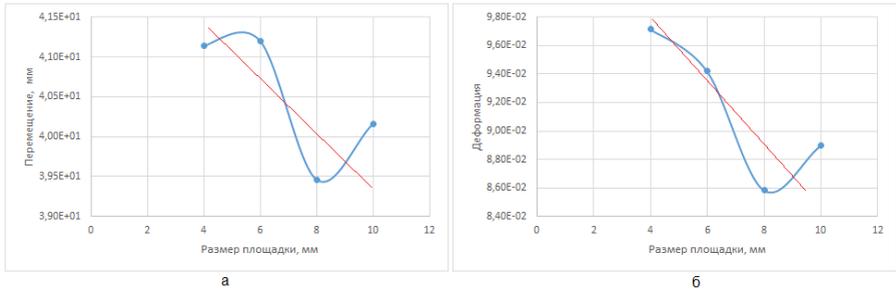


Рис. 6. Графики зависимости перемещения (а) и деформации (б) от размера площадки

Для перемещения и деформации были отброшены значения для 2 мм, поскольку они выбивались из закономерности.

### Перспективы использования моделирования

Впоследствии для более точного решения можно использовать построенную ранее двухкомпонентную модель нижней челюсти. При этом исследование можно дополнить, прикладывая нагрузку к различным участкам кости челюсти. Таким образом можно будет проследить, как меняется напряжение в зависимости от места удара. Кроме того, в результате анализа можно установить те области, в которых возникают напряжения, благодаря чему возможно сделать вывод о потенциальных локализациях повреждений.

### Библиографический список

1. Компьютерная томография (КТ). URL: [https://www.kinderkrebsinfo.de/roditeljam/pohkinderkrebsinfountersuchungen/metody\\_issledovanija\\_po\\_snimkam/kt/index\\_rus.html](https://www.kinderkrebsinfo.de/roditeljam/pohkinderkrebsinfountersuchungen/metody_issledovanija_po_snimkam/kt/index_rus.html) (дата обращения: 04.03.2021).
2. Основы компьютерной томографии. URL: [https://radiology24.ru/grundlagen\\_der-computertomographie/](https://radiology24.ru/grundlagen_der-computertomographie/) (дата обращения: 05.03.2021).
3. Solidworks 2016: краткий обзор программы. URL: <https://3ddevice.com.ua/blog/3d-printer-obzor/obzor-programmy-solidworks/> (дата обращения: 07.03.2021).

УДК 616

**Е. А. Соколова**

бакалавр кафедры медицинской радиоэлектроники

**А. З. Яфаров** – кандидат технических наук, старший преподаватель – научный руководитель**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ**

Сегодня нейронные сети приобрели огромную популярность во многих областях здравоохранения: диагностика, превентивная медицина, системы распознавания патологии по медицинским снимкам, чат-боты для поддержки пациентов и др. Наибольший интерес представляют системы, направленные на диагностику пациентов, поскольку они могут существенно облегчить работу врачей.

В качестве примера рассмотрим систему, направленную на определение концентрации пищевых добавок в крови в зависимости от показателей крови (лейкоциты, эритроциты, тромбоциты, гематокрит, гемоглобин и СОЭ). Для этой цели была построена и обучена нейронная сеть.

**Структурная схема**

Для поставленной задачи была построена нейросетевая модель, структурная схема которой представлена на рис. 1.

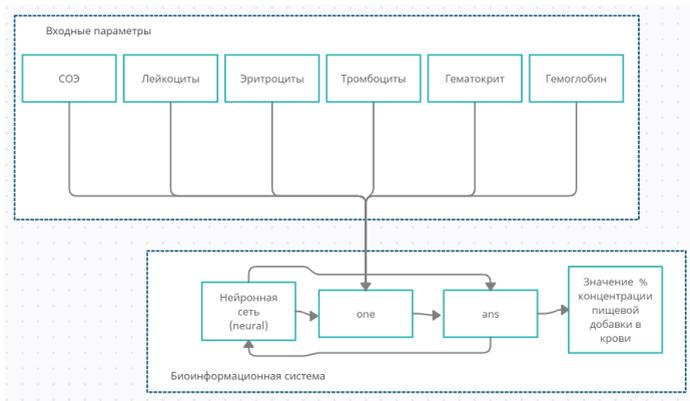


Рис. 1. Структурная схема нейронной сети

В представленной схеме на вход программы *one* поступают значения гемоглобина, гематокрита, тромбоцитов, эритроцитов, лейкоцитов и СОЭ, на основании которых нейронная сеть будет проводить вычисления значения процента концентрации пищевой добавки в крови человека. Эти значения считываются программой *ans*, которая вызывает симуляцию работы нейронной сети, отправляя данные в *neural*, а затем выводит полученную концентрацию.

Входные параметры: значения гемоглобина, гематокрита, тромбоцитов, эритроцитов, лейкоцитов и СОЭ. Они связаны с программой *one*.

Программа *neural*: создает нейронную сеть и запускает программу *one*.

Программа *one*: запускается программой *neural*, осуществляет прием входных значений и создание интерфейса, затем передает полученные значения в программу *ans*.

Программа *ans*: вызывает симуляцию работы нейронной сети, отправляет входные значения в *neural*, затем получает оттуда искомое значение концентрации и выводит его на экран.

Выходные значения: значение процента концентрации пищевых добавок в крови.

### Обучение нейронной сети

Нейронная сеть была построена с помощью инструмента Neural Network Toolbox (NNT), пакета программ MATLAB. Он представляет собой полноценную среду, которая может быть использована для исследования и применения нейронных сетей к таким задачам, как обработка сигналов, нелинейное управление и финансовое моделирование [1].

При реализации нейросети использовался алгоритм Левенберга – Марквардта – способ обучения сети с обратным распространением ошибки, который модифицирует веса и смещения в соответствии с оптимизацией Левенберга – Марквардта. В большинстве случаев это самый быстрый алгоритм для обучения, однако он может потреблять большое количество ресурсов машины. Алгоритм заключается в последовательном приближении заданных начальных значений параметров к искомому локальному оптимуму [2].

Нейронная сеть обучается на основании входных данных IN (гемоглобин, гематокрит, тромбоциты, эритроциты, лейкоциты, СОЭ), которые состоят из двумерного массива  $27 \times 6$ , а также выходных данных OUT (концентрация, %), которые состоят из одномерного массива  $27 \times 1$ .

### Алгоритмическая модель

В процессе функционирования нейронной сети происходит последовательный запуск трех программ (neural, one и ans). Первая – neural – сама нейронная сеть, которая в конце своего обучения создает графическое окно с кнопкой, позволяющей начать исследование и запустить вторую программу. Вторая программа – one – создает интерфейс ячеек, куда можно будет занести входящие значения, а также кнопку запуска третьей программы. В третьей программе – ans – запускается функция симуляции, которая выполняется в нейронной сети neural, после чего происходит передача рассчитанного значения концентрации в ans. Затем выполняется вывод полученного значения концентрации в ячейку, которую создает третья программа. После этого программа завершает работу.

Алгоритмическая модель приведена на рис. 2.

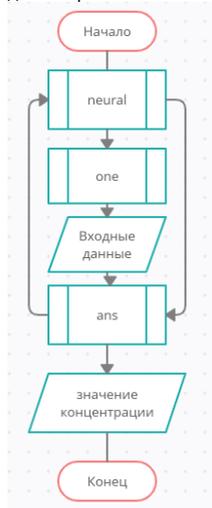


Рис. 2. Алгоритмическая модель

### Результат работы нейронной сети

Было проведено три исследования: для 30, 50 и 100 нейронов. На вход поступали следующие величины: гемоглобин 143; гематокрит 41; тромбоциты 308; эритроциты 4,82; лейкоциты 7,5 и СОЭ 12.

Согласно обучающим данным, на выходе необходимо получить процентное содержание пищевых добавок равное 0,002 63 %.

В результате работы нейронной сети были получены результаты, представленные на рис. 3. Можно сделать вывод, что с увеличением количества используемых в нейронной сети нейронов, повышается точность ее работы и полученные значения можно использовать для точного определения концентрации пищевых добавок в крови человека.

При использовании 30 нейронов нейронная сеть выдает недостоверные результаты процентной концентрации (0,007 245 17 %), что свидетельствует о том, что она была не до конца обучена.

При использовании 50 нейронов сеть все еще показывает неудовлетворительный результат (0,041 939 1 %), что также говорит о ее недоученности.



Рис. 3. Результат работы нейронной сети для 30 (а), 50 (б) и 100 (в) нейронов

При использовании 100 нейронов сеть выдает требуемое значение концентрации (0,002 63 %). Однако такой положительный результат может одновременно свидетельствовать о том, что сеть переучена. Проверить это не удалось из-за нехватки данных, которые можно было бы подать на вход. Можно предположить, что подходящее количество нейронов для работы нейронной сети равно 100.

### Перспективы использования нейронных сетей

Применение нейросетевого моделирования проникает во многие области жизни и с каждым годом все больше развивается. На основании построенной нейронной сети можно проводить и другие исследования, если обучить ее на разных выборках данных, например определять уровень глюкозы, концентрацию медицинских препаратов и т. п. Такую нейронную сеть можно интегрировать в лаборатории для помощи медицинским экспертам.

**Библиографический список**

1. Николаева С. Г. Нейронные сети. Реализация в Matlab: учеб. пособие. Казань: КГЭУ, 2015. 92 с.
2. Шаталина А. В., Рогачева А. В. Использование нейронных сетей в экономическом анализе // Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками. 2019. № 4. С. 105–109.

УДК 621.391.019.3(024)

**Е. В. Ткачева**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**С. И. Малинин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ПОДОПТИМАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ПРИЕМА СИГНАЛОВ  
ПРИ НАЛИЧИИ МЕЖСИМВОЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ**

В работе [1] по обобщенному критерию максимального правдоподобия синтезирован подоптимальный алгоритм приема цифровых сигналов при наличии межсимвольных искажений, исследована помехоустойчивость полученного алгоритма. При нашем анализе сохранены все обозначения, используемые в работе [1].

Найдем среднюю вероятность ошибки элементарного приема по правилу (15), полученному в работе [1]:

$$\eta = \int_{-nT}^{nT} \left( Z'(t) \cos \omega t - \frac{1}{2} \mu U \right) Z_0(t) dt - \sum_{\substack{k=-n \\ k \neq 0}}^n C_k \int_{-nT}^{nT} \left( Z'(t) \cos \omega t - \frac{1}{2} \mu U \right) Z_k(t) dt > 0. \quad (1)$$

При этом будем считать, что появление двоичных позиций сигнала имеет одинаковую вероятность. Тогда вероятность ошибки

$$P_{\text{ош}} = P(\eta < 0 | \theta_l = +1), \quad l, r = 1, 2, \quad l \neq r. \quad (2)$$

Это вероятность события, которое заключается в том, что величина  $\eta < 0$  при передаче первой позиции. При сделанных предположениях относительно характера помех и фиксированных значениях информационных параметров, величина  $\eta$  будет нормально распределенной случайной величиной со средним значением  $\bar{\eta}$  и дисперсией  $\sigma^2$ , а выражение (2) заменится выражением [2]

$$P_{\text{ош}} = \frac{1}{2} \left[ 1 - \Phi \left( \frac{\bar{\eta}}{\sigma} \right) \right],$$

где  $\Phi(x)$  – функция Крампа;  $\bar{\eta}$  и  $\sigma^2$  – соответственно среднее значение и дисперсия случайной величины  $\eta$  при передаче первой позиции.

Подставляя в выражение (1) низкочастотную огибающую входного сигнала  $Z_r(t)$  из выражения (5) [1] при  $\theta_l = +1$  ( $l, r = 1, 2, l \neq r$ ) и усредняя полученное выражение, находим

$$\bar{\eta} = \frac{\mu U}{2} \left( x_0 - \bar{X}_0^T X^{-1} \bar{X}_0 \right), \quad (3)$$

где  $x_0 = \int_{-nT}^{nT} Z_0^2(t) dt$ , а  $X$  и  $\bar{X}_0$  определяются выражениями (11), (13) [1]. Дисперсия  $\sigma^2$  определяется следующим выражением:

$$\sigma^2 = \overline{(\eta - \bar{\eta})^2} = \frac{v^2}{4} \left( x_0 - \bar{X}_0^T X^{-1} \bar{X}_0 \right), \quad (4)$$

где  $v^2$  – спектральная плотность средней мощности шума. При этом аргумент функции Крампа

$$\frac{\bar{\eta}}{\sigma} = \sqrt{2h} \sqrt{\frac{1}{T} \left( x_0 - \bar{X}_0^T X^{-1} \bar{X}_0 \right)}, \quad (5)$$

где  $h^2 = \frac{(\mu U)^2 T}{2v^2} = \frac{P_c T}{v^2}$  – отношение энергии несущей на длительности такового интервала  $T$  к спектральной плотности средней мощности шума. В силу симметрии вероятность ошибки при передаче второй позиции равна вероятности ошибки при передаче первой позиции. Таким образом, средняя вероятность ошибки поэлементного приема по правилу (1) определяется следующим выражением:

$$P_{\text{ош}} = \frac{1}{2} \left[ 1 - \Phi \left( \sqrt{2h} \sqrt{\frac{1}{T} (x_o - \bar{X}_o^T X^{-1} \bar{X}_o)} \right) \right]. \quad (6)$$

Отметим, что вычитаемое под знаком радикала в выражении (6) определяет величину энергетических потерь, возникающих за счет дополнительного уменьшения отношения сигнал/шум на выходе трансверсального фильтра. Эти потери равны нулю в отсутствие МСИ.

Предположим теперь, что  $n$  мало и пренебречь второй суммой в выражении для низкочастотной огибающей входного сигнала (4) в работе [1] нельзя. Тогда компенсации будет подлежать только конечное число элементов сигнала ( $2n$ ), расположенных слева и справа от основного элемента. Подставляя выражение (4) из [1] в выражение (1) при  $\theta_l = +1$  ( $l, r = 1, 2, l \neq r$ ) и усредняя, находим

$$\bar{\eta} = \frac{\mu U}{2} \left[ \left( x_o - \bar{X}_o^T X^{-1} \bar{X}_o \right) + \sum_{\substack{k=-\infty \\ k \neq -n, n}}^{\infty} \theta_k \left( x_{ok} - \bar{X}_o^T X^{-1} \bar{X}_k \right) \right]. \quad (7)$$

Здесь  $x_{ok} = \int_{-\infty}^{\infty} Z_o(t) Z(t) dt$ ;  $k = -\infty, \dots, -(n+1), (n+1), \dots, \infty$ ;  $\bar{X}_k$  – вектор-столбец размера  $(2n)$  элементов  $x_{kp} = \int_{-\infty}^{\infty} Z_k(t) Z_p(t) dt$ ;  $k = -\infty, \dots, -(n+1), (n+1), \dots, \infty$ ;  $p = -n, \dots, -1, 1, \dots, n$ . Дисперсия

$\sigma^2$  по-прежнему определяется выражением (4). Из (7) следует, что аргумент функции Крампа принимает минимальное значение (что соответствует наибольшей ошибке) в том случае, когда все  $\theta_k$  имеют знак, противоположный знаку  $(x_{ok} - \bar{X}_o^T X^{-1} \bar{X}_k)$ , при  $k = -\infty, \dots, -(n+1), (n+1), \dots, \infty$ . Учитывая это, можно записать аргумент функции Крампа для верхней границы вероятности ошибок в виде

$$\frac{\bar{\eta}}{\sigma} = \sqrt{2h} \left( \frac{\frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} |x_{ok} - \bar{X}_o^T X^{-1} \bar{X}_k|}{\sqrt{\frac{1}{T} (x_o - \bar{X}_o^T X^{-1} \bar{X}_o)} - \frac{k \neq -n, n}{\sqrt{\frac{1}{T} (x_o - \bar{X}_o^T X^{-1} \bar{X}_o)}}} \right). \quad (9)$$

Выражения для аргумента функции Крампа (5) и (9) справедливы для сигналов произвольной формы на входе приемного устройства.

Рассмотрим простейший случай, когда корреляционная функция элементарной посылки на входе имеет вид

$$B_Z((K-P)T) = x_{kp} = \begin{cases} x_0, & K-P=0, \\ x_0\rho, & |K-P|=1, \\ 0, & |K-P|>1, \end{cases} \quad (10)$$

где  $\rho = \frac{x_{kp}}{x_0}$  при  $|k-p|=1$ . Отметим, что такие сигналы широко применяются на практике. К ним относятся также сигналы, имеющие форму вида «приподнятый косинус»:

$$Z_r(t) = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^L \theta_{rk} \left( 1 + \sin \frac{\pi(t-kT)}{T} \right). \quad (11)$$

При этом

$$x_0 = \int_{-nT}^{nT} Z_0^2(t) dt = \frac{1}{4} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{3T}{2}} \left( 1 + \sin \frac{\pi t}{T} \right)^2 dt = \frac{3T}{4},$$

$$x_1 = x_{-1} = \int_{-nT}^{nT} Z_0(t) Z_1(t) dt = \frac{1}{4} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{3T}{2}} \left( 1 + \sin \frac{\pi t}{T} \right) \left( 1 + \sin \frac{\pi(t-T)}{T} \right) dt = \frac{T}{8},$$

$$\rho = \frac{x_1}{x_0} = \frac{1}{6} \approx 0,167.$$

В случае  $n=1$ , когда компенсируется только по одному «мешающему» элементу сигнала слева и справа от основного элемента, выражение (5) с учетом (10) переписывается в виде

$$\frac{\bar{\eta}}{\sigma} = \sqrt{2h} \sqrt{\frac{1}{T} x_0 \sqrt{1-2\rho^2}} = 1,1902h. \quad (12)$$

Выражение (12) не учитывает влияние некомпенсированных мешающих элементов. Выражение (9) с учетом (10) для верхней границы вероятности ошибок принимает вид

$$\frac{\bar{\eta}}{\sigma} = \sqrt{2h} \sqrt{\frac{1}{T} x_0 \frac{1-4\rho^2}{\sqrt{1-2\rho^2}}} = 1,1202h. \quad (13)$$

Сравним выражение (13) с аргументом функции Крампа для приемника, синтезированного без учета влияния МСИ. Приемник, оптимальный только для флуктуационных помех, принимает решение о значении информационного параметра по правилу

$$\eta = \int_{-nT}^{nT} \left( Z'(t) - \frac{1}{2} \mu U \right) Z_0(t) dt \underset{<}{>} 0. \quad (14)$$

В этом случае аргумент функции Крампа для верхней границы вероятности ошибок равен

$$\frac{\bar{\eta}}{\sigma} = \sqrt{2h} \sqrt{\frac{1}{T} x_0 \left( 1 - \frac{1}{x_0} \sum_{\substack{k=-\infty \\ k \neq 0}}^{\infty} |x_{0k}| \right)} \quad (15)$$

Для сигналов, удовлетворяющих выражению (10), при  $\rho = 0,167$ , находим

$$\frac{\bar{\eta}}{\sigma} = \sqrt{2h} \sqrt{\frac{1}{T}} x_0 (1-2\rho) = 0,8165h. \quad (16)$$

Формулы (12), (13) и (16) можно представить одним выражением

$$\frac{\bar{\eta}}{\sigma} = \sqrt{2h} \sqrt{\frac{1}{T}} x_0 \gamma(\rho), \quad (17)$$

где  $\gamma(\rho)$  – величина, характеризующая влияние МСИ. Степень влияния МСИ удобно характеризовать энергетическим проигрышем  $\frac{1}{\gamma^2(\rho)}$ , т. е. отношением мощностей сигналов при отсутствии МСИ и при наличии МСИ, при котором обеспечивается одинаковая вероятность ошибок.

Энергетический проигрыш  $\frac{1}{\gamma^2(\rho)}$  зависит как от величины  $\rho$ , так и от числа  $n$  компенсируемых элементов сигнала слева и справа от основного элемента. Чем больше число компенсируемых элементов  $n$ , тем меньше энергетический проигрыш, обусловленный наличием МСИ. Вычислим зависимость энергетического проигрыша  $\frac{1}{\gamma^2(\rho)}$  от числа  $n$  компенсируемых элементов для простейшего случая, когда корреляционная функция элементарной посылки на входе приемного устройства удовлетворяет равенству (10), а аргумент функции Крампа определяется выражением (9). На рис. 1 приведены графики зависимости энергетического проигрыша  $\frac{1}{\gamma^2(\rho, n)}$  от числа компенсируемых элементов сигнала  $n$  при различных уровнях МСИ  $\rho$ .

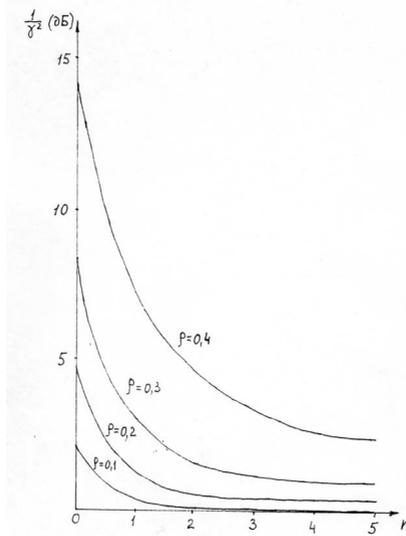


Рис. 1. Зависимости энергетического проигрыша от числа компенсируемых элементов сигнала

Из графиков следует, что для сигналов вида «приподнятый косинус», когда  $\rho \approx 0,167$ , достаточно выбрать  $n = 1...2$ . При этом энергетический проигрыш практически достигает минимального значения. При достаточно большом уровне МСИ  $\rho = 0,4$  требуется уже выбирать  $n = 4...5$ .

Выражения (9) и (13) дают аргумент функции Крампа для наибольшей вероятности ошибок. В общем случае аргумент вероятности ошибок зависит от различных сочетаний случайных значений информационных символов нескомпенсированных элементов сигнала. Для сигналов, имеющих корреляционную функцию вида (10), он определяется следующим выражением:

$$\frac{\bar{\eta}}{\sigma} = \sqrt{2}h\sqrt{\frac{1}{T}x_0} \frac{1-2\rho^2-\theta_{-2}\rho^2-\theta_2\rho^2}{\sqrt{1-2\rho^2}}, \quad (18)$$

где  $\theta_{-2}, \theta_2$  – информационные параметры нескомпенсированных элементов сигнала, которые принимают равновероятные значения  $\pm 1$ . Для получения среднего значения вероятности ошибок в данном случае необходимо вычислить вероятность ошибок отдельно для каждой из четырех комбинаций передаваемых символов и результаты усреднить.

Для сравнения теоретических зависимостей, найденных в предположении канала с неограниченной полосой частот с экспериментальными данными, полученными в результате моделирования для канала, ограниченного по полосе реальным полосовым фильтром с шумовой полосой  $F_{\text{ш}}$  удобно воспользоваться соотношением  $h = h_1\sqrt{F_{\text{ш}}T}$ , где  $h_1$  – отношение мощности несущей к мощности шума в полосе  $F_{\text{ш}}$ .

На рис. 2 зависимости  $P_{\text{ош}}(h_1)$ , вычисленные соответственно для выражения (16), полученного без учета подавления МСИ, показаны кривой 1, и для (18) при усреднении по всем комбинациям информационных символов – кривой 2. Расчеты выполнены для сигналов вида «приподнятый косинус»  $\rho = 0,167$ .

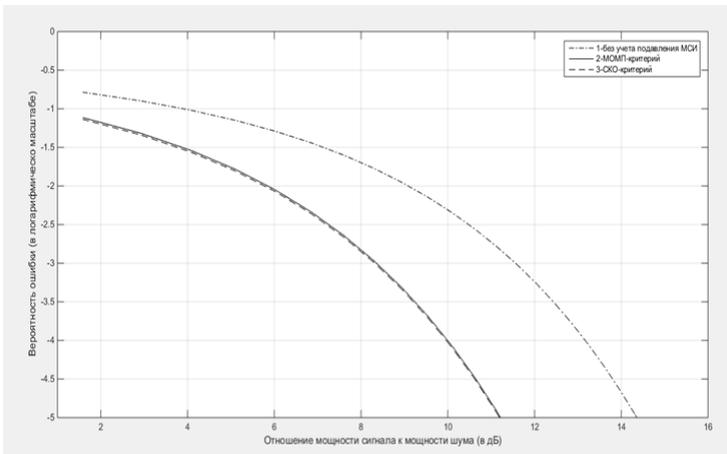


Рис. 2. Характеристики помехоустойчивости исследуемых алгоритмов

Из сравнения кривых 1 и 2 следует, что прием с учетом подавления МСИ даже при  $n = 1$  позволяет получить энергетический выигрыш порядка 3 дБ (при  $P_{\text{ош}} = 10^{-4}$ ) по сравнению с соответствующим приемом без подавления МСИ. Этот вариант приема превосходит также по помехоустойчивости опти-

мальный алгоритм по правилу ОМП. При этом энергетический выигрыш составляет порядка 1 дБ при  $P_{\text{ош}} = 10^{-4}$ .

Интересно сравнить полученные результаты с результатами расчета средней вероятности ошибок для алгоритма, синтезированного на базе СКО-критерия. В этом случае аргумент функции Крампа, зависящий от случайных значений информационных символов для сигналов вида (10) определяется следующим выражением:

$$\frac{\bar{\eta}}{\sigma} = \sqrt{2h} \sqrt{\frac{1}{T} x_0} \frac{(1 - 2\rho\alpha + \theta_{r,-1}(\rho - \alpha) + \theta_{r,1}(\rho - \alpha) - \theta_{-2}\rho\alpha - \theta_2\rho\alpha)}{\sqrt{1 - 4\rho\alpha + 2\alpha^2}}, \quad (19)$$

где

$$\alpha = \frac{\rho}{\frac{1 - \rho^2}{1 - 2\rho^2} + \frac{1}{2h^2}} = -\frac{c_1}{c_2} = -\frac{c_3}{c_2} \quad (20)$$

нормированные весовые коэффициенты.

Для получения среднего значения вероятности ошибок необходимо вычислить их вероятность раздельно для каждой из шестнадцати комбинаций передаваемых символов и результаты усреднить. При  $\alpha = \rho$  выражение (19) переходит в (18).

На рис. 2 кривая 3 (пунктирная линия) представляет собой зависимость средней вероятности ошибок  $\bar{P}_{\text{ош СКО}}$  от  $h_1$  для рассматриваемых сигналов при  $\rho \approx 0,167$ . Из сравнения кривых 2 и 3 следует, что средняя вероятность ошибок, вычисленная для алгоритма, синтезированного на базе модификации обобщенного критерия максимума отношения правдоподобия, очень незначительно превышает среднюю вероятность ошибок для СКО-критерия. При этом следует отметить, что расчет весовых коэффициентов в первом случае требует существенно меньших вычислительных затрат, чем для случая СКО-критерия. Незначительный проигрыш в помехоустойчивости в случае модификации обобщенного критерия максимума отношения правдоподобия по сравнению с СКО-критерием объясняется тем, что в первом случае полностью компенсируются только те элементы сигнала слева и справа от основного элемента, число которых обусловлено числом отводов в линии задержки, а аддитивные помехи складываются с соответствующими весовыми коэффициентами. В случае СКО-критерия получается компромиссное решение между компенсацией межсимвольных искажений и аддитивной помехи. Межсимвольная интерференция в этом случае компенсируется не полностью, но помехи складываются с меньшими весами. При увеличении числа отводов в линии задержки и увеличении отношения сигнал/шум  $h_1$  вероятности ошибок в обоих случаях совпадают.

#### Библиографический список

1. Выболдин Ю. К., Малинин С. И. Разработка подоптимальных алгоритмов приема сигналов при наличии межсимвольных искажений // Технологии и компоненты. 2012. № 6. С. 158–160.
2. Финк Л. М. Теория передачи дискретных сообщений. М.: Сов. радио, 1970. 296 с.

УДК 612.171.1

**И. М. Торлюн**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**Т. В. Сергеев** – кандидат биологических наук, доцент – научный руководитель

## **СИСТЕМА ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА КАРДИОРИТМОГРАММЫ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

### **Введение**

Сердечно-сосудистую систему принято считать главной интегративной, т. е. центральной с точки зрения жизнеобеспечения организма. Она чутко реагирует на изменения в функционировании любого органа, а также характеристик окружающей среды. Именно поэтому знание происходящих в сердечно-сосудистой системе процессов важно для врача практически любой специальности. Существует достаточное количество методик, позволяющих разносторонне изучить состояние сердца и сосудов, однако кардиоритмографическое исследование занимает среди них особое место. Его результаты, изолированные от общеклинической картины, не самоценны, однако могут служить важным диагностическим признаком при дифференциальной диагностике заболеваний, относящихся к самым различным нозологическим единицам.

### **Актуальность кардиоритмографического анализа**

Выбранная тема актуальна по ряду причин: результаты анализа кардиоритмограмм (КРГ) могут быть использованы при наблюдении за развитием сердечно-сосудистой патологии, диагностике нейроциркуляторных дистоний, широкого спектра нервных болезней, последствий черепно-мозговых травм и т. п.

В ходе исследования можно делать выводы о типе и характере различных аритмий. Ценность таких выводов подкрепляется большим количеством анализируемых кардиоинтервалов, а использование специальных методов анализа позволяет диагностировать очень сложные нарушения ритма, например парасистолию. Именно кардиоритмография дает возможность провести достаточно подробную классификацию фибрилляции предсердий и на основании результатов анализа принимать решение о назначении оптимальных доз наперстянки и даже о целесообразности дефибрилляции. Кроме того, кардиоритмографическое исследование позволяет делать выводы о преимущественном влиянии симпатического или парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС) на регуляцию синусового ритма, в итоге можно судить о преобладании определенного типа регуляции организма со стороны ВНС в целом [1].

### **Цель и задачи**

Для разработки системы частотного анализа кардиоритмограммы в режиме реального времени следует выполнить следующие задачи:

- 1) провести обзор литературы;
- 2) исследовать принципы построения аппаратуры для получения электрокардиограмм (ЭКГ) и выбрать наиболее оптимальный метод снятия данных;
- 3) обосновать структуру и функциональные параметры частотного анализа кардиоритмограммы.

### **Понятие ритмограммы**

Под ритмограммой в широком смысле понимается диаграмма, каждый столбец которой соответствует периоду между некоторыми событиями подобного характера. Например, можно построить ритмограмму пульсации звезды или землетрясений. Получив ее (а точнее периодограмму), можно использовать различные математические инструменты для анализа природы явления. При исследовании изменения частоты сердечных сокращений можно ввести понятие КРГ сердца, т. е. диаграммы про-

должительности ряда последовательных сердечных циклов  $T_k$ , например интервалов RR на электрокардиограмме [2].

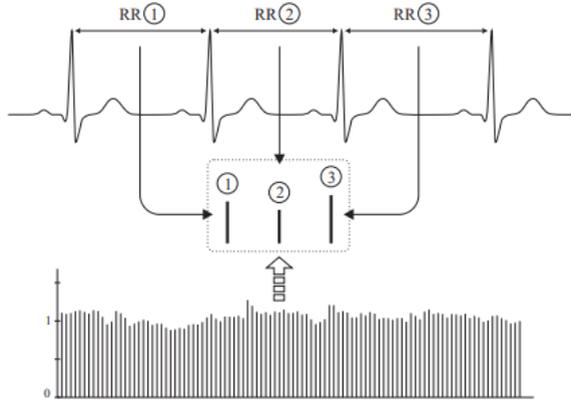


Рис. 1. Построение кардиоритмограммы по электрокардиограмме

Обычно кардиоритмограмма отображается так, что промежутки между полосами не видны. В результате получаются почерневшие прямоугольники с «волнистым» верхом, который часто «изгрызан» экстрасистолами.

### Методика записи КРГ

Кардиоритмограмма представляет собой диаграмму длительностей интервалов RR. Для построения полноценной КРГ достаточно записать любую пульсовую кривую (например, сфигмограмму). Однако если нас интересует анализ аритмий и, как следствие, морфология комплекса QRS, лучше записывать одно из отведений кардиограммы. Строго говоря, пульсовая волна не подходит еще и потому, что существует такое понятие, как «дефицит пульса», т. е. не каждое электрически зафиксированное сокращение приводит к появлению настоящей пульсовой волны.

При внедрении этой методики на основе медицинской диагностической системы построение кардиоритмограммы проводится путем записи 1-го или 2-го отведения ЭКГ на выбор. В этом случае регистрируется от 200 до 650 кардиоинтервалов, т. е. максимальное время записи не может превышать 10 мин. Ограничение записи до 200 интервалов RR значительно ускоряет исследования, что полезно при скрининговых обследованиях. Однако увеличение количества записанных сердечных циклов позволяет повысить надежность результатов анализа [3].

### Методы анализа кардиоритмограммы

В отличие от анализа электрокардиограммы, где главным инструментом является сравнение точно измеренных длительностей и амплитуд элементов кривой, методы анализа ритмограмм являются статистическими, т. е. основанными на оценке не конкретных, а обобщенных значений. Имеется в виду, что насколько диагностически бессмысленной будет величина среднего значения амплитуды Q по всем 12 отведениям, настолько естественным и полезным будет среднее значение RR-интервалов при анализе КРГ. Именно такой подход определяет выбор инструментов для анализа ритмограмм. Выделим два из них: гистограмму распределения интервалов RR и скаттерограммы.

Гистограмма RR-интервалов (рис. 2) позволяет оценить характер их распределения и рассчитать статистические показатели. Она рассчитывается с учетом выбранного типа коррекции RR-интервалов и только по выделенной в данный момент области на ритмограмме.

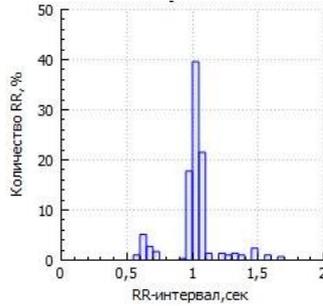


Рис. 2. Пример гистограммы распределения RR-интервалов

Скаттерограмма (рис. 3) – это график, на который наносятся точки с координатами, соответствующими смежным RR-интервалам. Она дает наглядное представление об общем характере и закономерностях сердечного ритма. По оси ординат откладывается длительность  $i$ -го интервала, а по оси абсцисс – длительность интервала с номером  $i + 1$ . Скаттерограмма рассчитывается по откорректированному сигналу и только по выделенной в данный момент области.

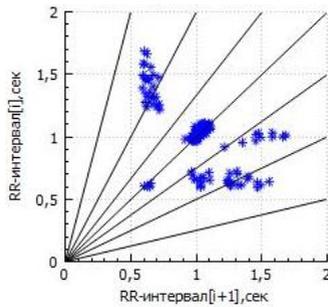


Рис. 3. Пример скаттерограммы

График спектральной мощности (рис. 4) показывает разложение сигнала сердечного ритма в частотной области. Сигнал сердечного ритма формируется из выделенного фрагмента ритмограммы. Разложение показано в диапазоне частот от 0 до 0,5 Гц с шагом по частоте 0,1 Гц.

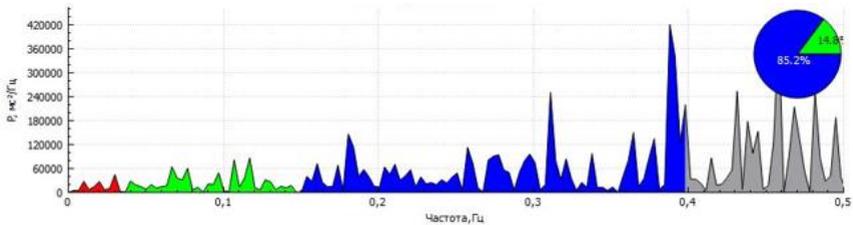


Рис. 4. График спектральной мощности

Задача спектрального анализа – показать, из каких волн (медленных или быстрых) состоит вариативная часть ритмограммы. На графике спектра выделяется три диапазона частот, каждый из которых окрашивается в свой цвет:

VLF (very low frequency): [0,003; 0,04) – красный;

LF (low frequency): [0,04; 0,15) – зеленый;

HF (high frequency): [0,15; 0,4) – синий.

Правее графика спектра мощности располагается круговая диаграмма распределения мощности компонент. Диаграмма разделена на два сектора, соответствующих мощностям в двух диапазонах (LF и HF). Спектр мощности рассчитывается с учетом выбранного типа коррекции RR-интервалов и только по выделенной в данный момент области на ритмограмме [4].

### Помехи на КРГ

Помимо всего, требуется избавиться от так называемых «артефактов» (рис. 5), которые проявляются при записи ритмограммы. Это происходит, когда изолиния ЭКГ уплывает «за границу» и из-за этого компьютер не может обработать QRS-комплекс, так как помеха отображается как очередной слишком длинный RR-интервал. Посредством этой сильной помехи можно определить ложный R-рубец – в таком случае помеху можно расценить как интерполированную экстрасистолу.

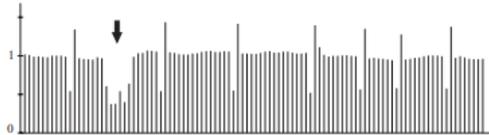


Рис. 5. Артефакты на кардиоритмограмме

Способы борьбы с помехами не отличаются от аналогичных попыток улучшить качество электрокардиограмм: использовать гель, тщательно накладывать электроды, правильно укладывать кабель отведений (он не должен лежать на животе у пациента), пользоваться контуром заземления, не волновать больного и т. д. При большом количестве помех запись КРГ лучше повторить сначала. Если же артефакты единичны, то впоследствии можно удалить их – программа допускает такую возможность.

### Заключение

В ходе работы были рассмотрены методики записи кардиоритмограммы, методы ее анализа и пути избавления от полученных помех при записи ритмограммы. Можно сделать вывод, что разработка системы частотного анализа кардиоритмограммы в режиме реального времени может существенно сократить время, затрачиваемое на проведение анализа, снизить его стоимость и размер за счет изменения компоновки устройства и внедрения современных разработок, а также повысить надежность полученных данных путем внедрения системы автоматической корректировки помех.

### Библиографический список

1. Михайлов В. М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения. Иваново, 2002. 290 с.
2. Соболев А. В., Рябкина Г. В., Кожемякина Е. Ш. Новый метод анализа вариабельности синусового ритма на длительных промежутках времени, учитывающий наличие на ритмограмме двойных изломов // Мед. алфавит, 2017. № 14. С. 22–27.
3. Березный Е. А., Рубин А. М., Утехина Г. А. Практическая кардиоритмография. М.: Нео, 2005. 140 с.
4. Анализ вариабельности сердечного ритма. URL: <https://www.micard.ru/novosti/vsr-v-programme-rabochee-mesto-vracha-dlya-windows> (дата обращения: 21.03.2021).

УДК 53.087.4

**К. В. Ярмаль**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**Т. В. Сергеев** – кандидат биологических наук, доцент – научный руководитель

## **ОБЗОР ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ МЭМС-АКСЕЛЕРОМЕТРОВ И ГИРОСКОПОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОЛОЖЕНИЯ И ДВИЖЕНИЙ ШЕИ ЧЕЛОВЕКА.**

### **1. Введение. Актуальность в медико-биологическом аспекте**

Многие проблемы со здоровьем человека могут быть связаны с плохой проходимостью электрических импульсов в шейном отделе, так как это довольно хрупкая часть человека и нарушить эти проводимости довольно просто. Неправильное положение головы или шеи может значительно повлиять на проводимость крови в мозг человека, ведь без нее он не получает кислород, а следовательно, не способен работать полноценно.

В медицинских учреждениях устройств, которые могут отслеживать положение головы в пространстве и передавать данные врачу, нет. Не существует специально разработанных многоразовых датчиков, которые можно закрепить на шее пациента на длительное время, чтобы при этом человек мог свободно передвигаться, а данные передавались лечащему врачу или записывались на носитель информации. Чтобы создать такие датчики, необходимо определиться, из каких компонентов они будут состоять. Для этого необходимо провести обзор имеющихся решений, определиться с достоинствами и недостатками тех или иных элементов, провести их сравнение и выбрать подходящие.

### **2. Введение. Актуальность выбранных технических решений**

Для контроля за осанкой и положением головы будут разработаны носимые датчики на основе микроэлектромеханических систем (МЭМС) датчиков. МЭМС позволяют уменьшать размеры и потребление электричества создаваемых датчиков, ведь устройство планируется носить долгое время без подзарядки и большого количества проводов.

Для определения положения шеи в пространстве необходимы МЭМС-датчики на основе акселерометра и гироскопа.

### **3. Цель и задачи**

Цель – рассмотрение и выбор элементной базы чипов и модулей для создания датчиков отслеживания положения головы в пространстве.

Задачи:

- 1) рассмотреть модель крепления датчиков к пациенту;
- 2) определить критерии оценки современных МЭМС-датчиков;
- 3) сравнить современные чипы: МЭМС-акселерометр и гироскоп и сенсоры Inertial Measurement Unit (IMU);
- 4) сравнить современные модули для МЭМС-акселерометра и гироскопа;
- 5) выбрать чип и модуль для создания датчиков отслеживания положения головы в пространстве.

### **4. Описание рассматриваемых решений**

Для того чтобы информация, получаемая от датчиков, была полезна, необходима 3-точечная модель крепления датчиков к пациенту, показанная на рис. 1. Она позволяет в полной мере отслеживать положение и движение шеи человека. Данные с датчиков будут поступать на передающее устройство с помощью технологии Bluetooth или записываться на носимое пациентом устройство для хранения информации.

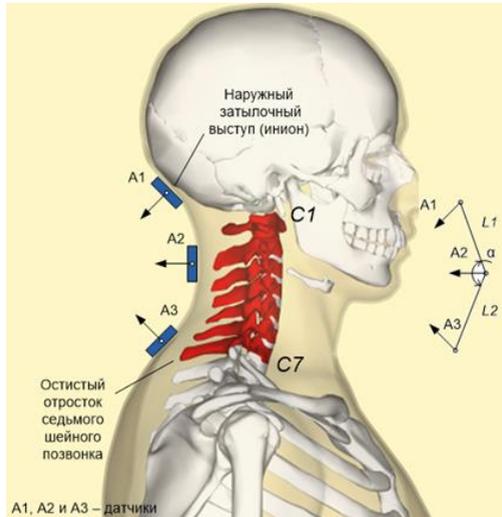


Рис. 1. Схема расположения датчиков

Гироскоп – датчик, измеряющий угловую скорость вокруг собственных осей. Его показания можно получать в  $^{\circ}/с$  –  $fps$ . Датчик способен определять воздействие момента внешней силы вокруг своих осей. Используя эти данные, можно компенсировать воздействие истинного ускорения на акселерометр, следовательно, применяя акселерометр и гироскоп, получать положение этих датчиков относительно поверхности.

Акселерометр – датчик, измеряющий угловое ускорение (проекцию кажущегося ускорения), которое состоит из истинного ускорения и ускорения свободного падения. Показания датчика можно получать в  $м/с^2$ , или в  $g$  (количестве ускорений свободного падения). Если датчик неподвижен или движется равномерно, то его выходные данные будут совпадать с ускорением свободного падения, вектор которого всегда направлен вниз [1].

Инерциальные измерительные модули (IMU, Inertial Measurement Unit) – устройства основанные на многоосевой комбинации высокостабильных гироскопов, акселерометров, магнетометров и датчиков давления.

МЭМС-датчики обладают небольшими размерами, низкими уровнями шумов и электропотребления.

## 5. Критерии сравнения

Для сравнения современных акселерометров, гироскопов и IMU-сенсоров были выбраны критерии.

Рабочий диапазон – диапазон измерений, в котором датчик измеряет показатели.

Масштабный коэффициент (scale factor – отношение изменения выходного сигнала к изменению выходного измеряемого сигнала) калибруется на заводе и не зависит от напряжения питания. Каждый сенсор снабжен индивидуальным сигма-дельта АЦП (состоит из модулятора и цифрового фильтра низких частот), выходной цифровой сигнал которого имеет настраиваемый диапазон измерений [2].

Напряжение питания – напряжение, необходимое для работы чипа.

Размер – один из решающих факторов выбора датчиков и модулей, так как прибор должен быть небольшим.

Цена.

## 6. Сравнение

В табл. 1 представлены сравнения:

- двух акселерометров производства компаний Analog Devices и Microelectronics;
- двух гироскопов производства компаний Microelectronics и Invensense;
- двух IMU-сенсоров производства компаний Invensense и Microelectronics.

Таблица 1

## Сравнение датчиков [3–8]

Параметр	Акселерометр ADXL350BCEZ- RL7 Analog Devices	Акселерометр AIS326DQTR ST Microele- ctronics	Гироскоп L2G2ISTR ST Microele- ctronics	Гироскоп IAM- 20380 Inven- Sense	IMU-сенсор MPU-9250 Inven- Sense	IMU-сенсор LSM6DSLTR ST Microele- ctronics
Рабочий диапазон	±1, ±2, ±4 g	±2, ±6 g.	±100, ±200 dps	±250, ±500 dps.	±2, ±4, g; ±250, ±500 dps	±2, ±4 g; ±125, ±250, ±500 dps
Масштабный коэффициент	512, 256, 128 LSB/g	1 024, 340 LSB/g	262, 131 LSb/dps	131, 65,5 LSB/dps	16,384, 8,192, LSB/g 131, 65,5 LSB/dps	16,384, 8,192 LSB/g 228, 114, 57 LSB/dps
Напряжение питания	2,0–3,6 В	3,0– 3,6 В	1,7–3,6 В	1,71– 3,60 В	2,4–3,6 В	2,62–3,6 В
Размер	4 × 3 × 1,2 мм, 0,142 г	4 × 3 × 1,2 мм, 0,35 г	2,3 × 2,3 × × 0,7 мм, 2,4 г	3 × 3 × × 0,75 мм	3 × 3 × 1 мм	2,5 × 3,5 × × 0,83 мм
Цена	1 220 руб.	120 руб.	263 руб.	963 руб.	430 руб.	1 290 руб.

Можно сделать вывод, что более целесообразно использовать готовый IMU-сенсор, чем покупать акселерометр и гироскоп по отдельности, а из IMU-сенсоров самым подходящим по цене, размерам и питанию является MPU-9250 производства компании Invensense.

Данный сенсор – один из самых миниатюрных в мире (3 × 3 × 1 мм), используется в смартфонах, планшетах, носимых датчиках и других устройствах.

Для подключения IMU-сенсора необходим модуль, в который он будет вставлен. Для IMU MPU-9250 существуют три модуля: 1) GY-91; 2) 10 DOF IMU; 3) GY-9250. В табл. 2 приведено их сравнение.

Таблица 2

## Сравнение модулей

Параметр	GY-91	10 DOF IMU	GY-9250
Интерфейс	I2C (400 кГц)	I2C (400 кГц)	I2C (400кГц) / SPI (1 МГц)
Разрешение	16 бит	16 бит	16 бит
Размер	27,5 × 16,3 × 3,0 мм	31,0 × 16,0 × 2,5 мм	25 × 15 × 3 мм
Цена	490 руб.	2 300 руб.	530 руб.

Как видно из сравнительной таблицы, самым подходящим модулем является GY-9250 (рис. 2), обладающий небольшими размерами и стоимостью.

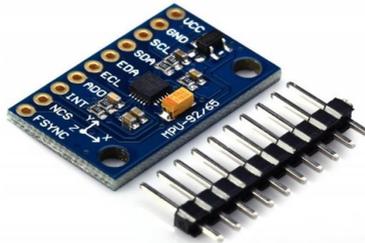


Рис. 2. GY-9250 на основе IMU MPU-9250

### Заключение

Была рассмотрена трехточечная модель крепления датчиков к пациенту, проведено сравнение современных MEMS-датчиков, необходимых для создания системы отслеживания положения головы, осуществлен их анализ по нескольким критериям. В результате оптимальным считаем IMU-сенсор MPU-9250, подходящий по всем параметрам, и модуль GY-9250 для его подключения.

### Библиографический список

1. Гуртов В. А., Беляев М. А., Бакшеева А. Г. Микроэлектромеханические системы. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2016. 171 с.
2. MEMS-акселерометры и гироскопы – разбираемся в спецификации. URL: <https://habr.com/ru/post/431566/> (дата обращения: 05.05.2021).
3. Datasheet для ADXL350BCEZ-RL7. URL: <https://ru.mouser.com/datasheet/2/609/ADXL350-1503694.pdf> (дата обращения: 05.05.2021).
4. Datasheet для AIS326DQTR. URL: <https://static6.arrow.com/aropdfconversion/5f1c032bc3f4f55b24e25520ade7713418e40bc9/1915081458407780cd0020.pdf> (дата обращения: 05.05.2021).
5. Datasheet для L2G2ISTR. URL: <http://www.farnell.com/datasheets/2291206.pdf> (дата обращения: 05.05.2021).
6. Datasheet для IAM-20380. URL: <http://www.farnell.com/datasheets/2905829.pdf> (дата обращения: 05.05.2021).
7. Datasheet для MPU-9250. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/306/DOC004306188.pdf> (дата обращения: 05.05.2021).
8. Datasheet для LSM6DSLTR. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/968/DOC003968914.pdf> (дата обращения: 05.05.2021).

УДК 504.064.36

**М. В. Ярмаль**

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

**Т. В. Сергеев** – кандидат биологических наук, доцент – научный руководитель

## **СРАВНЕНИЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОЛОЖЕНИЯ И ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА**

### **1. Введение. Актуальность в медико-биологическом аспекте**

Основа человеческого скелета – позвоночник. В его задачу входят защита спинного мозга, защита головного мозга от сотрясений при движении (амортизация), поддержка туловища в вертикальном положении. Самым хрупким среди всех отделов позвоночника является шейный. Его строение довольно сложное и требует тщательного рассмотрения для понимания происходящих в нем процессов, предотвращения повреждений.

Шея состоит из большого количества мышц и органов, позволяющих вращать голову и на протяжении долгого времени держать ее в вертикальном положении. Через шейный отдел проходят все мозговые импульсы в другие части тела. Электрические сигналы головного и спинного мозга, проходящие через нервы, управляют мышечной активностью шеи. Нарушение такого взаимодействия мышц и нервов приводит к проблемам и патологиям.

Нарушение подвижности шеи – двигательные расстройства, которые выражаются в ограничении движений головой и нестабильности шейного отдела позвоночника. Проблема может быть врожденной – внутриутробный порок развития костных тканей или приобретенной – возникать из-за травм позвоночника, остеохондроза, сдавливания позвоночной артерии [1].

Постановку диагноза «остеохондроз шейного отдела» затрудняют низкая специфичность симптомов и большое разнообразие их проявлений, а также узкий спектр инструментальной диагностики.

Самое эффективное лечение – предупреждение заболевания. В этом поможет постоянный мониторинг правильного положения головы с помощью специально разработанного прибора.

### **2. Введение. Актуальность выбранных технических решений**

Устройства, определяющие положение в пространстве, постепенно внедряются в медицину. Имеется серьезная элементная база, однако нет специально сформированного аппаратно-программного комплекса для постоянного мониторинга положения головы, который бы позволял диагностировать проблемы в шейном отделе позвоночника человека. Решение заключается в создании мобильного компактного устройства, включающего системы слежения на основе современных датчиков: гироскопов, акселерометров.

Система представления полученных данных врачу для диагностических заключений позволит широко использовать разработанный прибор в ортопедии.

### **3. Цель и задачи**

Цель работы заключается в выборе оптимальной системы слежения для постоянного мониторинга положения, движений и наклонов головы человека. Был определен комплекс задач, решение которых необходимо для ее достижения: 1) обзор литературы; 2) определение групп возможных систем, позволяющих отслеживать положение в пространстве; 3) рассмотрение дистанционных технологий для захвата движения; 4) рассмотрение носимых систем определения положения; 5) сравнение систем; 6) выбор оптимальной системы по приоритетным критериям.

### **4. Обзор систем и методов отслеживания положения**

Захват движения – это процесс фиксирования движений реального объекта, человека и использования полученных данных для биомеханического анализа.

Совокупность систем и методов отслеживания, захвата положений, движения человека можно поделить на несколько групп (рис. 1).

1. Дистанционные, которые основываются на принципе «маркер – датчик». На голове пользователя крепится маркер. Неподвижный датчик отслеживает его движения. Сюда относятся акустические, радиочастотные, магнитные, оптические системы [2].

Маркер может быть активным и пассивным. Активный имеет встроенный излучатель (соответственно, он либо имеет встроенный источник питания, либо привязан проводом к основному блоку). Пассивный маркер отражает видимый или инфракрасный свет. Теоретически возможна (но не применяется в потребительских устройствах) система с неподвижными маркерами и закрепляемым на голове приемником.

2. Носимые, которые предполагают, что на голове пользователя крепится отслеживающий блок с гироскопами и акселерометрами (как в шлемах виртуальной реальности). К ним относятся инерциальные системы.



Рис. 1. Классификация систем захвата движения

Рассмотри принцип действия представленных систем.

Дистанционные стационарные системы.

1. Магнитные: основаны на принципе измерения интенсивности магнитного поля в различных направлениях. Они вычисляют положение и ориентацию датчика относительно магнитного потока при помощи трехосевых магнитометров. Величина напряжения или тока в катушках позволяет рассчитывать дальность и ориентацию датчиков [2].

Пример – система захвата движения Ascension Flock of Birds (рис. 2).

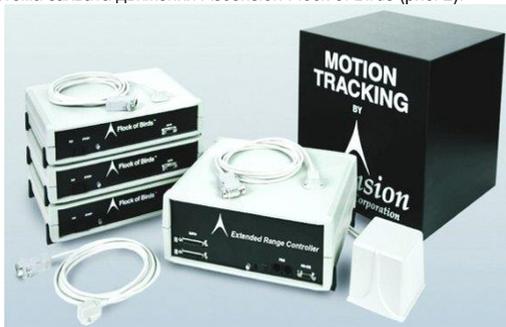


Рис. 2. Магнитная система Ascension Flock of Birds

2. Радиочастотные: метод обнаружения предмета или объекта в пространстве при помощи радиоволн, которые отражаются от окружающих предметов и возвращаются к радару в виде отраженных сигналов [3]. Наиболее перспективны на данный момент UWB-методы (Ultra-Wide Band) – беспроводная технология связи на малых расстояниях при низких затратах энергии, использующая в качестве несущей сверхширокополосные сигналы с крайне низкой спектральной плотностью мощности. Способы применения UWB представлены на рис. 3.



Рис. 3. Способы применения UWB

3. Акустические: используют ультразвуковые (высокочастотные) звуковые волны, измеряя их время пролета от передатчика к приемникам. Пример – система EVIDENCE Sound Recognition (рис. 4), которая представляет собой аппаратный комплекс, состоящий из внешнего микрофона и блока анализа сигнала, который подключается к серверу видеозаписи [3].

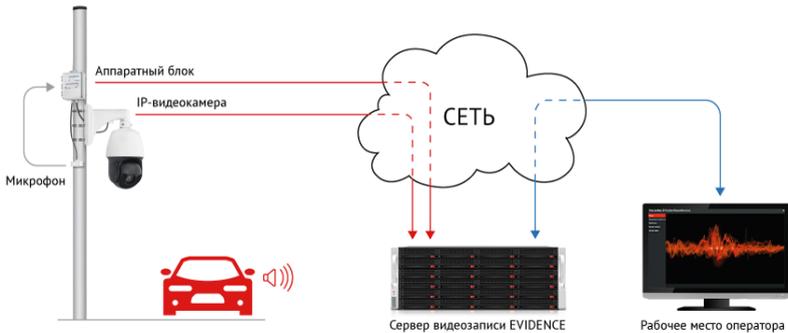


Рис. 4. Принцип работы EVIDENCE Sound Recognition

4. Оптические: совокупность алгоритмов компьютерного зрения и отслеживающих устройств, в роли которых выступают камеры видимого или инфракрасного диапазона.

Выделяют два подхода для отслеживания:

- Outside-in – присутствие неподвижного внешнего наблюдателя (камера), определяющего положение движущегося объекта по характерным точкам;
- Inside-out – наличие на движущемся объекте оптического сенсора, который отслеживает движение относительно неподвижных точек в окружающем пространстве [4].

Примером может выступать маркерная система Motion Capture (рис. 5) – подразумевает костюм с датчиками, данные с которых поступают в компьютер, где сводятся в единую трехмерную модель [5].

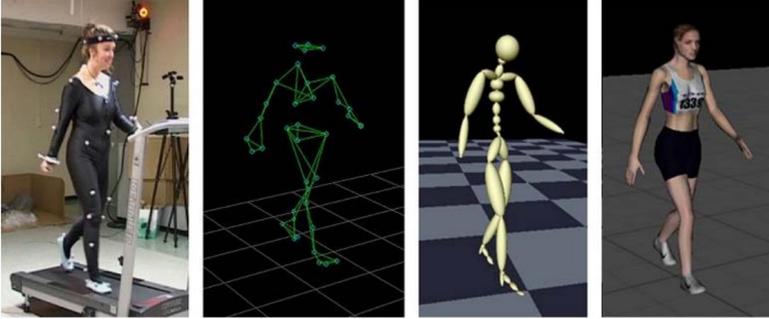


Рис. 5. Маркерная система Motion Capture

В основе инерциальных системы захвата движения лежит технология использования миниатюрных инерционных датчиков. Для измерения вращательного момента в них применяют гироскопы. Эти системы позволяют отслеживать шесть степеней свободы движения тела человека в режиме реального времени [6].

Наиболее перспективная группа датчиков – МЭМС (микроэлектромеханические сенсоры). Для измерения движений применяются датчики ускорения – акселерометры, которые реагируют на ускорение предмета, и датчики угловой скорости – гироскопы, реагирующие на изменение положения в пространстве.

### 5. Сравнение систем захвата движения

Сравним представленные системы слежения за положением человека в пространстве. Плюсы и минусы рассматриваемых дистанционных стационарных систем представлены в табл. 1.

Таблица 1

#### Характеристики дистанционных стационарных систем

Системы	Плюсы	Минусы
Магнитные	– использование одного датчика; – высокая точность в контролируемых условиях	– чувствительность к магнитным и электромагнитным помехам; – маленький объем захвата
Радиочастотные	– дальность; – низкие затраты энергии; – стойкость к неблагоприятным погодным факторам;	– невозможность размещения датчиков под металлическими и электропроводными поверхностями; – подверженность помехам в виде электромагнитных полей; – большой размер модуля
Акустические	– большой радиус действия (звуковых частот)	– низкая скорость обновления; – ограничение свободы перемещения; – зависимость скорости звука в воздухе от факторов внешней среды

Системы	Плюсы	Минусы
Оптические	<ul style="list-style-type: none"> <li>– бесконтактный метод контроля;</li> <li>– разная зона срабатывания</li> <li>– высокая скорость отклика;</li> <li>– возможность обнаружения объектов разных размеров и материалов;</li> <li>– нечувствительность к помехам</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– сравнительно небольшой объем захвата;</li> <li>– необходимость прямой видимости;</li> <li>– высокая стоимость.</li> </ul>

Плюсы и минусы носимых инерциальных систем представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Характеристики носимых инерциальных систем**

Плюсы	Минусы
<ul style="list-style-type: none"> <li>– малый разброс параметров в пределах изделия;</li> <li>– охвата неограниченной рабочей зоны для перемещений;</li> <li>– высокая технологичность и повторяемость;</li> <li>– микроминиатюрность;</li> <li>– высокая надежность и стойкость к внешним воздействиям;</li> <li>– низкая стоимость</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ошибки оценивания углов ориентации</li> </ul>

Биомеханика шейного отдела позвоночника имеет особенности, которые необходимо учитывать при диагностике нарушений и лечении в виде их коррекции.

Шейный отдел позвоночника, как и все другие его отделы, должен соответствовать двум противоположным механическим условиям: устойчивости и пластичности. Для определения расположения структур шейного отдела позвоночника человека следует использовать данные взаимного расположения датчиков (трехточечная система), представленные на рис. 6.

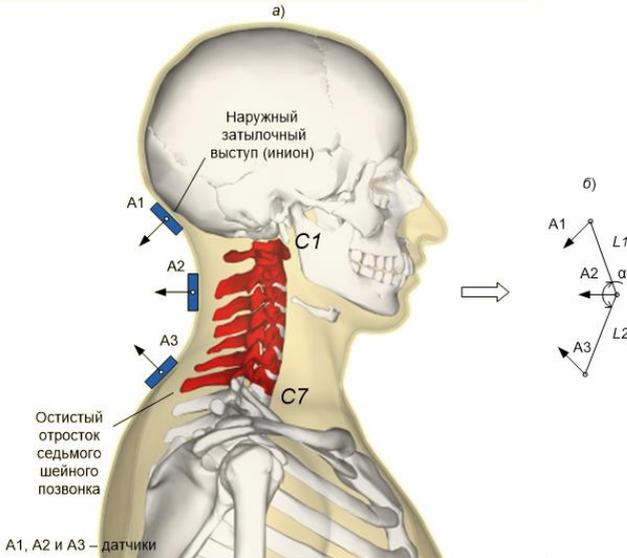


Рис. 6. Трехточечная система для определения расположения структур шейного отдела позвоночника человека

Наиболее полное использование результатов анализа и соблюдение требований к расположению системы отслеживания по отношению к шее человека при разработке аппаратно-программного комплекса возможно в носимых инерциальных системах, в частности МЭМС-датчиках.

## 6. Заключение

Приведены данные взаимного расположения датчиков (трехточечная система) для определения расположения структур шейного отдела позвоночника человека.

Для эффективного определения параметров взаимного расположения структур шейного отдела позвоночника человека и постоянного мониторинга положения, движений и наклонов головы человека требуется носимая мобильная система с небольшими габаритами, устойчивым потоком передачи данных и существенным временем работы автономно. Целесообразнее всего применять инерциальную систему акселерометров и гироскопов.

## Библиографический список

1. Невралгия шейного отдела: симптомы и методы лечения. URL: <https://nervovnet.com/nevralgiya-shejnogo-otdela-03/> (дата обращения: 02.12.2020).
2. Белоус А. Н., Рыбкин С. В. Алгоритмы функционирования и классификация систем захвата движения // Междунар. студ. науч. вестн. 2019. № 2.
3. Кармадонов В. Ю. Методы отслеживания положения в виртуальной реальности // Academy. 2019. № 12 (51). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-otslezhivaniya-polozheniya-v-virtualnoy-realnosti> (дата обращения: 31.05.2021).
4. Воронцова О. И., Баранец М. С. Исследование динамики движений головы и центра давления человека в основной стойке с применением технологии motion capture // ВНМТ. 2016. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-dinamiki-dvizheniy-golovy-i-tsentra-davleniya-cheloveka-v-osnovnoy-stoyke-s-primeneniem-tehnologii-motion-capture> (дата обращения: 31.05.2021).
5. Гайниров И. М., Обабков И. Н., Хлебников Н. А. Метод захвата движений как средство естественного интерфейса // Graphicon 2017: тр. 27-й Междунар. конф. по компьютер. графике и машин. зрению. Пермь, 24–28 сент. 2017 г. Пермь, 2017. С. 193–196.
6. Отслеживание и классификация движения головы по данным нашлемного инерциального измерительного модуля / А. И. Щеколдин, Н. Ю. Дема, А. Д. Шевяков, С. А. Колубин // Науч.-техн. вестн. информ. технологий, механики и оптики. 2017. № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otslezhivanie-i-klassifikatsiya-dvizheniya-golovy-po-dannym-nashlemnogo-inertsialnogo-izmeritelnogo-modulya> (дата обращения: 31.05.2021).

# ВОЕННЫЙ УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР

УДК 004.4

**Ю. Е. Алексеева**

студент Военного учебного центра

**В. В. Котович** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ЦИФРОВОЙ АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА НА ОСНОВЕ ПЛИС

Во многих практических случаях возникает потребность представления сигналов не только во временной, но и в частотной области. Частотное разделение радиосигналов основано на их спектральном представлении. Спектральный анализ радиосигналов – неотъемлемая часть успешного решения большинства радиотехнических задач. В настоящее время время разработано много современных цифровых анализаторов спектра, работающих в широком диапазоне частот, обладающих различной функциональностью и стоимостью.

Существует необходимость в создании точных, быстрых, компактных, портативных измерителей спектра сигнала, обладающих приемлемой стоимостью. Такой прибор является важным инструментом при обслуживании и эксплуатации различной радиоаппаратуры, а также служит для исследования и диагностики состояний механизмов и оборудования.

Измерение спектра сигнала основано на аналоговых и цифровых методах преобразования. Цифровые методы включают оцифровку сигнала и расчет спектра с использованием алгоритмов дискретного или быстрого преобразования Фурье (ДПФ и БПФ). Принцип действия цифрового анализатора спектра основан на преобразовании аналогового сигнала в цифровой и дальнейший анализ его спектра с помощью метода быстрого преобразования Фурье, который реализован на логике программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС, англ. FPGA) [2].

В основе алгоритма быстрого преобразования Фурье заложено разбиение заданной последовательности отсчетов дискретного сигнала на несколько промежуточных последовательностей. Выбор быстрого преобразования Фурье обоснован тем, что данный алгоритм позволяет резко уменьшить время спектрального анализа и синтеза за счет использования специальной техники комбинаций отсчетов функций, помноженных на заранее вычисленные множители, и учитывает периодичность значений тригонометрических функций.

Структурная схема анализатора спектра, реализующего метод быстрого преобразования Фурье на основе ПЛИС, приведена на рис. 1 [1, 2]. Устройство имеет канал аналогового ввода  $X_1$ , на который поступает полигармонический сигнал с частотами гармоник в диапазоне: 500 кГц – 25 МГц. Со входа сигнал поступает на антиалайзинговый фильтр нижних частот, подавляющий частоты сигнала выше частоты среза 50 МГц.

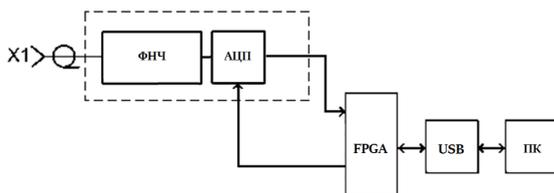


Рис. 1. Структурная схема цифрового анализатора спектра

Для оцифровки аналогового сигнала используется АЦП. Частота дискретизации сигнала зависит от частоты тактирования АЦП, которую задает ПЛИС (FPGA). Задача ПЛИС – опрос АЦП на рабочей частоте 50 МГц, формирование массива данных в течение заданного интервала времени (форми-

рование выборки отсчетов) и предварительная цифровая обработка этого массива (решение алгоритма быстрого преобразования Фурье). В дальнейшем обработанный массив данных, передается в ПК через микросхему преобразователя USB. Использование ПК позволяет расширить экранные функции по наглядному отображению результатов преобразования сигналов.

От частоты дискретизации сигнала при реализации алгоритма быстрого преобразования Фурье зависит разрешающая способность спектра сигнала:

$$\Delta f = \frac{f_s}{N} = \frac{1}{N\Delta t}, \quad (1)$$

где  $\Delta f$  – разрешающая способность по частоте спектра сигнала;  $f_s$  – частота дискретизации;  $N$  – число отсчетов в выборке;  $\Delta t$  – интервал времени между выборками;  $N\Delta t$  – полное время получения выборки.

Чтобы улучшить разрешающую способность по частоте, т. е. уменьшить  $\Delta f$ , необходимо увеличить количество отсчетов в выборке  $N$  и сохранить постоянной частоту дискретизации  $f_s$ , либо необходимо уменьшить  $f_s$ , сохранив  $N$ . Оба подхода эквивалентны увеличению длительности  $N\Delta t$ , которая определяет продолжительность выборки. Увеличение числа отсчетов  $N$  ограничено размером ОЗУ, потому наиболее предпочтительно уменьшение частоты дискретизации при измерении низкочастотного сигнала.

В рамках поставленной задачи в программе Altium Designer была собрана электрическая принципиальная схема (рис. 2) входного устройства цифрового анализатора спектра и проведено моделирование аналоговой части схемы в программе Multisim (рис. 3) [3].

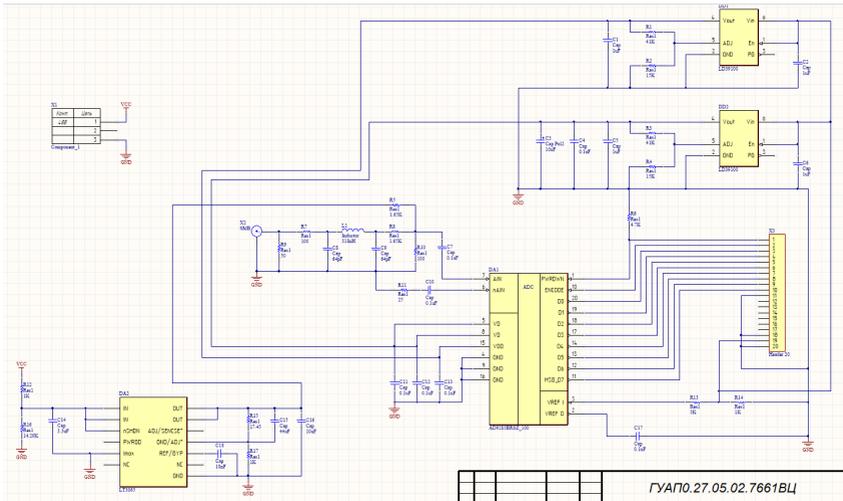


Рис. 2. Электрическая принципиальная схема входного устройства цифрового анализатора спектра

По результатам моделирования были подобраны номинальные значения элементов схемы входного устройства цифрового анализатора спектра.

Для программирования логики работы ПЛИС в программной среде Quartus II Web Edition была собрана логическая схема анализатора спектра, реализующая алгоритм быстрого преобразования Фурье (рис. 4).

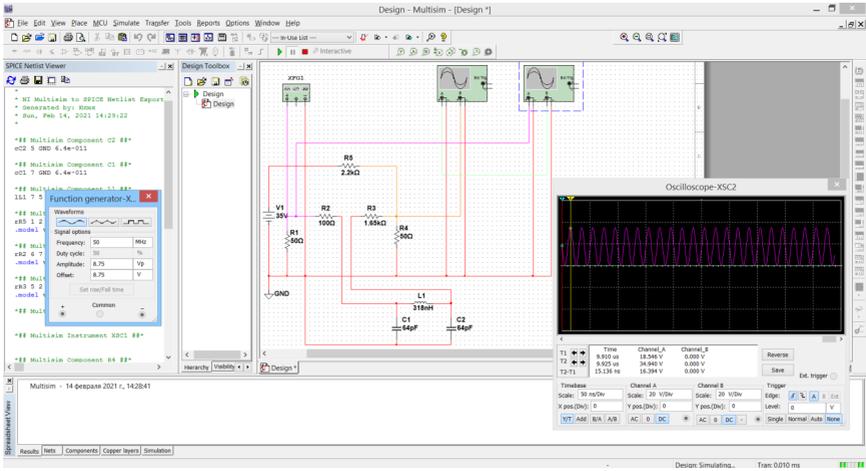


Рис. 3. Модель аналоговой части схемы входного устройства цифрового анализатора спектра

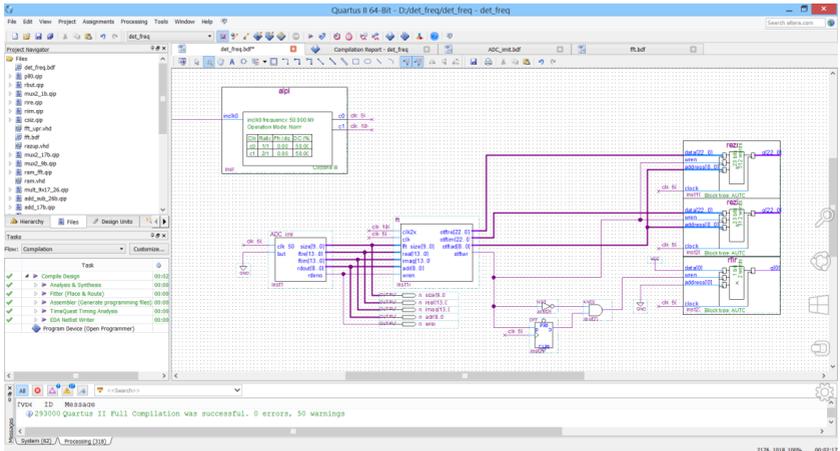


Рис. 4. Логическая схема быстрого преобразования Фурье (верхний уровень ПЛИС)

Были произведены компиляция проекта и прошивка ПЛИС на отладочной плате.

Была разработана трехмерная виртуальная модель входного устройства анализатора спектра в САПР SolidWorks (рис. 5).

Внешний вид анализатора спектра, содержащего отладочную плату и входное устройство, представлен на рис. 6.

Проведено исследование спектра реального сигнала с помощью анализатора спектра и исследование спектра виртуального сигнала с аналогичными параметрами в программе MatLab (рис. 7).

## ВОЕННЫЙ УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР

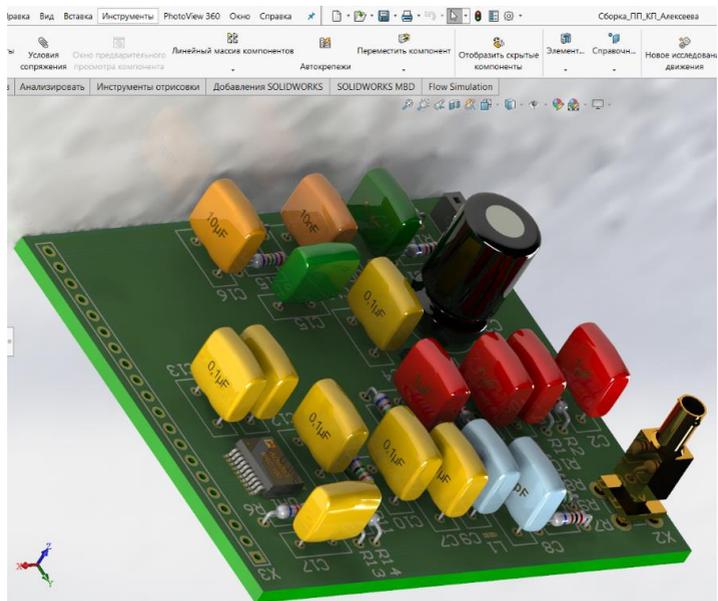


Рис. 5. Трехмерная модель печатной платы



Рис. 6. Внешний вид цифрового анализатора спектра



Рис. 7. Анализ спектра с использованием отладочной платы с ПЛИС и анализ спектра в программе Matlab

Полученные данные сравнительного анализа результатов измерения спектра реального сигнала с помощью цифрового анализатора спектра и виртуального сигнала в программе MatLab на различных частотах дискретизации представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Сравнительный анализ характеристик устройства**

Частота подаваемого сигнала, МГц	Частота дискретизации, МГц	Частота результата Фурье, МГц	Результат амплитуды Matlab, ед.	Результат амплитуды Фурье с ПЛИС, ед.	Разность результатов амплитуды сигнала, ед.
0,1	50	0,195 3	$1\ 367 \cdot 10^3$	$1\ 365,4 \cdot 10^3$	1 241
0,1	100	0,195 3	$1\ 367 \cdot 10^3$	$1\ 365,4 \cdot 10^3$	1 241
5	50	5,078 0	$1\ 587 \cdot 10^3$	$1\ 586 \cdot 10^3$	1 300
5	100	5,078 0	$1\ 587 \cdot 10^3$	$1\ 586 \cdot 10^3$	1 300
25	100	25,000 0	$2\ 097 \cdot 10^3$	$2\ 096 \cdot 10^3$	1 025
45	100	44,920 0	$1\ 587 \cdot 10^3$	$1\ 586 \cdot 10^3$	1 298

Из анализа полученных данных ясно, что разрабатываемое устройство во всем исследуемом диапазоне частот имеет сравнительно небольшую погрешность измерения характеристик спектра сигнала. Оптимально для данных условий анализа число отсчетов в выборке  $N = 512$ .

Сравнительный анализ полученных спектров сигналов позволяет сделать вывод о правильности работы цифрового анализатора спектра.

**Библиографический список**

1. Радиотехника: энциклопедия / под. ред. Ю. Л. Мазора, Е. А. Мачусского, В. И. Правды. М.: Додэка-XXI, 2012.
2. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов: пер. с англ.- 2-е изд. М.: Бином-пресс, 2016.
3. Суходольский В. Ю. Altium Designer: проектирование функциональных узлов РЭС на печатных платах. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 480 с.

УДК 621.37

**М. Т. Гасанбеков**

студент Военного учебного центра

**В. В. Скуратов** – научный руководитель

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ ВО ВСЕВЫСОТНОМ ОБНАРУЖИТЕЛЕ В СЛУЧАЕ КОМБИНАЦИИ ТРИАНГУЛЯЦИОННОГО МЕТОДА С РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНЫМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДВУХ КОМПЛЕКСОВ ПАССИВНОЙ ЛОКАЦИИ**

**Введение**

Цель работы – разработка алгоритма повышения точности местоопределения воздушных объектов во всевысотном обнаружителе с учетом комбинации триангуляционного метода с разностно-дальномерным при использовании двух комплексов пассивной локации, обеспечивающего повышение точности измерения дальности до обнаруженного воздушного объекта (ВО).

Поставленная цель достигается путем наращивания количества приемных пунктов и применением комбинации двух методов определения местоположения – триангуляционного (угломерного) и разностно-дальномерного (гиперболического) в двух комплексах пассивной локации, каждый из которых состоит из центрального пункта и трех вынесенных на базу  $b$  приемных пунктов (ВПП). Две гиперболические системы объединяются в триангуляционную систему с базой  $B$  (рис. 1) [1].

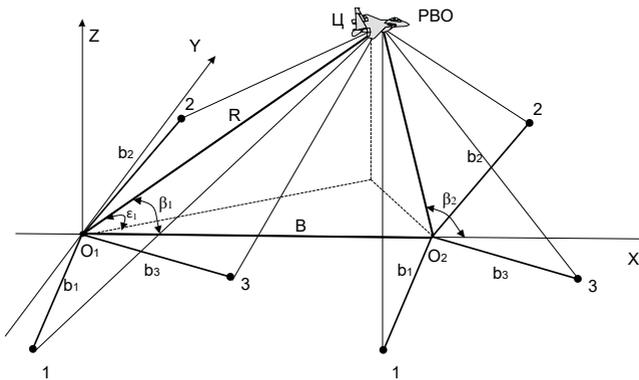


Рис. 1. Система пассивной локации из двух комплексов пассивной локации

На рис. 1 изображена система пассивной локации, включающая два комплекса пассивной локации, каждый из которых состоит из центрального пункта  $O_1, O_2$  и трех вынесенных 1, 2, 3 на базу  $b$  приемных пунктов (ВПП). Две гиперболические системы объединяются в триангуляционную систему с базой. В точке  $\text{Ц}$  находится радиоизлучающий воздушный объект (РВО). На фигуре, кроме того, изображены:

1, 2, 3 – выносные приемные пункты (ВПП),

$O_1, O_2$  – центральный пункт приема первого и второго комплекса пассивной локации соответственно,

$b$  – база между комплексами 1 и 2,

$b_1, b_2, b_3$  – базы между выносными приемными пунктами,

$\epsilon_1, \beta_1$  – угол места и азимут РВО, измеренные комплексом 1,

$\beta_2$  – азимут РВО, измеренный комплексом 2,

$R$  – дальность до РВО.

Предлагаемый **алгоритм предполагает выполнение следующих этапов:**

– **на первом этапе** вычисляются пеленги (угловые координаты) воздушного объекта (азимут  $\beta$  и угол места  $\varepsilon$ ) в каждом из комплексов:

$$\varepsilon = \arccos \sqrt{\frac{n_1^2 + n_2^2 - 2n_1n_2 \cos \varphi_3}{\sin^2 \varphi_3}}, \quad (1)$$

$$\beta = \arctg \frac{n_1 \cos \alpha_2 - n_2 \cos \alpha_1}{n_2 \sin \alpha_1 - n_1 \sin \alpha_2}, \quad (2)$$

где  $b_i$  – базы;  $\alpha_i$  – углы, характеризующие направление баз в плоскости;  $\Delta R_i$  – разность наклонных дальностей от приемных пунктов до РВО,  $i = 1, \dots, 3$ ;

$$n_i = \frac{b_i^2 - (\Delta R_i)^2}{2R_1 b_i} - \frac{\Delta R_i}{b_i}, \quad \varphi_1 = a_3 - a_2, \quad \varphi_2 = a_1 - a_3, \quad R_1 = \frac{\sum_{i=1}^3 [b_i^2 - (\Delta R_i)^2] \sin \varphi_i}{2 \sum_{i=1}^3 \frac{\Delta R_i \sin \varphi_i}{b_i}}; \quad (3)$$

– **на втором этапе** рассчитывается дальность до РВО,  $R = f(\beta, \varepsilon)$ , триангуляционным методом:

$$R = \frac{B}{\cos \varepsilon_1 (\cos \beta_1 - \sin \beta_1) \operatorname{ctg}(180 - \beta_2)}, \quad (4)$$

где  $B$  – база между комплексами 1 и 2,  $\varepsilon_1, \beta_1$  – угол места и азимут РВО, измеренные комплексом 1,  $\beta_2$  – азимут РВО, измеренный комплексом 2.

В результате выражение для расчета дальности до РВО будет выглядеть следующим образом:

$$R = \frac{B}{\sqrt{\frac{n_1^2 + n_2^2 - 2n_1n_2 \cos \varphi_3}{\sin^2 \varphi_3} \left( \cos \left[ \arctg \left( \frac{n_1 \cos \alpha_2 - n_2 \cos \alpha_1}{n_2 \sin \alpha_1 - n_1 \sin \alpha_2} \right) \right] - \sin \left[ \arctg \left( \frac{n_1 \cos \alpha_2 - n_2 \cos \alpha_1}{n_2 \sin \alpha_1 - n_1 \sin \alpha_2} \right) \right] \right) \times \left( \operatorname{ctg} 180 - \arctg \left( \frac{n_1 \cos \alpha_2 - n_2 \cos \alpha_1}{n_2 \sin \alpha_1 - n_1 \sin \alpha_2} \right) \right)}.$$

Предложенную комбинацию триангуляционного и разностно-дальномерного методов будем называть комбинированным методом [2]. Для проверки его эффективности проведена оценка точности измерения дальности до РВО.

Для частных, но типовых значений отдельных параметров, характеризующих реальные условия локации РВО, на ЭВМ с помощью программы *Mathcad 2000 Professional* возможно выполнить расчеты с целью оценки дальности до радиоизлучающего воздушного объекта различными методами.

При расчетах предположим, что высота полета воздушного объекта  $H = 10$  км, величина базы между ВПП  $b = 5$  км, величина базы между ЦПП  $B$  равна 50 км, СКО первичных измерений азимута составляет 0,01 град., СКО разности хода – 1 м.

Анализ кривых  $\sigma_d(\beta)$ , характеризующих точность измерения дальности до объекта (рис. 2), позволяет сделать вывод о том, что применение комбинированного метода позволяет снизить ошибку измерения дальности  $\sigma_d$  более чем в 10 раз по сравнению с использованием триангуляционного метода и в 7 раз по сравнению с использованием разностно-дальномерного метода.

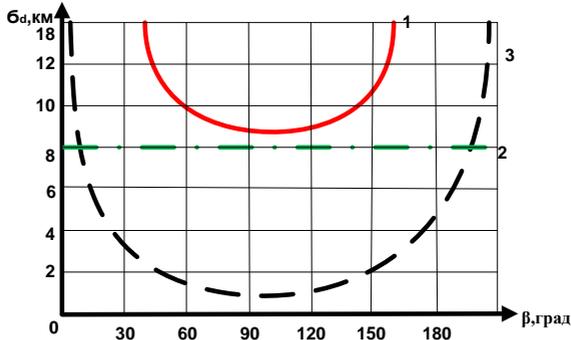


Рис. 2. Иллюстрация кривых, характеризующих точность измерения дальности до радиоизлучающего воздушного объекта методами, используемыми при ведении пассивной локации: кривая 1 – ошибка измерения дальности триангуляционным методом, кривая 2 – ошибка измерения дальности разностно-дальномерной системой, кривая 3 – ошибка измерения дальности комбинированным методом

Таким образом, предлагаемый алгоритм обеспечивает повышение точности измерения дальности до РВО за счет наращивания количества приемных пунктов и применения комбинации двух методов определения местоположения – триангуляционного и разностно-дальномерного в системе из двух комплексов пассивной локации. Этим достигается сформулированная цель – повышение точности измерения дальности до обнаруженного воздушного объекта.

### Заключение

Предлагаемый алгоритм обеспечивает повышение точности измерения дальности до радиоизлучающего воздушного объекта (РВО) за счет наращивания количества приемных пунктов и применения комбинации двух методов определения местоположения – триангуляционного и разностно-дальномерного в системе из двух комплексов пассивной локации. Этим достигается сформулированная цель – повышение точности измерения дальности до обнаруженного воздушного объекта.

Реализация комбинированного метода и, следовательно, повышение точности определения координат, предполагают лишь изменение алгоритмов работы уже имеющихся комплексов радиолокационной системы и не требуют изменения их аппаратной части, что привело бы к увеличению их стоимости.

### Библиографический список

1. Мельников Ю. П., Попов С. В. Радиотехническая разведка. Методы оценки эффективности местоопределения источников излучения. М.: Радиотехника, 2008. 432 с.
2. Лешко Н. А., Цыбульник А. Н. Радиотехническая разведка и скрытая радиолокация. Ярославль: Изд. ЯГПУ им. К. Д. Ушинского, 2006. 152 с.

УДК 629.7

**А. С. Демиденко**

студент Военного учебного центра

**А. В. Старостин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## **СНИЖЕНИЕ ЗАМЕТНОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ АКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ**

В настоящее время активно развиваются и совершенствуются летательные аппараты (ЛА) военного назначения, обретая все новые возможности и технические решения. Вместе с тем параллельным курсом в развитии следуют и средства поражения их, а именно управляемые ракеты (УР) разных классов с обязательным наличием головки самонаведения (ГСН).

Современные ЛА уже на этапе проектировки включают методы пассивного снижения заметности, но несмотря на это, необходимо предусмотреть способы активной защиты и сокрытия ЛА в случаях обнаружения или невозможности установки пассивных средств снижения заметности.

Анализ боевого применения УР класса «воздух – воздух», «земля – воздух», а также средств и способов защиты ЛА от атакующих ракет противника показывает, что на современном этапе практически во всех зарубежных странах разработки при выборе типа ГСН для новых ракет, остановились на тепловизионных следящих координаторах с использованием матричных фотоприемных устройств и двухспектральных ГСН с комбинированием инфракрасного и ультрафиолетового каналов. При этом современная элементная база данных ГСН служит основой УР пятого поколения. Главными преимуществами УР, оснащенных ГСН перечисленных типов, являются: значительное поле обзора, обеспечение распознавания образов целей и их идентификация, возможность использования режимов автоматического прицеливания и высокая помехоустойчивость. Все это требует модернизации средств защиты ЛА. На сегодняшний момент средства защиты ЛА от УР класса «воздух – воздух», «земля – воздух» реализованы в бортовых комплексах обороны [1].

Летательные аппараты до сих пор остаются уязвимой целью для средств поражения. Один из путей решения данной проблемы – разработка и применение методов активной защиты для снижения заметности ЛА.

В аэрокосмической отрасли, особенно в области создания реактивных двигателей для военной, транспортной авиации, а также для ракетной техники с прямоточными воздушно-реактивными двигателями важным направлением стало снижение заметности в инфракрасном (ИК) и видимом диапазонах с целью срыва захвата цели тепловой головкой самонаведения ракеты, запущенной противником или террористами. Особенно это важно на режиме взлета, набора высоты и подлета к цели, когда маневр ЛА ограничен, а расстояние до земли мало. Отметим, что не всегда возможно сильно менять конфигурацию двигателя, например переходить к щелевому соплу только в угоду снижения заметности, так как при такой замене сильно пострадает экономичность двигателя, которая важна, в частности, для транспортных, гражданских воздушных судов.

Рассмотрим отдельные методы и способы активного снижения заметности или введения в заблуждение относительно местоположения летательного объекта.

Способ снижения заметности в видимом и инфракрасном диапазоне электромагнитных волн, излучаемых горячими продуктами сгорания реактивного топлива, заключается в создании защитного аэрозольного облака и искусственных высококонцентрированных зеркал для дезинформации УР с ГСН (рис. 1). В качестве частиц, образующих аэрозольное облако, используют жидкие частицы, которые формируются путем введения в поток продуктов сгорания ионов с использованием генератора ионов. В процессе генерирования ионов обеспечивается их перемешивание с продуктами сгорания для образования в потоке продуктов сгорания жидких частиц [2].

В результате уже наведенная УР на этапе полета к ЛА с задней полусферы фактически попадает в аэрозольное облако высокой температуры и плотности, утрачивая возможность выполнения изначальной задачи.

В оптическом диапазоне возможно применение метода маскировки, за счет снижения заметности путем изменения оптических характеристик элементов поверхности летательного аппарата. Сущность метода заключается в снижении оптической заметности за счет устранения погрешностей в определении регулировочных характеристик, обеспечивающих минимальный контраст элементов поверхности ЛА с фоном наблюдения.

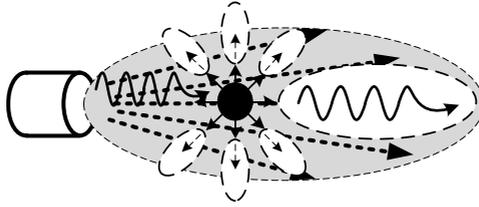


Рис. 1. Создание защитного аэрозольного облака

На основании анализа изображения ЛА по направлению возможного его наблюдения противником на борту вспомогательного летательного аппарата выделяются видимые элементы поверхности ЛА и формируются команды для средств снижения оптической заметности, в качестве которых могут использоваться распределенные по поверхности источники света, электрохромные покрытия, оптические характеристики которых изменяются под воздействием электрических управляемых сигналов, управляемые полимерные покрытия и другие известные средства снижения оптической заметности, обеспечивающие изменение оптических характеристик элементов поверхности ЛА (рис. 2) [3].

Роль вспомогательного ЛА может выполнять специальный или любой находящийся в боевом строю ЛА, оборудованный средствами получения и передачи изображений, который должен находиться на линии визирования защищаемого.

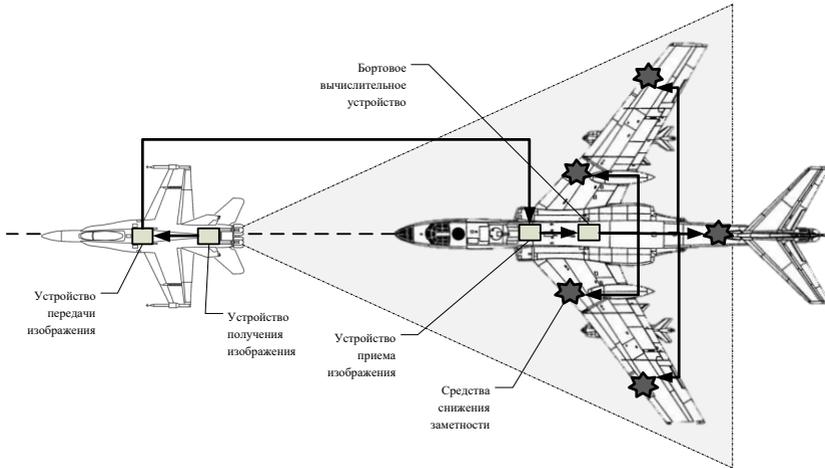


Рис. 2. Метод изменения оптических характеристик элементов поверхности

Указанная совокупность отличительных существенных признаков благодаря управлению уровнем заметности ЛА на основании его же изображения, зарегистрированного и переданного на его борт, а также за счет получения точной и объективной информации о его контрастном образе и наличия обратной связи между устройством управления и зарегистрированным изображением позволяет повысить эффективность способа снижения оптической заметности ЛА.

Способ активной нейтрализации излучения заключается в анализе радиолокационных параметров сигналов, направляемых на ЛА, с целью генерирования и излучения ответного радиолокационного сигнала

равной величины, но в противофазе. Это приведет к аннулированию суммарного радиолокационного сигнала, отраженного системой противодействия.

Основными средствами управления рассеиванием являются управляющие покрытия и структуры, размещаемые на поверхности объекта или вблизи его. Наиболее распространенными конструкциями управляющих структур являются управляемые экраны и отражатели-антенны всех типов. Эффекты управляемого рассеивания обеспечиваются сравнительно простыми средствами с помощью малогабаритных, экономичных управляемых диодных элементов, расположенных в области фокусировки лучей.

Один из наиболее эффективных и легкорезализуемых способов активной защиты ЛА от обнаружения противником – метод постановки уведящих помех. Суть применяемого в настоящее время метода заманивания заключается в запуске облака дипольных противорадиолокационных отражателей ЛА (рис. 3). Данное облако создает вторичное радиолокационное изображение для создания ложной цели. Однако данный метод сложно реализовать в морских условиях из-за нестабильной метеобстановки, по причине которой облако дипольных отражателей может переместиться в нежелательном направлении. Кроме того, многие образцы современных УР оборудованы системами противодействия, фиксируясь на исходной цели [4].



Рис. 3. Метод постановки уведящих помех

Таким образом, на современных уязвимых для ракет летательных аппаратах необходимым условием жизнеспособности является применение методов по снижению заметности как в пассивном варианте, так и в виде активных систем подавления возможности противником обнаружения летательных аппаратов.

#### Библиографический список

1. Лебедев В. В., Беличук А. А., Пашко А. Д. Способ боевого применения активных элементов защиты летательного аппарата от управляемых ракет противника и устройство для его реализации // Воздуш.-косм. силы. Теория и практика. 2018. № 5 (5). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposob-boevogo-primeneniya-aktivnyh-elementov-zaschity-letatel'nogo-apparata-ot-upravlyаемых-raket-protivnika-i-ustroystvo-dlya-ego> (дата обращения: 27.03.2021).
2. Патент РФ 2015135344, 21.08.2015. Старик А. М., Кулешов П. С. Способ снижения заметности летательного аппарата // Патент России № 2609816. 06.02.2017. Бюл. № 4.
3. Патент РФ 2006107800/02, 13.03.2006. Афанасьева Е. А., Понькин А. А. Способ снижения оптической заметности летальных аппаратов // Патент России № 2313757. 27.12.2007. Бюл. № 36.
4. Состояние и перспективы снижения заметности вооружения и военной техники / В. Г. Керков, В. А. Воронов, В. А. Понькин, А. П. Ярыгин // Воен. мысль 2005. № 8. URL: <https://dlib.eastview.com/browse/doc/8227779> (дата обращения: 5.04.2021).

УДК 53.082.52

**А. В. Добрицкая**

студент Военного учебного центра

**В. В. Котович** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОСВЕЩЕННОСТИ

Для эффективной работы и учебы человеку необходимо оптимально подобранное освещение рабочего места, поскольку именно с помощью глаз происходит получение большей части (80–85 %) необходимой информации. Освещение помещения должно соответствовать требованиям ГОСТ Р 55710–2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений» [1]. Он устанавливает нормы искусственного освещения рабочих мест внутри зданий при проектировании, реконструкции и эксплуатации осветительных установок и методы их измерений. Невыполнение требований ГОСТ Р 55710–2013 может привести к ухудшению функционирования зрительного аппарата, а также негативно повлиять на психику человека и его эмоциональное состояние, поэтому требуется периодически контролировать параметры освещения.

В соответствии с ГОСТ Р 56228–2014 «Освещение искусственное. Термины и определения» *освещение* – это использование света для того, чтобы сделать видимыми объекты и/или их окружение. Различают количественные и качественные показатели освещения. Одним из основных количественных показателей является освещенность.

В соответствии с ГОСТ 24940–2016 «Здания и сооружения. Методы измерения освещенности» *освещенность E*, лк, – это физическая величина, определяемая отношением светового потока, падающего на элемент поверхности, содержащий рассматриваемую точку, к площади этого элемента.

$$E = \frac{\Phi}{S},$$

где *E* – освещенность, лк;  $\Phi$  – световой поток, лм; *S* – площадь поверхности, м<sup>2</sup>.

Один из основных качественных показателей освещения – *коэффициент пульсации освещенности Kп*, это критерий глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока.

Для измерения как перечисленных показателей освещения, так и других, используют фотометрические устройства, которые называют люксметрами [2, 3]. Принцип работы люксметра заключается в преобразовании светового потока в электрическую энергию. В настоящее время не существует дешевых и малогабаритных люксметров. Поэтому задача разработки цифрового прибора для измерения освещенности и коэффициента пульсации актуальна. Предлагаемый люксметр позволяет корректировать пределы измерений освещенности с помощью кнопок и выводить значения измеряемых параметров освещения на жидкокристаллический дисплей.

Структурная схема предлагаемого люксметра представлен на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема люксметра

Схема состоит из пяти блоков, каждый из которых выполняет свои функции. Сигнал с генератора поступает на микроконтроллер для задания тактовой частоты. Микроконтроллер запускает датчик освещенности – приемник оптического излучения, чувствительным элементом которого является фотодиод. Датчик освещенности обладает повышенным быстродействием и чувствительностью к длинноволновой части оптического спектра, более широким динамическим диапазоном и линейной характеристикой. Сигнал с датчика усиливается и поступает на вход АЦП микроконтроллера. После этого микроконтроллер в течение заданного интервала времени вычисляет максимальное (max) и минимальное (min) значения напряжения с датчика, а также рассчитывает среднеквадратичное значение освещенности в люксах и значение коэффициента пульсации в процентах. Полученные значения измеренных параметров освещения выводятся на LCD-дисплей.

В качестве элементной базы данного устройства предлагается использовать:

- микроконтроллер ATmega8, обладающий малым энергопотреблением, достаточным объемом памяти и быстродействием;
- жидкокристаллический дисплей LM016L, простой в эксплуатации;
- датчик освещенности ФД263-01, содержащий кремниевый фотодиод инфракрасного диапазона и усилитель.

Алгоритм работы программы для микроконтроллера представлен на рис. 2.

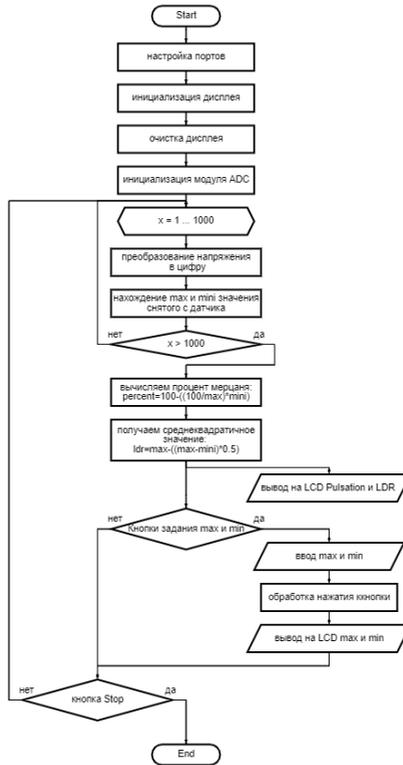


Рис. 2. Алгоритм работы программы

Алгоритм программы позволяет решить поставленную задачу с использованием светозависимого фотодиода. При включении устройства происходят настройка портов на ввод-вывод данных, инициализация дисплея, а затем его очистка и инициализация модуля АЦП (ADC). Далее в цикле, состоящем из 1 000 вычислений, АЦП преобразовывает напряжение с датчика в код, присваиваются значения измеряемых напряжений элементам массива, вычисляется максимальное и минимальное значения массива. По окончании цикла вычисляется значение коэффициента пульсации в процентах и средне-квадратичного значения освещенности. Полученные результаты выводятся на экран LCD-дисплея.

Одновременно по окончании вычислений программа анализирует нажатие кнопок оператором, которые устанавливают предельные допустимые значения диапазона освещенности, выводит эти значения на LCD-дисплей и сравнивает вычисленное значение освещенности с предельными значениями, введенными оператором. Если вычисленное значение освещенности превысит предельные значения, то микроконтроллер выдаст сигнал на светодиод, который загорится красным цветом, в противном случае светодиод продолжит светить зеленым цветом.

Программа продолжит цикл вычислений, пока оператор не нажмет кнопку Stop.

Все необходимые расчеты и моделирование работы цифрового люксметра производилось в программах Proteus 8 Professional и AltiumDesigner 15.0.

На рис. 3 представлена упрощенная схмотехническая модель устройства для измерения освещенности.

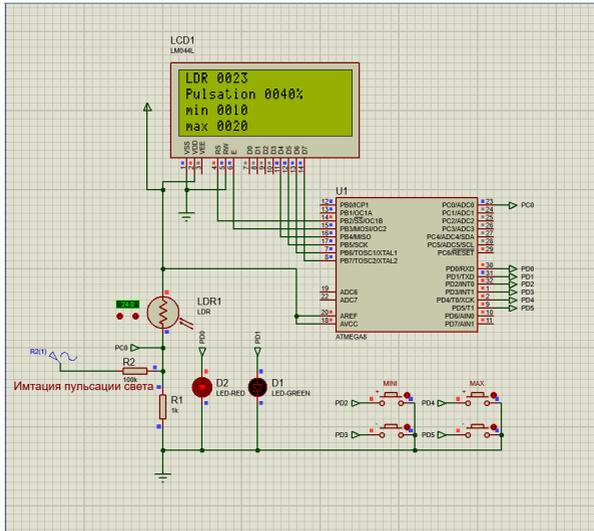


Рис. 3. Модель устройства в программе Proteus 8 Professional

В данной модели вместо датчика освещенности BH1750 используется фотодиод LDR1, а R2(1) – генератор синусоидальных сигналов, который был использован в качестве элемента, имитирующего низкочастотные пульсации света. На схеме микроконтроллер Atmega8 обозначается как U1, жидкокристаллический дисплей LM044L – LCD1.

Группа кнопок MINI и MAX позволяет выставить минимальное и максимальное значение предела измерения освещенности, а диоды LED-GREEN D1 и LED-RED D2 сигнализируют о превышении значения заданного предела измерения освещенности.

После построения модели было проведено моделирование работоспособности измерительного устройства, подобраны диапазоны изменения внешних и внутренних параметров схемы и элементная база.

Проведенные исследования модели и анализ элементной базы позволяют разработать компактный, недорогой цифровой прибор для измерения освещенности и коэффициента пульсации. В дальнейшем прибор можно практически использовать в учебном процессе при подготовке специалистов-метрологов.

#### **Библиографический список**

1. ГОСТ Р 55710–2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200105707>.
2. ГОСТ Р 55839–2013 «Источники света и приборы осветительные. Методы светотехнических измерений и формат представления данных». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200107492>.
3. Гуторов М. М. Основы светотехники и источники света. М.: Энергоатомиздат, 1983. 384с.

УДК 004.4

**Н. А. Дубина**

студент Военного учебного центра

**Е. М. Домбровский** – преподаватель – научный руководитель

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ ИМИТИРУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН**

В настоящее время радиолокация применяется во многих областях военной и гражданской техники и представляет собой область радиотехники, обеспечивающую радиолокационное наблюдение различных объектов путем использования отраженных или переизлученных объектами радиоволн либо их собственного радиоизлучения.

Для решения задач радиолокации, основными из которых являются задачи обнаружения, измерения координат, разрешения и распознавания, создаются как отдельные радиолокационные станции (РЛС), так и их системы, реализующие методы активной и пассивной радиолокации. Этапы обработки радиолокационной информации (РЛИ), которая представляет собой совокупность сведений о наличии объектов радиолокации в отдельных областях пространства, их координатах и других параметрах движения, о государственной принадлежности, полетной информации, о классе, числе целей и их характеристиках, традиционно делят на этапы первичной, вторичной и третичной обработки [1].

РЛС являются первичными источниками РЛИ и решают задачи первичной и вторичной обработки информации об объектах локации. От качества решения задач первичной обработки зависит результат последующих этапов.

В целом процесс первичной обработки РЛИ включает следующие функционально законченные операции, которые выполняются на основе сигналов, попавших в разрешенный объем зоны обнаружения, полученных в текущем периоде обзора одной РЛС [2]:

- принятие решения о наличии или отсутствии объекта локации в каждом выделенном элементе пространства с минимальными вероятностями ошибок;
- оценка координат и других параметров движения объекта локации с минимальными вероятными погрешностями;
- обнаружение и измерение параметров определенного объекта локации в условиях присутствия других объектов;
- установление принадлежности объекта локации к определенному классу.

Указанные операции могут выполняться как в автоматизированном, так и в автоматическом режиме работы РЛС.

Возможности современных РЛС позволяют с большой точностью измерять координаты объектов локации, следить за их движением, определять не только формы объектов, но и структуру их поверхности. Однако, наряду с этим, неуклонно возрастают требования к уровню и качеству профессиональной подготовленности операторов РЛС. Подготовка операторов РЛС в условиях постоянной модернизации станций, занимает достаточно длительное время. Человеческий фактор остается основной причиной ошибочных действий, в связи с чем необходимо обеспечивать высокий уровень подготовки операторов.

В современных тренажерах и программах подготовки и обучения, на них основанных, закладываются принципы развития практических навыков с одновременной теоретической подготовкой. Реализация такого подхода стала возможна в связи с бурным развитием и удешевлением электронно-вычислительной техники и прогрессом в области создания виртуальной реальности. На базе этих технологий разработаны многочисленные тренажеры для военного применения, позволяющие имитировать боевые действия с высочайшей детальностью в реальном времени, создано множество приложений технологии виртуальной реальности для медицины, позволяющих проводить операции электронному пациенту с высокой степенью достоверности и многое другое, при этом области применения тренажерных технологий постоянно расширяются [3].

Подготовка операторов РЛС с использованием тренажерных комплексов позволяет конкурировать с подготовкой на реальной аппаратуре.

Тренажеры представляют собой программно-аппаратные имитирующие комплексы, которые позволяют:

- использовать модели имитации реальной радиолокационной обстановки;
- изучать режимы работы РЛС;
- на примере тестовых задач отрабатывать все возможные варианты действий в реальной обстановке, во внетатных ситуациях, часть из которых невозможно отработать в реальной обстановке;
- мгновенно менять условия и останавливать выполнение задач.

Подготовка с использованием программно-аппаратных имитирующих комплексов позволяет сохранить назначенный ресурс радиоэлектронной техники, обеспечить защиту от неправильных действий обучающегося, которые могут привести к выходу из строя дорогостоящего оборудования. Анализ существующих тренажерных комплексов показал, что в основном это программно-имитирующие системы, которые позволяют осуществить подготовку специалистов в той или иной области только в рамках выполнения практических действий.

В большинстве случаев требования к современным тренажерным системам и комплексам в настоящее время весьма жесткие, и перекрыть все имеющиеся нужды средствами одной лишь компьютерной графики невозможно. Поэтому законченная современная тренажерная система должна включать, помимо средств «зрительной симуляции», средства «чувствительной симуляции».

Можно определить состав предлагаемого аппаратно-программного комплекса (АПК), представленный на рис. 1.



Рис. 1. Состав аппаратно-программного комплекса

Аппаратная часть должна включать:

- устройство, моделирующее работу системы вращения антенны РЛС;
- устройство, моделирующее работу приемопередающего тракта РЛС;
- устройство, моделирующее работу тракта информационного сопряжения РЛС с потребителем РЛИ;
- устройство сбора и обработки информации.

Программная часть должна включать:

- программное обеспечение, обрабатывающее и интерпретирующее данные работы приемопередающего тракта;
- программное обеспечение, обрабатывающее и интерпретирующее данные работы системы вращения;
- программное обеспечение, обрабатывающее и интерпретирующее данные работы тракта сопряжения;
- программное обеспечение визуализации результатов работы АПК.

Перечень задач, решаемых основными элементами предлагаемого АПК, позволяет определить следующую структуру комплекса с управлением на базе микроконтроллера (рис. 2):

- шаговый двигатель;
- передающее устройство;
- приемное устройство;
- радиомодуль передачи;
- радиомодуль приема;
- модуль синхронизации по вращению;

- модуль формирования сигналов воздушной обстановки;
- устройство отображения.

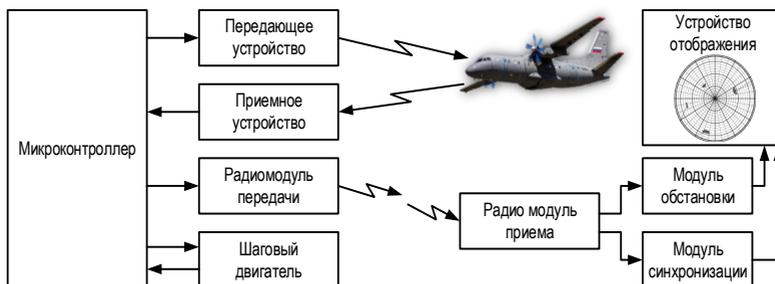


Рис. 2. Структурная схема аппаратно-программного комплекса

Таким образом, предложенная структура аппаратно-программного комплекса позволит обучающимся понимать принципы работы радиолокационных систем, этапы обработки радиолокационной информации и оценивать влияние различных факторов на решение задач обнаружения объектов локации по дисциплинам подготовки в военном учебном центре при ГУАП. В будущем полученные результаты будут использованы для усовершенствования программно-аппаратного комплекса с целью расширения его функционала.

#### Библиографический список

1. Радиолокационные системы: учебник / В. П. Бердышев, Е. Н. Гарин [и др.]; под общ. ред. В. П. Бердышева; разраб.: ЦОС ИнТК СФУ. Красноярск: СФУ, 2012. URL: [https://vii.sfu-kras.ru/images/libs/rls\\_berdihev.pdf](https://vii.sfu-kras.ru/images/libs/rls_berdihev.pdf) (дата обращения: 30.03.2021).
2. Ботов М. И., Вяжиров В. А. Основы теории радиолокационных систем и комплексов: учебник / под общ ред. М. И. Ботова. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. 530 с.
3. Трухин А. В. Анализ существующих в РФ тренажерно-обучающих систем. URL: <https://ido.tsu.ru/files/pub2008/8.pdf> (дата обращения: 02.04.2021).

УДК 629.7.05

**В. В. Дульнев, И. П. Михайлов**

студенты Военного учебного центра

**Д. В. Коликов** – научный руководитель

### ПРИМЕНЕНИЕ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ОПТИЧЕСКО-ВОЛОКОННОЙ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ

В настоящее время все чаще появляются перспективные образцы электромагнитного вооружения, способные наводить помехи в электросистемах или полностью выводить их из строя. Такое вооружение работает по любым воздушным целям на достаточно больших расстояниях. Электросистемы – критически важный элемент летательного аппарата, без которого невозможно осуществлять управляемый полет. Выведение из строя этих систем, как правило, приводит к потере самолета. Наиболее остро этот вопрос встает с использованием в летательных аппаратах композитных материалов, так как они не могут обеспечить такое же экранирование, как металлическая обшивка. Соответственно, возникает вопрос защиты воздушного судна от вооружения подобного типа. В данной работе мы рассмотрим один из вариантов решения этой проблемы, заключающийся в замене металлических кабелей информационных сетей на волоконно-оптические.

На данный момент на авиационной технике в качестве средств передачи информации используются металлические провода. Это одно из уязвимых мест самолета, наиболее подверженное воздействию средств РЭБ. Экранирование этих проводов не будет однозначно хорошей мерой защиты, потому что дает минимальный прирост помехозащищенности и увеличивает общую массу летательного аппарата. Решение проблемы видится в применении нового материала для средств передачи в информационной системе и, как следствие, изменении самого принципа передачи информации. Нужный материал – оптическое волокно.

Оптическое волокно – диэлектрическая направляющая среда, предназначенная для переноса электромагнитных волн оптического и инфракрасного диапазонов (свет). Стекланные оптические волокна делаются из кварцевого стекла, но для дальнего инфракрасного диапазона могут использоваться другие материалы, такие как фторцирконат, фторалюминат и халькогенидные стекла. Оптическое волокно имеет коаксиальную конструкцию, т. е. состоит из сердцевинки, оболочки и первичного акрилатного покрытия и характеризуется профилем показателя преломления.

Основные преимущества нового материала перед классическими электропроводами:

- полная помехозащищенность. Электромагнитные волны оптического и инфракрасного диапазонов не подвержены помехам;
- полная гальваническая развязка между передатчиком и приемником. Сама собой решается задача не пропустить питающее напряжение одного устройства – передатчика в приемник;
- большая скорость передачи данных;
- малая собственная масса.

Основной недостаток оптических волокон – повышенные требования к обслуживающему персоналу как на этапе монтажа оптического кабеля, так и в ходе обслуживания. Львиная доля поврежденных в ВОЛС как раз и связана с недостатком знаний и навыков по работе с активными и пассивными компонентами ВОЛС.

Насыщение самолетов бортовыми системами различного назначения, агрегатами и бортовым оборудованием, требующим установки в определенных отсеках фюзеляжа и крыла, резко усложнило конструкцию механических систем управления (МСУ). В итоге системы с механической проводкой стали чрезвычайно сложными по кинематической схеме, также им были свойственны такие недостатки, как инерционность; занимаемый объем; масса; трение; упругость; люфты. Механическая проводка больше не могла в полной мере обеспечивать растущие требования современной авиации.

Поэтому следующим логичным шагом стали замена механических связей на электрические и внедрение электрических дистанционных систем управления (ЭДСУ) (рис. 1). Эти системы были лишены многих описанных недостатков. Необходимо понимать, что ЭДСУ не просто осуществляет электро-

передачу управляющих сигналов от рычага управления, но и является системой, в которой такая электропередача сигналов совмещается с обратной связью по параметрам движения ЛА. Таким образом, ЭДСУ также представляет собой систему улучшения устойчивости и управляемости самолета [1].

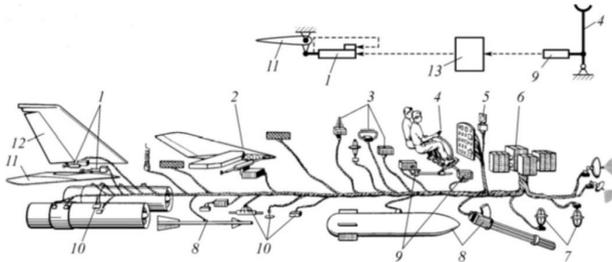


Рис. 1. Самолет с ЭДСУ:

- 1 – электрогидравлический привод; 2 – крыло; 3 – антенны; 4 – ПУ; 5 – индикатор;  
6 – САУ полетом и вооружением; 7 – гироскоп; 8 – вооружение; 9 – датчики положения и автомат загрузки;  
10 – датчики; 11 – стабилизатор; 12 – руль направления; 13 – САУ

Достоинства ЭДСУ:

- масса меньше в 2,0–2,5 раза по сравнению с МСУ;
- возможность многократного резервирования и, следовательно, увеличение живучести ЛА;
- простота сопряжения с остальными подсистемами автоматического управления;
- простота обслуживания за счет унификации систем управления.

Внедрение ЭДСУ происходило достаточно медленно из-за необходимости создания высоконадежной элементарной базы. Основные преимущества ЭДСУ могут быть применены только при обеспечении достаточной степени надежности, как минимум не уступающей надежности механических систем управления. Обеспечение такой надежности возможно с помощью триплексного или квадруплексного резервирования.

Первым самолетом с аналоговой ЭДСУ стал американский А-5 «Виджилент». Первые серийные истребители с ЭДСУ – F-16, Су-27 [2].

Существенный недостаток ЭДСУ – чувствительность к электромагнитным и другим полям, что заставляет конструкторов вести интенсивные поиски решения проблемы [3]. Замена электрических связей на оптические позволяет это сделать.

В случае использования волоконно-оптических кабелей возникает задача преобразования электрического сигнала в оптический сигнал и наоборот. Для ее решения могут быть использованы медиаконвертеры. Медиаконвертер – это специальное устройство связи, которое преобразует электрический импульс в оптический сигнал, другими словами, электронно-оптический преобразователь. Выполнен он в виде небольшой коробочки и напоминает модем. У него есть разъем питания, минимум один медный порт для входа электронного сигнала и оптический порт (рис. 2). Таким образом предлагается осуществить связь всех составляющих частей СУ самолетом (датчики, вычислительные устройства, исполнительные устройства).

Также это дает возможность применить на самолете волоконно-оптические датчики (ВОД) и приборы, которые не будут требовать дополнительного питания. Волоконно-оптический датчик – небольшое по размерам устройство, в котором оптическое волокно используется как в качестве линии передачи данных, так и в качестве чувствительного элемента, способного детектировать изменения различных величин. Физические воздействия на оптоволокно, такие как температура, давление, сила натяжения, локально изменяют характеристики пропускания света и, как следствие, приводят к изменению характеристик сигнала обратного отражения. В основе измерительных систем на основе оптоволоконных датчиков используется сравнение спектров и интенсивностей исходного лазерного излучения и излучения, рассеянного в обратном направлении, после прохождения по оптоволокну.

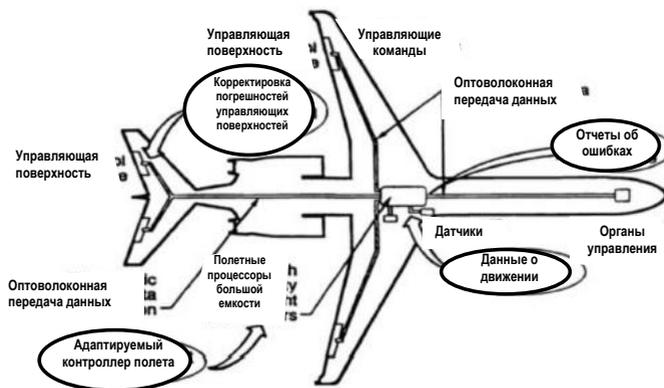


Рис. 2. Оптоволоконная проводка

Примеры ВОД.

- Волоконно-оптический датчик температуры.

Температурные воздействия инициируют вибрации в молекулярной решетке оптического волокна. Когда свет попадает на термически возбужденные молекулы, происходит взаимодействие между световыми частицами (фотонами) и электронами. Таким образом, в оптическом волокне происходит световое рассеяние, также известное, как рамановское. Такой ВОД можно использовать как пожарный датчик или как датчик температуры.

Такие датчики нашли применение на малом пассажирском самолете CA12 (CompAirAviation) для контроля температуры за бортом и контроля возгорания ответственных узлов двигателя.

- Волоконно-оптический датчик давления.

Измерение давления при помощи оптоволоконных кабелей проводится по оценке интенсивности излучения. Сенсором выступает элемент для измерения давления, в котором дифракционная решетка, локализуемая между принимающими и передающими волокнами, присоединена к мембране.

Показатели давления определяют на базе оценки количества излучения, попадающего в выходные волокна после отражения от поверхности мембраны. Этот показатель зависит от действующего давления, поскольку в зависимости от его величины меняется расстояние между концом жгута и поверхностью мембраны. Детектор для определения нагрузки, действующей на поверхность, оборудован устройствами температурной компенсации, в процессе измерения он размещается между двумя контактирующими поверхностями.

Возможно использование в качестве измерителя скоростей и чувствительного элемента высомомера.

- Волоконно-оптический датчик деформации.

Чувствительный элемент, в данном случае оптическое волокно, улавливает характеристику, насколько он изогнут. Такой датчик используется как штатная система измерения профиля изгиба крыльев в полете на БПЛА Ikhana (производитель NASA).

- Волоконно-оптический гироскоп (ВОГ).

Луч света в волоконно-оптическом гироскопе проходит через катушку оптоволоконка, отсюда и название. Для повышения чувствительности гироскопа используют световод большой длины (порядка 1 000 м), уложенный витками. В таких гироскопах обычно используется свет с очень маленькой длиной когерентности, что необходимо для увеличения точности гироскопа до удовлетворительного уровня. В качестве источника света может использоваться даже не лазерный прибор, а, например, светодиод.

Наиболее широкое применение ВОГ получил в компании Boeing (самолет Boeing 777).

Сегодня прослеживается тенденция к замене металлических проводов в системах управления самолетом на оптоволоконные связи. Такой тип системы называют Fly-by-Light. Ее схема приведена на рис. 3.

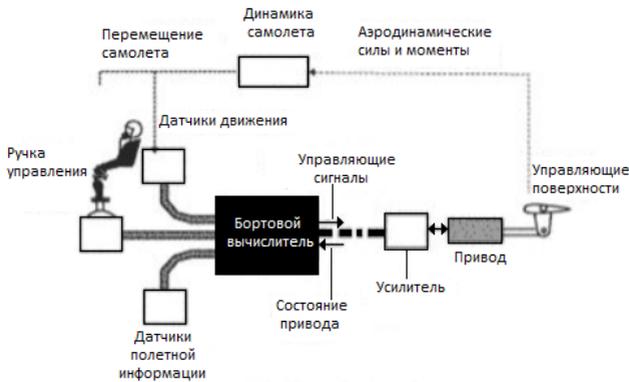


Рис. 3. Общая схема системы Fly-by-Light

Fly-by-Light – это технология, которая может стать ответом при разработке самолетов будущего. Она не нова, но исследования продвигаются медленно.

Например, противолодочный самолет Kawasaki P-1 (рис. 4) японского производства оснащается ЭДСУ нового типа, которая передает управляющие сигналы не через цифровые шины данных на кабелях-«шлейфах», а через оптическое волокно. Это первый в мире серийный самолет с подобным типом системы управления. Такое решение, во-первых, ускоряет быстродействие всех систем, во-вторых, упрощает ремонт самолета при необходимости такового, в-третьих, оптический сигнал, передаваемый по оптическому же кабелю, менее восприимчив к электромагнитным помехам (потому этот самолет может быть более эффективен в качестве комплекса РЭБ). Японцы позиционируют этот самолет как имеющий повышенную стойкость к поражающим факторам ядерного оружия, и отказ от проводов в ключевых цепях системы управления, безусловно, сыграл свою роль [4].



Рис. 4. Kawasaki P-1

Внедрение описанной технологии позволит получить преимущество перед летательными аппаратами потенциального противника: увеличить защищенность воздушного суда от воздействия перспективных средств РЭБ; уменьшить общую массу проводки; увеличить быстродействие системы

управления. В других странах данная технология уже применяется на некоторых серийных самолетах. На серийных самолетах отечественного производства аналогичные технологии отсутствуют, что ставит их в невыгодное положение при ведении боевых действий.

В России наметилось серьезное отставание в этой области несмотря на то, что оптическое волокно имеет серьезные преимущества и перспективы. Как стал неизбежным переход от поршневого двигателя к реактивному, от механических систем управления к электрическим, так станет неизбежным и переход от электрических систем управления к оптическим, и отстать, проиграть в данной области России никак нельзя.

#### Библиографический список

1. Князев В. М., Кислун В. Д. Системы автоматического управления полетом летательных аппаратов. Часть I. Летательный аппарат как объект управления. Автоматические системы устойчивости и управляемости: учеб. пособие. Ставрополь: Ставроп. ВАИУ ПВО, 1994. С. 251–256.
2. Надточий И. В., Юркевичус С. П. Авиационное оборудование самолета Су-27 и его летная эксплуатация: учеб. пособие. Краснодар: КВАИ. 64 с.
3. Шумилов И. С. Системы управления рулями самолетов. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. С. 25–39.
4. Тимохин А. А. Современный противолодочный самолёт Kawasaki P-1. URL: <https://topwar.ru/155415-sovremennyy-protivolodochnyj-samolet-kawasaki-p-1.html> (дата обращения: 10.04.2021).

УДК 004.4

**Д. А. Жданович**

студент Военного учебного центра

**В. В. Грибов** – кандидат технических наук, начальник цикла, старший преподаватель – научный руководитель

### РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО ИМИТИРУЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ТРАКТА СОПРЯЖЕНИЯ С РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИЕЙ

При подготовке операторов для радиотехнических войск проводятся тренировки с использованием подыгрыша воздушной обстановки. Учебный процесс осуществляется с включением радиолокационных станций (РЛС) или без включения с использованием возможности аппаратуры тренажа. Существующие тренажно-имитационные комплексы (ТИК) заменяют использование РЛС в учебном процессе и тем самым позволяют сохранить ресурс радиоэлектронной техники (РЭТ) для ведения основной работы. В современных тренажерах разработаны многочисленные технологии, позволяющие имитировать различные условия воздушной обстановки. С целью обеспечения наглядности применения радиоэлектронной техники (РЭТ) на этапе получения информации о воздушной обстановке, необходимо использовать последние технические решения в области радиоэлектроники для разработки программно-аппаратного имитирующего комплекса тракта сопряжения с РЛС.

РЛС выдает информацию о воздушной обстановке в виде отраженных сигналов от различных объектов, для дальнейшей обработки информации. В основе устройства РЛС лежат три системы: передающая, антенная и приемная.

В соответствии со структурной схемой комплекса, представленного на рис. 1, возникает необходимость обоснования и выбора элементной базы, максимально реализующей работу тракта сопряжения РЛС с системой автоматизации.

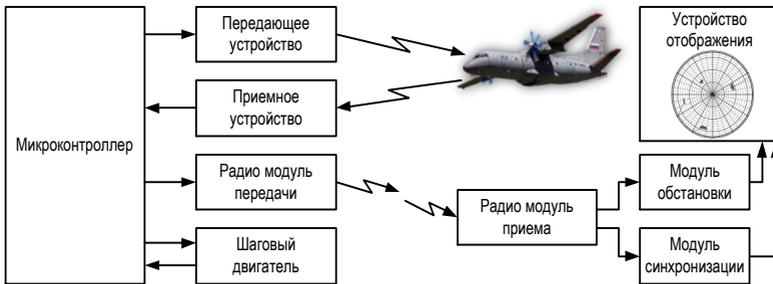


Рис. 1. Структурная схема установки тракта сопряжения с РЛС

Основные элементы комплекса:

- система вращения, состоящая из шагового двигателя;
- антенная система, в которую входят приемное и передающее устройства;
- модуль обработки и управления, включающий микроконтроллер и радиомодуль;
- модуль передачи данных, идентичный по составу модулю обработки и управления.

Система управления аппаратной части программно-аппаратного имитирующего комплекса реализована с использованием микроконтроллера ATmega328P, являющегося основой платформы ArduinoUno (рис.2). Выбор основан на возможности использования готовых библиотек управления работой различных устройств, в случае отсутствия необходимых для создания новых используется язык программирования C++. Данный язык широко используется при создании различного программного обеспечения.



Рис. 2. Плата ArduinoUno

С учетом структуры АПИК выбранный микроконтроллер позволяет реализовать функции системы вращения, приема-передающего тракта и организации информационного взаимодействия с ПЭВМ.

Для реализации системы вращения выбран шаговый двигатель 28byj-48 с драйвером uln2003 (рис. 3). При выборе учитывались следующие параметры: доступность, стоимость и возможность управления с шагом ротора 4096 тактов [1], что соответствует количеству масштабных азимутальных импульсов, выдаваемых РЛС для синхронизации вращения развертки на экране индикатора за один оборот и решения задач обнаружения эхо-пакетов.



Рис. 3. Шаговый двигатель 28byj-48 с драйвером uln2003

Для реализации приемопередающего тракта выбран ультразвуковой датчик расстояния HC-SR04 (рис. 4). При выборе учитывались стоимость датчика и его характеристики относительно аналогов (табл. 1).

Таблица 1

**Характеристики ультразвуковых датчиков [2]**

Характеристика	HC-SR04	US-015	US-100
Потребление в режиме тишины, мА	2	2	2,2
Потребление при работе, мА	15	15	15
Диапазон измерений	2-400	2-400	2-450
Эффективный угол измерения, град.	15	15	15
Точность, мм	0,3	0,3	0,1
Цена, руб.	55	75	160



Рис. 4. Ультразвуковой дальномер HC-SR04

Характеристики и принцип работы выбранного датчика позволяют реализовать принцип работы приемопередающего тракта РЛС. В общем случае дальность обнаружения РЛС составляет 400 км, что пропорционально диапазону измерений выбранного датчика.

Диаграмма направленности HC-SR04 (рис. 5) в вертикальной и горизонтальной плоскости по своей структуре соответствует диаграмме направленности антенны РЛС имеет параметры, представленные на рис. 5 [3].

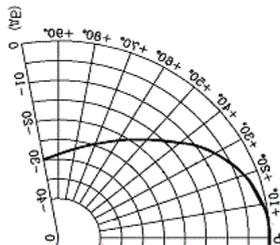


Рис. 5. Диаграмма направленности ультразвуковой волны датчика HC-SR04

Взаимодействие аппаратной части с ПЭВМ решено было организовать с использованием радиоканала. Для передачи результатов работы ультразвукового датчика и данных об угле поворота шагового двигателя был выбран радио модуль nRF24l01 (рис. 6), позволяющий организовать надежную многоканальную связь на расстоянии до 100 м, со скоростью передачи данных до 2 Мбит/с, с подтверждением доставки пакетов.



Рис. 6. Датчик nRF24l01 с адаптером

Для реализации канала используются два радиомодуля, один из которых взаимодействует с микроконтроллером ArduinoUno для выдачи информации в сторону ПЭВМ, второй при взаимодействии с микроконтроллером ArduinoNano (рис. 7) позволяет осуществить прием данных и выдачи по USB-порту в ПЭВМ для обработки.

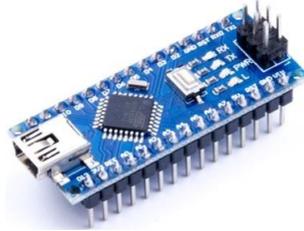


Рис. 7. Плата ArduinoNano

В результате разработана структурная схема программно-аппаратного имитирующего комплекса (рис. 8).

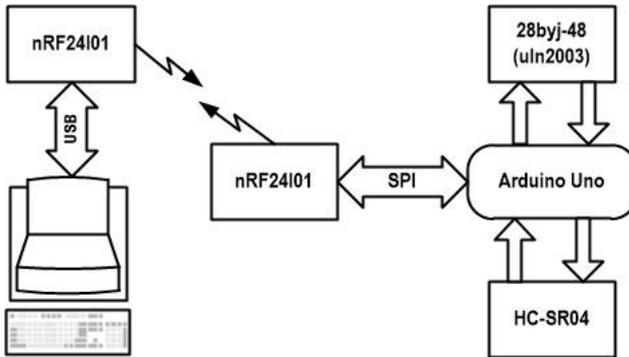


Рис. 8. Структурная схема АПИК

На основе предложенной структурной схемы и выборе элементов разработана принципиальная схема аппаратной части программно-аппаратного имитирующего комплекса (рис. 9).

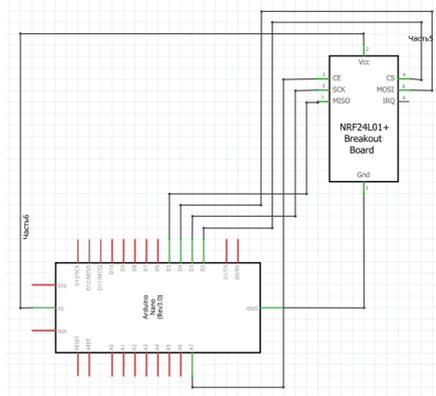


Рис. 9. Принципиальная схема модуля передачи данных

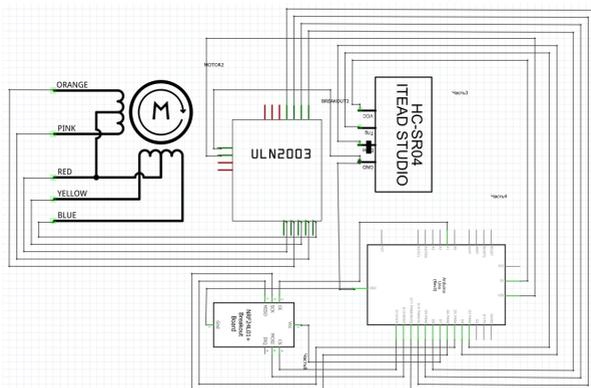


Рис. 10. Принципиальная схема модуля обработки и управления с антенной системой и с системой вращения

Таким образом, на основе разработанной принципиальной схемы была собрана аппаратная часть программно-аппаратного имитирующего комплекса, которая реализует основные функции РЛС. Использование аппаратного комплекса в учебном процессе повышает наглядность представления учебного материала, что позволит улучшить качество подготовки специалистов для радиотехнических войск.

#### Библиографический список

1. Шаговый двигатель 28BYJ-48. URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-mechanics/stepper-motor-28BYJ-48/> (дата обращения: 24.02.2021).
2. Ультразвуковой датчик измерения расстояния HC – SR04 / В. А. Жмудь, Н. О. Кондратьев, К. А. Кузнецов [и др.]; ФГБОУ ВПО НГТУ. URL: <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-4-2017-2.pdf> (дата обращения: 24.02.2021).
3. Ультразвуковой датчик расстояния Ардуино HC – SR04. URL: <https://arduino-master.ru/datchiki-arduino/ultrazvukovoj-dalnomer-hc-sr04/> (дата обращения: 24.02.2021).

УДК 621.37

**М. В. Загерсон**

студент Военного учебного центра

**Ю. В. Скороспехов** – кандидат технических наук – научный руководитель

**ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ ВО ВСЕВЫСОТНОМ ОБНАРУЖИТЕЛЕ В СЛУЧАЕ КОМБИНАЦИИ ТРИАНГУЛЯЦИОННЫХ МЕТОДОВ**

**Введение**

Ведение радиолокационной разведки воздушного пространства в настоящее время, как правило, осуществляется с использованием активных радиолокационных средств, чем обуславливается их «заметность» с точки зрения обнаружения средствами радио- и радиотехнической разведок. Для уменьшения их радиолокационной «заметности» возможно ведение радиолокационной разведки воздушного пространства с использованием многопозиционных средств пассивной локации, например нескольких всевысотных обнаружителей.

В данных условиях важным фактором становится точность определения координат воздушных объектов. Повышение точности измерения координат воздушных объектов возможно за счет использования новых алгоритмов. Поэтому актуальна задача разработки и практической реализации алгоритмов измерения координат при ведении пассивной радиолокации во всевысотном обнаружителе [1].

**Основная часть**

Существует проблема ограниченной точности определения координат воздушных объектов с помощью различных методов пассивной радиолокации. С точки зрения практической реализации алгоритма повышения точности местоопределения воздушных объектов рассмотрим два комплекса пассивной локации на основе всевысотных обнаружителей.

Две гиперболические системы объединяются в триангуляционную систему с базой  $B$ . В точке  $\zeta$  находится радиолокационный воздушный объект (РВО),  $R$  – дальность до РВО (рис. 1).

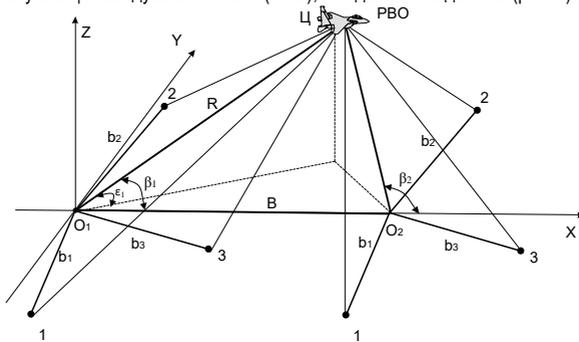


Рис. 1. Система пассивной локации из двух комплексов пассивной локации

В качестве методов измерения координат радиолокационного объекта в системе пассивной локации (СПЛ) используются угломерные (триангуляционные) методы.

СПЛ представляет собой триангуляционную измерительную систему. Рассмотрим систему пассивной локации (СПЛ), включающую: центральные приемные пункты (ЦПП)  $O_1$  и  $O_2$  (совмещенные с активной радиолокационной станцией – АРС) и до трех выносных приемных постов (ВПП) – 1, 2, 3, разнесенных в пространстве на расстояние  $b_1, b_2, b_3$ , называемых измерительными базами и обеспе-

чивающих азимутальную пеленгацию воздушного объекта с требуемой точностью. Для обеспечения круговой рабочей зоны необходимо иметь не менее трех разнесенных в пространстве ВПП.

На рис. 2 представлена блок-схема алгоритма повышения точности местоопределения воздушных объектов во всевысотном обнаружителе [2].

Точность измерения координат воздушных объектов характеризуется дисперсией или средне-квадратичным отклонением (СКО) оценки. Информация, поступающая с измерительных средств, является неполной и определяется как вектор первичных измерений.

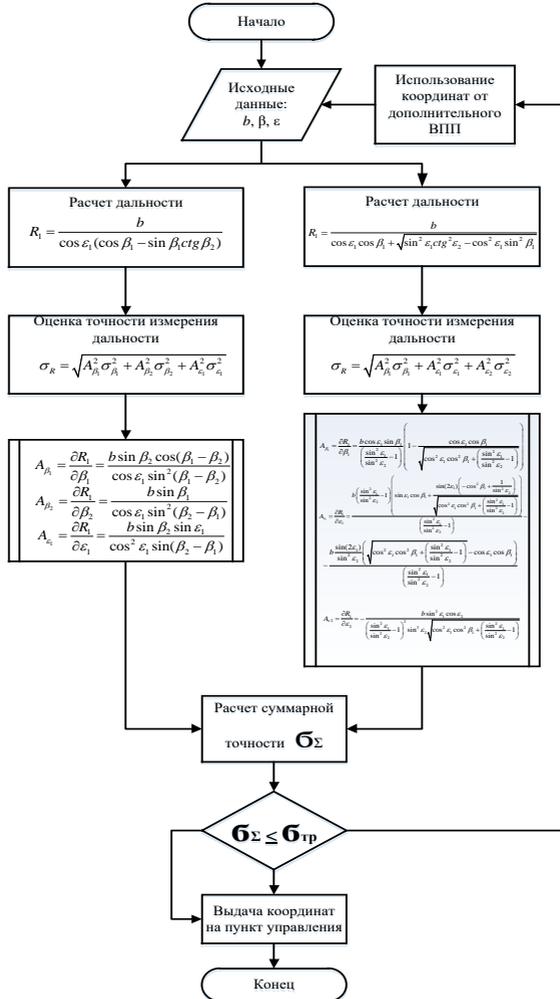


Рис. 2. Блок-схема алгоритма точности местоопределения воздушных объектов во всевысотном обнаружителе

В качестве исходных данных для работы алгоритма при определении координат цели триангуляционным методом вектор первичных измерений может иметь два вида:

1) два азимута и один угол места:

$$\lambda = \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \varepsilon_1 \end{pmatrix};$$

2) два угла места и один азимут:

$$\lambda = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \beta_1 \end{pmatrix}.$$

Далее определяется дальность до воздушного объекта относительно точки стояния первого выносного приемного поста  $R_1$

$$R_1 = \frac{b \sin \beta_2}{\cos \varepsilon_1 \cdot \sin(\beta_2 - \beta_1)}, \quad (1)$$

или

$$R_1 = \frac{b}{\cos \varepsilon_1 (\cos \beta_1 - \sin \beta_1 \cdot \operatorname{ctg} \beta_2)}. \quad (2)$$

При этом дальность относительно точки стояния второго ВПП рассчитывается согласно выражению

$$R_2 = \sqrt{b^2 + R_1^2 - 2bR_1 \cos \varepsilon_1 \cos \beta_1}. \quad (3)$$

Если в качестве параметров для расчета дальности используются два угла места и один азимут,

$$R_1 = \frac{-b \cos \varepsilon_1 \cos \beta_1 + b \sqrt{\cos^2 \varepsilon_1 \cos^2 \beta_1 + \left( \frac{\sin^2 \varepsilon_1}{\sin^2 \varepsilon_2} - 1 \right)}}{\frac{\sin^2 \varepsilon_1}{\sin^2 \varepsilon_2} - 1} \quad (4)$$

или

$$R_1 = \frac{b}{\cos \varepsilon_1 \cos \beta_1 + \sqrt{\sin^2 \varepsilon_1 \operatorname{ctg}^2 \varepsilon_2 - \cos^2 \varepsilon_1 \sin^2 \beta_1}}, \quad (5)$$

и

$$R_2 = R_1 \frac{\sin \varepsilon_1}{\sin \varepsilon_2}. \quad (6)$$

На следующем этапе вычисляется СКО измерения дальности до цели:

$$\sigma_R = \sqrt{A_{\beta_1}^2 \sigma_{\beta_1}^2 + A_{\beta_2}^2 \sigma_{\beta_2}^2 + A_{\varepsilon_1}^2 \sigma_{\varepsilon_1}^2} \quad (7)$$

и

$$\sigma_R = \sqrt{A_{\beta_1}^2 \sigma_{\beta_1}^2 + A_{\varepsilon_1}^2 \sigma_{\varepsilon_1}^2 + A_{\varepsilon_2}^2 \sigma_{\varepsilon_2}^2}. \quad (8)$$

Рассчитываются частные коэффициенты для формулы (7):

$$\begin{aligned}
 A_{\beta_1} &= \frac{\partial R_1}{\partial \beta_1} = \frac{b \sin \beta_2 \cos(\beta_2 - \beta_1)}{\cos \varepsilon_1 \sin^2(\beta_2 - \beta_1)}, \\
 A_{\beta_2} &= \frac{\partial R_1}{\partial \beta_2} = -\frac{b \sin \beta_1}{\cos \varepsilon_1 \sin^2(\beta_2 - \beta_1)}, \\
 A_{\varepsilon_1} &= \frac{\partial R_1}{\partial \varepsilon_1} = \frac{b \sin \beta_2 \sin \varepsilon_1}{\cos^2 \varepsilon_1 \sin(\beta_2 - \beta_1)}
 \end{aligned} \tag{9}$$

и для формулы (8):

$$\begin{aligned}
 A_{\beta_1} &= \frac{\partial R_1}{\partial \beta_1} = \frac{b \cos \varepsilon_1 \sin \beta_1}{\left( \frac{\sin^2 \varepsilon_1}{\sin^2 \varepsilon_2} - 1 \right)} \left( 1 - \frac{\cos \varepsilon_1 \cos \beta_1}{\sqrt{\cos^2 \varepsilon_1 \cos^2 \beta_1 + \left( \frac{\sin^2 \varepsilon_1}{\sin^2 \varepsilon_2} - 1 \right)}} \right), \\
 A_{\varepsilon_1} &= \frac{\partial R_1}{\partial \varepsilon_1} = \frac{b \left( \frac{\sin^2 \varepsilon_1}{\sin^2 \varepsilon_2} - 1 \right) \left( \sin \varepsilon_1 \cos \beta_1 + \frac{\sin(2\varepsilon_1) \left( -\cos^2 \beta_1 + \frac{1}{\sin^2 \varepsilon_2} \right)}{\sqrt{\cos^2 \varepsilon_1 \cos^2 \beta_1 + \left( \frac{\sin^2 \varepsilon_1}{\sin^2 \varepsilon_2} - 1 \right)}} \right)}{\left( \frac{\sin^2 \varepsilon_1}{\sin^2 \varepsilon_2} - 1 \right)^2} - \\
 &\quad - \frac{b \frac{\sin(2\varepsilon_1)}{\sin^2 \varepsilon_2} \left( \sqrt{\cos^2 \varepsilon_1 \cos^2 \beta_1 + \left( \frac{\sin^2 \varepsilon_1}{\sin^2 \varepsilon_2} - 1 \right)} - \cos \varepsilon_1 \cos \beta_1 \right)}{\left( \frac{\sin^2 \varepsilon_1}{\sin^2 \varepsilon_2} - 1 \right)^2}, \\
 A_{\varepsilon_2} &= \frac{\partial R_1}{\partial \varepsilon_2} = -\frac{b \sin^2 \varepsilon_1 \cos \varepsilon_2}{\left( \frac{\sin^2 \varepsilon_1}{\sin^2 \varepsilon_2} - 1 \right)^2 \sin^3 \varepsilon_2 \cdot \sqrt{\cos^2 \varepsilon_1 \cos^2 \beta_1 + \left( \frac{\sin^2 \varepsilon_1}{\sin^2 \varepsilon_2} - 1 \right)}}.
 \end{aligned} \tag{10}$$

В последующем рассчитывается суммарное значение среднеквадратической ошибки (СКО)  $\varepsilon_{\Sigma}$  определения координат воздушного объекта. В блоке формируется суммарное значение СКО измерения координат с учетом первичных ошибок их измерения.

Критерий выдачи координат воздушного объекта на пункт управления следующий:

$$\sigma_{\Sigma} = \min, \sigma_{\Sigma} = \frac{\sum_{l=1}^N \sigma_R}{N}, \tag{11}$$

где  $N$  – количество измерений.

После того как осуществлен выбор координат по заданному критерию, они используются в качестве рекомендаций на вышестоящем пункте управления [3]. Если критерий (11) не выполняется, необходимо использовать для измерения координат дополнительный выносной приемный пост.

### **Заключение**

Таким образом, для получения наибольшей точности измерения дальности до цели в системе пассивной локации с использованием всевысотных обнаружителей необходимо использовать сочетание комбинированных методов триангуляции в необходимых диапазонах.

В результате анализа точностных характеристик получены оригинальные решения по комбинации триангуляционных методов с различным выбором оценок первичных координат в качестве входных параметров (азимутов либо углов места) и путем наращивания количества приемных пунктов в двух комплексах пассивной локации. Это в свою очередь на порядок (примерно в 2–3 раза) позволит повысить точность измерения координат воздушных объектов и постановщиков активных помех во всевысотном обнаружителе.

### **Библиографический список**

1. Мельников Ю. П., Попов С. В. Радиотехническая разведка. Методы оценки эффективности местоопределения источников излучения. М.: Радиотехника, 2008. 432 с.
2. Лешко Н. А., Цыбульник А. Н. Радиотехническая разведка и скрытная радиолокация. Ярославль: Изд. ЯГПУ им. К. Д. Ушинского, 2006. 152 с.
3. Караваев В. В., Сазонов В. В. Статистическая теория пассивной локации. М.: Радио и связь, 1987. 240 с.

УДК 004.4

**Н. М. Иванов**

студент Военного учебного центра

**А. В. Старостин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ ЧАСТИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО ИМИТИРУЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ТРАКТА СОПРЯЖЕНИЯ С РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИЕЙ

Анализ существующих тренажных комплексов показал, что аппаратно-программные имитирующие системы позволяют осуществлять подготовку специалистов в той или иной области. При этом одно из требований к таким системам – использование средств «зрительной и чувствительной симуляции». Кроме основных составных устройств ПЭВМ, в их составе могут быть установлены устройства, решающие специальные задачи, например адаптеры сопряжения с внешними датчиками (источниками различной информации).

Создание программной и аппаратной частей комплекса ведется параллельно на всех этапах разработки – от эскизного проектирования до предварительных испытаний – и характеризуется необходимостью постоянного согласования нередко противоречивых требований, предъявляемых к их функциональности. Успешное функционирование комплекса зависит от многих факторов, одним из которых является корректность работы программного обеспечения.

При разработке программно-аппаратного имитирующего комплекса тракта сопряжения РЛС со средствами автоматизации (рис. 1) с учетом реализации аппаратной части программная часть должна включать:

- программное обеспечение, обрабатывающее и интерпретирующее данные работы приемопередающего тракта;
- программное обеспечение, обрабатывающее и интерпретирующее данные работы системы вращения;
- программное обеспечение, обрабатывающее и интерпретирующее данные работы тракта сопряжения;
- программное обеспечение визуализации результатов работы АПК.

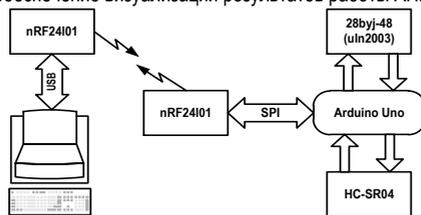


Рис. 1. Структурная схема аппаратно-программного комплекса

Работа приемопередающего тракта основана на использовании ультразвукового дальномера HC-SR04, управление которым со стороны микроконтроллера осуществляется на основе библиотеки NewPing 1.8 с возможностью настройки длительности излучаемого импульса, времени работы модуля на прием. Дальномер обеспечивает точность в пределах 1 см на расстояниях от 10 см до 2 м [1].

Работа системы вращения основана на использовании шагового двигателя 28BYJ-48 с драйвером ULN2003, управление которым осуществляется на базе библиотеки Stepper [2]. Данная библиотека обеспечивает полношаговый режим коммутации с величиной шага вала (ротора) 5,27°, что соответствует дискретности формирования масштабных азимутальных импульсов системы синхронизации вращения антенны РЛС.

Обработка результатов измерения и формирование сообщения о месте положения объекта локализации осуществляется в микроконтроллере, а передача результатов в ПЭВМ – по радиоканалу на ос-

нове использования радиомодулей nRF2401, которые функционируют на основе библиотек RF24 и SerialFlow. Особенность радиоканала определяется организацией взаимодействия модулей с одной стороны с микроконтроллером Ардуино, с другой через переходное устройство с использованием USB-порта с ПЭВМ. В первом случае взаимодействие выполняется по последовательному периферийному интерфейсу SPI [3], а во втором – через переходное USB устройство с использованием виртуального COM-порта ПЭВМ. Драйвер работы переходного устройства написан на языке C++, что упрощает процесс информационного обмена с устройствами, использующими язык Arduino C, представляющий собой язык C++ с фреймворком Wiring [4]. Доступ к данным COM-порта организован на основе использования библиотек, созданных в среде Visual Studio на языке программирования C++/CLI.

Графический интерфейс элемента визуализации результатов работы имитационного комплекса (рис. 2) реализован с использованием кроссплатформенного инструмента OPEN GL 4.5. Размер рабочего поля пропорционален возможностям используемого радиодальномера и соответствует, в условных единицах, требованиям по дальности работы реальных средств радиолокации.

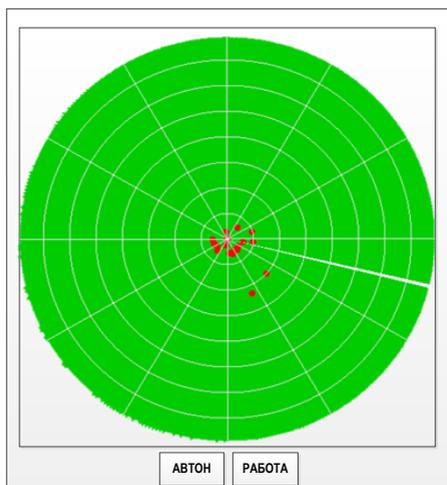


Рис. 2. Внешний вид окна визуализации

Процесс обработки результатов работы аппаратной части комплекса осуществляется в соответствии с алгоритмом на рис. 3.

При запуске программы инициализируются переменные, определяющие тип (окружность), размер (400 мм), цвет (зеленый) рабочего поля, область формирования луча (азимут начала – положение СЕВЕР (00) с дискретной изменением положения по азимуту 0,88° и дальности 10 мм), а также параметры отображения одиночного сигнала, поступившего в приемный тракт комплекса (красный).

В режиме автономной работы на экране будет наблюдаться развертка, имитирующая работу тракта синхронизации по вращению и дальности. При переводе модели в режим РАБОТА на начальном этапе осуществится процесс синхронизации развертки на экране с истинным положением элемента аппаратной части, реализующие систему вращения. В последующем результаты циклов обмена с микроконтроллером будут записываться в массив обнаруженных объектов и выдаваться на отображение в виде одиночных сигналов на азимуте и дальности нахождения объекта локации. В процессе работы раздельно будут наблюдаться объекты, находящиеся на разных азимутах. В случае нахождения двух объектов на одном азимуте и разных дальностях на отображение будет выдаваться только объект, находящийся на минимальной дальности. Данная особенность определена принципами работы ультразвукового датчика.

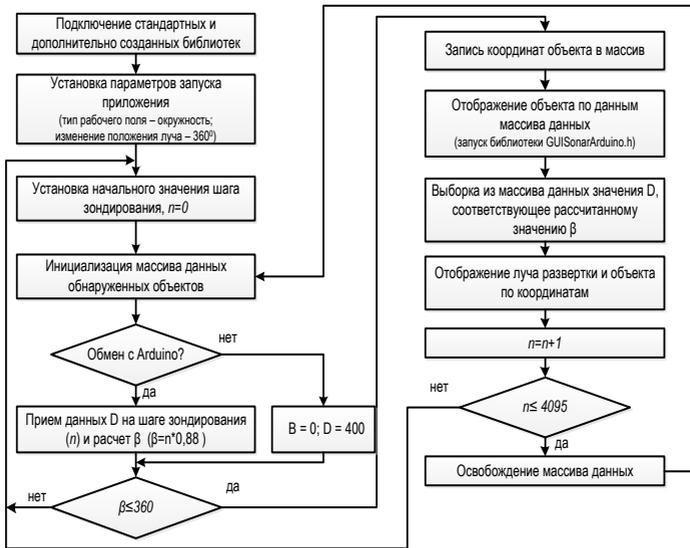


Рис. 3. Алгоритм функционирования

Таким образом, реализация аппаратной части и программной составляющей позволяет говорить о создании аппаратно-программного комплекса имитации работы тракта сопряжения радиолокационной станции и средства автоматизации. При этом реализованы не только основные принципы физического сопряжения, но и отдельные функции, поясняющие процессы первичной обработки радиолокационной информации. Использование данного комплекса в учебном процессе позволит повысить качество подготовки обучающихся по техническим дисциплинам военного учебного центра.

#### Библиографический список:

1. Ультразвуковой датчик расстояния HC-SR04. URL: <https://arduino-master.ru/datchiki-arduino/ultrazvukovoj-dalnomer-hc-sr04/#i-4> (дата обращения: 12.02.2021).
2. Arduino и шаговый двигатель 28BYJ-48. URL: <https://www.arduino.md/arduino-and-stepper-motor-28byj-48/> (дата обращения: 14.02.2021).
3. Serial Peripheral Interface, SPI bus – последовательный периферийный интерфейс. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Serial\\_Peripheral\\_Interface](https://ru.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface) (дата обращения: 21.03.2021).
4. Arduino. Синтаксис и структура кода. URL: <https://alexgyver.ru/lessons/syntax/> (дата обращения: 23.03.2021).

УДК 629.735.33

**А. Д. Калинин, Е. В. Речкалов**

студенты Военного учебного центра

**Ю. А. Шаталов** – научный руководитель

**ПРОБЛЕМА СВЯЗИ С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ В СТРАТОСФЕРЕ**

С того момента как были запущены первые летательные аппараты, появилась возможность изучения космического пространства. Понадобилось устройство, которое могло бы осуществлять постоянный мониторинг за ним и защиту его от атак противника с использованием баллистического оружия. Кроме того, для наиболее точного выполнения этих задач необходима была автоматизация процессов на большинстве уровней. Решением этих проблем послужили стратосферные беспилотные летательные аппараты (далее БПЛА), которые в настоящее время исследуются и разрабатываются рядом стран. На данный момент стратосферные БПЛА – одна из наиболее перспективных сфер развития [1].

Одна из проблем применения БПЛА в стратосфере – организация постоянной связи с аппаратом. Дело в том, что на данный момент существует несколько способов связи с БПЛА, а именно: связь «борт – земля», спутниковая связь и некоторые другие менее распространенные способы. Подробнее о классификации на рис. 1 [2].

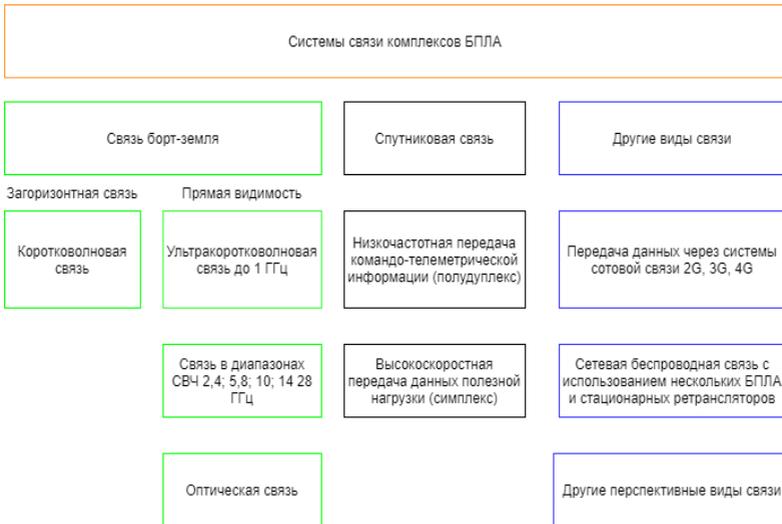


Рис. 1. Классификация способов связи с БПЛА

Связь «борт – земля» бывает загоризонтной и прямой видимости. Проблема загоризонтной связи заключается в использовании короткой волны, которая отражается от ионосферного слоя, делая связь с космическими БПЛА невозможной. Проблема применения связи прямой видимости состоит в том, что для организации непрерывной связи при использовании этого метода необходимо огромное количество рассредоточенных по планете вышек, работающих на ультракоротких волнах. Недостаток спутниковой сети – относительная дороговизна данного вида связи.

В рамках проблемы по разработке стратосферных БПЛА были проведены исследования, результатом которых явилось создание аппарата Zephyr от компании Airbus Defenseand Space. В июле

2018 г. команда по развитию программы Zephyr провела успешную серию тестовых полетов. Тогда Zephyr S провел в стратосфере почти 26 дней (25 дней, 23 ч и 57 мин), что стало самым продолжительным полетом без дозаправки из когда-либо проводившихся. Аппарат находился в стратосфере круглосуточно, курсируя на высоте от 17 до 22 км [3].

Задачу создания необходимых условий для использования БПЛА в стратосфере можно достичь, либо решив проблему недостаточного покрытия земной поверхности ультракоротковолновыми вышками, либо создав достаточное спутниковое покрытие, которое будет обеспечивать непрерывную связь с БПЛА.

Для того чтобы обеспечить необходимое покрытие связью, потребуется огромное количество рассредоточенных вышек. Они будут расположены в различных странах, а некоторые – на водной поверхности. Последнее условие невыполнимо, так как конструкция вышки не предусмотрена для установки на воде. Соответственно, этот вариант не может быть реализован.

Для использования спутниковой сети следует обеспечить полное покрытие стратосферы связью. Это может быть реализовано выводом на орбиту земли спутниковой системы либо доработкой уже существующей системы, что будет значительно дешевле. Кроме того, это можно реализовать в рамках одной страны. За основу рационально взять систему ГЛОНАСС. Она может быть задействована для управления БПЛА следующим образом: с поверхности Земли на спутник будет передаваться команда управления на частоте до одного ГГц, после чего по сети спутников перенаправляется на БПЛА. Более подробно эта модель связи отражена на рис. 2.

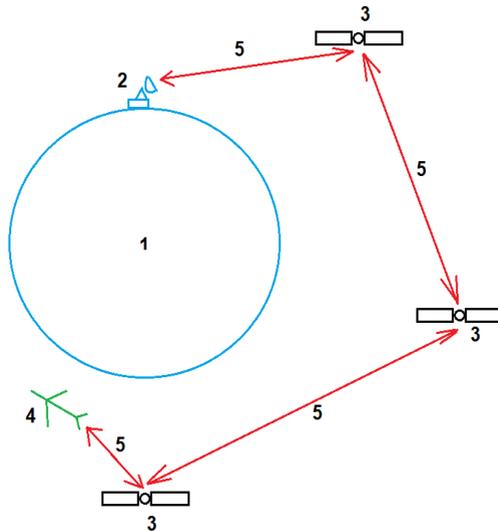


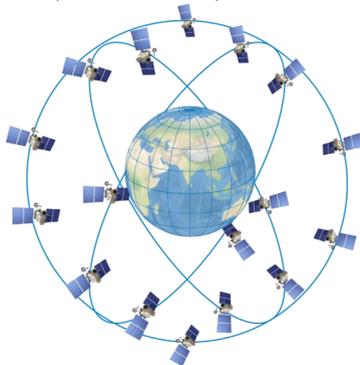
Рис. 2. Схема связи командного пункта с БПЛА при помощи спутниковой системы ГЛОНАСС: Земля; пункт управления БПЛА; спутник ГЛОНАСС; БПЛА; сигнал управления

Орбита спутников этой системы расположена далеко за стратосферой и покрывает связью все пространство внутри своей орбиты. Основой системы являются 24 спутника, движущихся над поверхностью Земли в трех орбитальных плоскостях с наклоном орбитальных плоскостей  $64,8^\circ$  и высотой орбит 19 100 км.

Основное отличие от системы GPS в том, что спутники ГЛОНАСС в своем орбитальном движении не имеют резонанса (синхронности) с вращением Земли, что обеспечивает им большую стабиль-

ность. Таким образом, группировка космических аппаратов (КА) ГЛОНАСС не требует дополнительных корректировок в течение всего срока активного существования [4].

Схематично спутниковое покрытие показано на рис. 3.



*Рис. 3. Схематичное отражение покрытия земной поверхности спутниковой связью системы ГЛОНАСС*

Наиболее подходящим решением проблемы связи с БПЛА, осуществляющими полет в стратосфере, будет использование уже готовой спутниковой системы ГЛОНАСС, что с экономической точки зрения обеспечит экономию материальных затрат, а с военной – скрытность и надежность управления.

### **Библиографический список**

1. Дубина М. Г., Дубин В. В. Направление развития космических и стратосферных БПЛА. URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_27300444\\_63126809.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_27300444_63126809.pdf) (дата обращения: 09.03.2021).
2. Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения. Прикладной потребительский центр ГЛОНАСС. URL: <https://www.glonass-iac.ru/guide/gnss/glonass.php> (дата обращения: 09.03.2021).
3. Высотный беспилотник Zephyr производства Airbus совершил успешный испытательный полет в Аризоне. URL: <https://www.aex.ru/news/2020/12/4/220286/> (дата обращения: 16.03.2021).
4. ГЛОНАСС // Wikipedia. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ГЛОНАСС> (дата обращения: 16.03.2021).

УДК621.3.049.77

**А. А. Кузьмин**

студент Военного учебного центра

**А. Д. Смирнов** – научный руководитель

### **МИКРОЭЛЕКТРОНИКА. ПРОБЛЕМА УМЕНЬШЕНИЯ РАЗМЕРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ**

Современное развитие электронной техники позволяет создавать радиоэлектронную аппаратуру (РЭА), электронные вычислительные машины (ЭВМ), аппаратуру связи, способные обеспечить решение сложных задач. Одновременно с усложнением аппаратуры резко возрастает число электро- и радиоэлементов, входящих в ее состав, следовательно, становятся более важными проблемы микроминиатюризации аппаратуры.

Первые попытки миниатюризации РЭА были направлены на уменьшение размеров радиодеталей и в первую очередь на создание миниатюрных электровакуумных и полупроводниковых приборов, резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности, переключателей и т. д. [1].

Разработка радиодеталей в миниатюрном исполнении привела к появлению модулей и микромодулей, а объемный (навесной) монтаж аппаратуры был заменен печатным. Модульная и микромодульная конструкции позволили существенно уменьшить массу и габариты аппаратуры по сравнению с объемным монтажом, резко повысить надежность ее работы и снизить трудоемкость производственного процесса [2].

Основной тенденцией в конструировании РЭА и ЭВМ является комплексная микроминиатюризация – микроэлектроника.

Микроэлектроника – это область электроники, охватывающая проблемы исследования, конструирования, изготовления и применения микроэлектронных изделий (интегральных микросхем). Наибольшее распространение получили полупроводниковые интегральные микросхемы, основные элементы которых выполнены в виде транзисторных структур различных свойств и видов.

Интегральные схемы – это электронные приборы, выполненные на тонких полупроводниковых пластинах, содержащие электронные элементы и выполненные внутри корпуса определенного типа [3].

В настоящее время ученые работают над увеличением количества активных элементов в одном кристалле полупроводниковой интегральной микросхемы, т. е. повышением степени интеграции. Созданы микросхемы с плотностью в несколько сотен (большие интегральные схемы – БИС) и даже тысяч элементов (сверхбольшие интегральные системы – СБИС) на одном кристалле. Использование БИС сопровождается резким улучшением всех основных показателей по сравнению с аналогичным функциональным комплексом, выполненных на отдельных ИС.

Действительно, интеграция интегральных схем на одном кристалле приводит к уменьшению количества корпусов, числа сборочных и монтажных операций, количества внешних наименее надежных соединений. Все это способствует уменьшению размеров, массы, стоимости и повышению надежности. Но при этом возникает ряд проблем (рис. 1).

В связи с повышением миниатюризации электронных компонентов и устройств все большее значение приобретает качество их монтажа на печатных платах. Большие трудности возникают при пайке печатных плат с плотным размещением компонентов поверхностного монтажа, что заставляет искать новые технологии, способные повысить качество пайки, увеличить ее скорость и снизить стоимость. Таким образом, для последующего повышения миниатюризации радиоэлектронного модуля (РМ) целесообразна разработка новых технологий, исключающих недостатки и ограничения технологии поверхностного монтажа.

В настоящее время существует ряд технологий, которые в силу своих особенностей используются предприятиями в различной степени. Рассмотрим технологии, на данный момент получившие наибольшее развитие, а также имеющие базис для дальнейшего совершенствования.

Основным принципом данной технологии гибридных печатных плат (ГПП) является создание пассивных и активных элементов в виде пленочных образований, формируемых методом трафаретной печати.

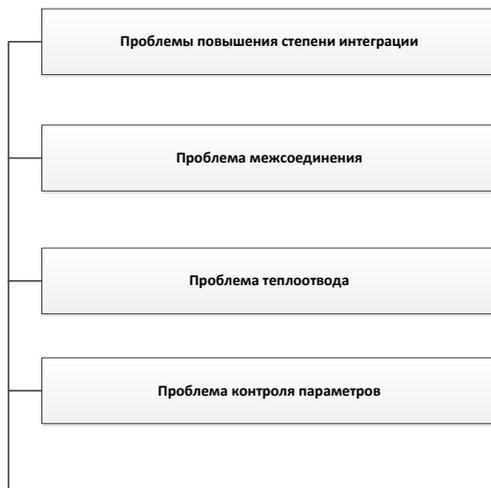


Рис. 1. Проблемы повышения степени интеграции

Применение тонких пленок позволяет выбирать материалы с оптимальными свойствами. На их основе получают тонкопленочные резисторы и конденсаторы [4]. На данный момент технология ГПП позволяет интегрировать в одном миниатюрном корпусе наибольшее количество элементов. Эквивалентная схема, выполненная на печатной плате по классической технологии поверхностного монтажа, заняла бы в 20 раз больше площади.

Развитие получили такие технологии, как «Кристалл на плате» (Chip-on-Board – COB). Суть технологии COB заключается в отказе от необходимого ранее корпуса для активного кристалла. Выигрыш при этом можно получить по нескольким направлениям, а именно:

- сокращение технологических операций;
- уменьшение занимаемой элементом площади.

К основным тенденциям развития технологии COB относятся уменьшение размеров кристаллов, сокращение времени разработки и повышение надежности полученного изделия [5].

Рассмотрев все преимущества и недостатки приведенных технологий, сделаем вывод о целесообразности дальнейшего развития по пути оптимального совмещения технологий, ориентированных на изготовление гибридных оснований РМ и технологий монтажа высокоинтегрированных компонентов, включая как бескорпусные кристаллы ИС, так и микросхемы в корпусе.

Таким образом, перспективным может быть слияние технологии создания ГПП и технологии COB. Причем рационально использовать гибридную технологию для создания пассивных элементов, а COB – для получения активных. Для этого необходимо рассмотреть технологические процессы создания ГПП- и COB-элементов [6]. В целом они схожи, разница заключается в следующем.

Использование базовых материалов: для COB-технологии в качестве подложки используется стеклотекстолит, в технологии ГПП – керамика.

Тип корпуса элемента: в COB-технологии полупроводниковый кристалл герметизируется заливкой, в технологии ГПП элемент закрывается корпусом.

Основные технологические операции COB и ГПП приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, технологические операции COB и ГПП технологий аналогичны. Для того чтобы использовать керамику в качестве подложки в COB-технологии, данная подложка должна соответствовать следующим требованиям:

- отсутствие перепадов высоты (перепад высоты в пределах  $\pm 1$  мкм);
- отсутствие микроцарапин и сколов.

**Основные технологические операции СОВ- и ГПП-технологии**

Технологическая операция	Различия	
	СОВ-технология	Технология ГПП
Получение полупроводниковой пластины	Печатная плата	Керамическая подложка
Тестирование, разделение на кристаллы	–	–
Отмывка	–	–
Монтаж кристалла на подложку	–	–
Сварка	–	–
Тестирование	–	–
Герметизация зоны микросварок	Заливка компаундом	Закрытие металлическим или пластиковым корпусом
Установка штыревых компонентов	–	–
Тестирование	–	–
Упаковка	–	–

Также необходимо правильно определить толщину РМ. В общем виде ее можно найти по формуле

$$H_{РМ} = h_{эл} + h_{СП} + h_{ГС} + n \cdot h_{ПР} + (n - 1) \cdot h_{СД} ,$$

где:  $h_{эл}$  – толщина элементов;  $h_{СП}$  – толщина слоя припоя;  $h_{ГС}$  – толщина герметизирующего слоя;  $h_{ПР}$  – толщина проводящего слоя;  $h_{СД}$  – минимальная толщина диэлектрической подложки между проводящими слоями;  $n$  – количество проводящих слоев РМ [6].

Оптимальной последовательностью технологических операций изготовления РМ по СОВ- и ГПП-технологиям является первоначальное наращивание пленочных элементов, после чего следуют совмещение проводящих и диэлектрических слоев, совместный обжиг, монтаж в предусмотренные окна кристаллов ИС, ультразвуковая сварка СОВ-элементов, далее – общая герметизация модуля. С целью упрощения технологического процесса целесообразен отказ от корпусных компонентов.

Одно из перспективных решений – встраивание в толщину печатной платы СОВ-элементов. Для этого следует во внешних слоях диэлектрического основания РМ на начальных этапах получить так называемые окна для монтажа в них активных элементов [6].

Таким образом, вариантов генерации новых технологических решений путем оптимального синтеза рассмотренных выше технологий достаточно большое количество. Однако необходим глубокий анализ свойств применяемых материалов, оборудования и особенностей выполнения всех технологических операций.

**Библиографический список**

1. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники. М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. С. 453–460.
2. Городилин В. М. Основные направления развития миниатюризации и микроминиатюризации РЭА. URL: [https://sinref.ru/000\\_uchebniki/04600radio/008\\_regulirovshik\\_gorodilin/014.htm](https://sinref.ru/000_uchebniki/04600radio/008_regulirovshik_gorodilin/014.htm) (дата обращения: 15.03.2021).
3. Базовые матричные кристаллы и матричные БИС. URL: <http://docplayer.ru/26277831-Bazovye-matrichnye-kristally-i-matrichnye-bis.html> (дата обращения: 15.03.2021).

4. IM uzina TOPAZ, SA. URL: [http://4224.md.all-biz.info/plant.php? what=1](http://4224.md.all-biz.info/plant.php?what=1) (дата обращения: 15.03.2021).

5. Фарассат Ф., Валиев С. «Кристалл-на-плате» (COB): новая эра сборочной технологии. URL: [https://tech-e.ru/2005\\_6\\_71.php](https://tech-e.ru/2005_6_71.php) (дата обращения: 15.03.2021).

6. Муратов А. В., Иванов С. В., Корчагин Д. А. Современные технологии повышения интеграции и микроминиатюризации радиоэлектронных модулей с указанием возможных вариантов их совершенствования. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tehnologii-povysheniya-integratsii-i-mikrominiaturizatsii-radioelektronnyh-moduley-s-ukazaniem-vozmozhnyh-variantov-ih/viewer> (дата обращения: 15.03.2021).

УДК 681.5

**А. И. Мерцалов**

студент Военного учебного центра

**П. М. Безняков** – кандидат технических наук – научный руководитель

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЯДЕРНЫМИ СИЛАМИ США

### Введение

Достижения в области автоматизации процессов управления были в первую очередь востребованы в военной сфере. В настоящее время оперативность принятия решений достигается за счет использования автоматизированных систем боевого управления (АСБУ). Первые территориально распределенные автоматизированные системы боевого управления были созданы в США и СССР с целью эффективного управления ядерным оружием (ЯО). В данной статье представлен краткий исторический обзор становления и развития АСБУ стратегических ядерных сил (СЯС) США.

### Основная часть

Из теории управления известно, что любая система управления, в том числе боевого, состоит из объекта управления и управляющей системы. В АСБУ СЯС объектом управления является ядерное оружие, а управляющей системой – представители высшего политического руководства, реализующие управление с помощью технических систем. В отличие от автоматических систем в автоматизированной системе часть управленческих операций (наиболее ответственных) выполняется людьми. Ядерное оружие как объект управления размещено на различных носителях, таких как самолеты-бомбардировщики, межконтинентальные баллистические ракеты (МБР) и атомные подводные лодки.

Основное назначение управляющей системы – гарантированное доведение до объектов управления приказов на боевое применение оружия с соблюдением требований по оперативности, надежности и скрытности. Входной информацией для управляющей системы являются разведывательные данные и планы нанесения ядерных ударов по стратегическим объектам страны противника и ее союзникам.

Для обеспечения функций высшего национального военного руководства США, связанных с оценкой обстановки, своевременным принятием решений о применении вооруженных сил (ВС) и отдачей соответствующих приказов и директив подчиненному составу, создана глобальная система оперативного управления (ГСОУ). ГСОУ является главным связующим звеном между национальным военным руководством и боеготовыми силами и представляет собой многоуровневую структуру. С технической стороны ГСОУ – это территориально распределенная система информационно-вычислительных центров и автоматизированных рабочих мест (АРМ), развернутых на командных пунктах (КП) штабов и пунктах управления (ПУ) ВС. Они коммутируются между собой разветвленной сетью каналов открытых и закрытых систем связи, обеспечивающих прохождение различной информации: формализованных распоряжений, приказов, докладов и др.

Управление ВС США осуществляется по линии «президент – министр обороны – командующие объединенными командованиями (ОК) ВС», а непосредственное управление стратегическими ядерными силами и средствами возложено на объединенное стратегическое командование [1].

При принятии решений в АСБУ человеку отдается абсолютный приоритет. При этом он присутствует на КП всех уровней. Применение человеко-машинных АСБУ обусловлено несовершенством алгоритмов, отвечающих за выработку сложных стратегических решений.

Рассмотрим этапы развития технической составляющей системы оперативного управления ВС. С появлением ядерного оружия в США (в 1945 г.) управление войсками осуществлялось при помощи телефонной, телеграфной, радио- и почтовой связи, что не удовлетворяло потребностям в оперативности, скрытности живучести управления ядерными силами. Для удовлетворения этих потребностей начали разрабатываться АСБУ. Этапы их развития представлены на рис. 1.

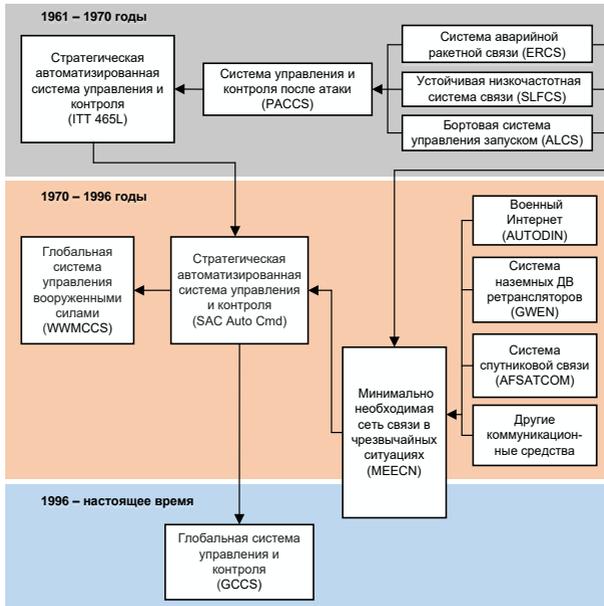


Рис. 1. Схема развития АСБУ СЯС США

Основная задача всех систем боевого управления – доставка сообщений о действиях в чрезвычайной обстановке. Сообщения включают коды отключения предохранительных устройств ядерных боеприпасов и коды запуска. После их введения в систему управления ракеты расчет может непосредственно приступить к процедуре пуска: командир расчета и его заместитель должны одновременно взвести ключи на своих пусковых пультах, расположенных на таком расстоянии, что один человек сделать это не в состоянии [2].

В начале 1960-х гг. корпорацией ITT Corporation была разработана первая стратегическая автоматизированная система управления и контроля ITT 465L, предназначенная для управления силами и средствами стратегического авиационного командования [3].

Система представляла собой сеть компьютерных и коммуникационных систем управления стратегического авиационного командования и включала:

- 1) центры обработки данных, состоящие из ЭВМ и другого оборудования;
- 2) центры управления электронной передачей данных (ЦУЭПД) – узлы связи, связывающие оперативные базы, ракетные комплексы и штабы;
- 3) центры удаленной связи (ЦУС) – состоящие из оборудования для приема и передачи данных на командном пункте оперативной базы;
- 4) центры односторонней удаленной связи – оснащались тем же оборудованием, что и центры удаленной связи.

Позже была создана система управления и контроля после атаки Post-Attack Command and Control System (PACCS), предназначенная для передачи сообщения о действиях в чрезвычайной обстановке после начала военных действий с применением ядерного оружия. PACCS состояла из следующих подсистем [4].

1. Система аварийной ракетной связи – Emergency Rocket Communications System (ERCS). Система разрабатывалась для передачи сообщений о действиях в чрезвычайной обстановке и состояла из МБР, оснащенных полезной нагрузкой в виде сверхвысокочастотных радиопередатчиков сигналов управления.

2. Устойчивая низкочастотная система связи – Survivable Low Frequency Communications System (SLFCS). Система так же, как и ERCS, использовалась для передачи сообщений о действиях в чрезвычайной

ной обстановке. Она представляла собой сеть низкочастотных передатчиков, размещенных на территории США. Система отличалась низкой скоростью передачи сообщений.

3. Бортовая система контроля запуска – Airborne Launch Control System (ALCS). Это система управления запуском с воздуха. Представляла собой воздушный командный пункт на базе самолета EC-135 Looking Glass Боинг 707 с размещенной на нем аппаратурой боевого управления. Воздушный командный пункт позволял вводить данные и осуществлять удаленный запуск МБР непосредственно с борта самолета. Система развертывалась изначально на основе ракет Blue Scout, однако в 1968 г. ракеты заменили на LGM-30F «Минитмен-2».

В мирное время управление ядерными силами производилось посредством системы 465L, а в военное время дублировалось средствами системы PACCS.

В связи с развитием компьютерной техники, введением глобальной системы управления вооруженными силами – World Wide Military Command and Control System (WWMCCS) – к 1975 г. началась замена оборудования системы ИТТ 465L и создание стратегической автоматизированной системы управления и контроля – Strategic Automated Command and Control System (SAC Auto Cmd) [5]. В ходе модернизации была произведена замена компьютеров, создана новая компьютерная сеть PWIN, что привело к образованию двусторонней связи на всех уровнях.

Полностью замена системы ИТТ 465L была завершена только к 1990 г. В 1996 г. Агентство оборонных информационных систем прекратило работу WWMCCS и запустило глобальную систему управления и контроля – Global Command and Control System (GCCS), однако SAC Auto Cmd действует до сих пор в составе GCCS [6].

С 2003 г. SAC Auto Cmd начали подключать к минимальной необходимой сети связи в чрезвычайной ситуации – Minimum Essential Emergency Communications Network (MEECN) [7]. Главное назначение MEECN – обеспечить выдачу от президента в адрес главнокомандующих и ядерных сил распоряжений на чрезвычайные действия. Модернизация MEECN идет по пути введения миниатюрных приемников на носители оружия, повышающих своевременность и надежность связи, а также установки усовершенствованной системы автоматической передачи сообщений в стратегические командные центры, обеспечивающей более быструю и точную передачу сообщений по управлению силами и средствами.

### Заключение

В настоящее время в соответствии с сетцентрическим принципом США развивает свою военную информационную и коммуникационную сеть для управления ВС в целом и СЯС в частности. Прослеживается уход от проводных каналов связи к беспроводным (преимущественно к спутниковым). Также наблюдается смена подхода к разработке новых систем от специально разработанных для военного ведомства к применению уже отработанных, защищенных коммерческих решений. Это позволяет новым АСБУ развиваться в одном темпе с автоматизированными системами гражданского назначения.

### Библиографический список

1. Сидорин А. Н. Вооруженные силы США в XXI в. М.: Кучково поле; Военная книга, 2013. 800 с.
2. SingleIntegratedOperationalPlan.URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Single\\_Integrated\\_Operational\\_Plan](https://en.wikipedia.org/wiki/Single_Integrated_Operational_Plan) (дата обращения: 21.05.2021).
3. Edward P. N. The closed world: computers and the politics of discourse in Cold War America. Massachusetts: The MIT Press. 1996. 440 p.
4. Post-Attack Command and Control System URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Post-Attack\\_Command\\_and\\_Control\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Post-Attack_Command_and_Control_System) (дата обращения: 05.03.2021).
5. Костров В. Глобальная автоматизированная система управления вооруженными силами США // Воен. зарубежник. 1972. № 8. С. 11–18.
6. Global Command and Control System. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_Command\\_and\\_Control\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Global_Command_and_Control_System) (дата обращения: 21.05.2021).
7. Ярыгин В. Система управления стратегическими ядерными силами США. URL: <https://armscontrol.ru/start/rus/basics/us-c3-1.htm> (дата обращения: 21.05.2021).

УДК 539.1.074.2

**А. С. Мкртчян**

студент Военного учебного центра

**В. В. Котович** – кандидат технических наук, доцент кафедры – научный руководитель

### ЦИФРОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Радиоактивное загрязнение местности представляет собой серьезную опасность для здоровья и жизни людей. Поражающее действие радиоактивных веществ (радионуклидов) вызывается ионизирующими излучениями, воздействие которых негативно влияет на здоровье людей и животных, а также приводит к серьезным заболеваниям. Опасность радиоактивного излучения усугубляется тем, что оно невидимо и до появления характерных клинических симптомов не ощущается человеком. Обнаружить его можно только специальными приборами.

Для измерения уровня ионизирующих излучений предлагается использовать цифровой дозиметр, в основу работы которого заложен ионизационный метод. Метод основан на воздействии радиации на электрически нейтральные атомы (молекулы) газа, помещенного в изолированную камеру. Под воздействием излучений атомы (молекулы) газа разделяются на положительные и отрицательные ионы. Если в эту камеру поместить два электрода, к которым приложено постоянное напряжение, то между электродами создается электрическое поле, под воздействием которого в ионизированном газе возникает направленное движение заряженных частиц, т. е. через газ проходит электрический ток. Значение тока зависит от интенсивности ионизирующих излучений [3].

Приборы, работающие на основе ионизационного метода, содержат камеру, заполненную газом, преобразователи измерительного сигнала, измерительное устройство и устройство отображения информации [5]. Структурная схема цифрового дозиметра представлена на рис. 1.

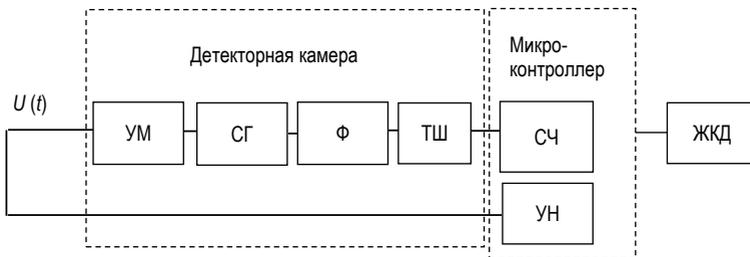


Рис. 1. Структурная схема цифрового дозиметра

Дозиметр состоит из детекторной камеры и микроконтроллера. Состав детекторной камеры:

- умножитель напряжения (УМ), необходимый для формирования высоковольтного импульсного напряжения из низковольтного импульсного управляющего напряжения (УН), поступающего с микроконтроллера;

- счетчик Гейгера (СГ), представляющий собой камеру, заполненную газом;

- триггер Шмидта (ТШ), необходимый для преобразования импульсов, пришедших со счетчика Гейгера, в импульсы требуемой длительности и формы.

Газ внутри счетчика Гейгера ионизируется под воздействием радиации. При подаче на электроды счетчика высокого импульсного напряжения в нем за время действия этого импульса возникают высокочастотные импульсы ионизационного тока. Фильтр (Ф), находящийся на выходе счетчика Гейгера, отсекает высоковольтную низкочастотную составляющую сигнала, а пропускает на вход триггера Шмидта высокочастотный низковольтный импульсный сигнал, пропорциональный интенсивности ионизирующего излучения. Триггер Шмидта преобразует импульсы, пришедшие со счетчика Гейгера, в по-

следовательность прямоугольных импульсов требуемой формы. Микроконтроллер принимает (С4) и преобразует в код поступившую на его вход импульсную последовательность, а затем передает полученное значение уровня радиации на жидкокристаллический дисплей (ЖКД) [1].

Аналоговая часть схемы цифрового дозиметра собрана и промоделирована в программе Multisim. Схема содержит высоковольтную часть цифрового дозиметра (рис. 2), где формируется импульсное высокое напряжение амплитудой 400 В при токе в 15 мкА. Высоковольтная часть разделена на три узла: импульсный повышающий трансформатор, умножитель напряжения и счетчик Гейгера [4, 5]. Модель счетчика Гейгера в библиотеке программы Multisim отсутствует, и поэтому на схеме он представлен в виде трех элементов: резистора R2, низковольтного импульсного генератора V2 и фильтра C3. Резистор R2 имитирует внутреннее сопротивление счетчика Гейгера. Генератор V2 формирует низковольтные высокочастотные импульсы, имитирующие ионизационный ток, возникающий в счетчике под воздействием радиации. Фильтр C3 отсекает высоковольтную низкочастотную составляющую сигнала.

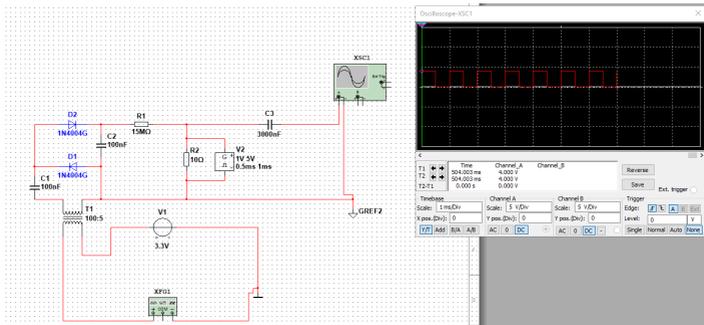


Рис. 2. Схема высоковольтной части цифрового дозиметра, выполненная в Multisim

Цифровая часть схемы дозиметра собрана и промоделирована в программе Proteus (рис. 3). Для корректной симуляции работы схемы измерительного устройства в программе Proteus потребовалось понизить точность вычисления, так как программа недостаточно корректно моделирует работу схем, содержащих аналоговые элементы [1, 2]. В программе Proteus, так же как и в Multisim, отсутствует библиотечная модель счетчика Гейгера, поэтому на схеме он представлен в виде низковольтного импульсного генератора сигналов амплитудой 5 В.

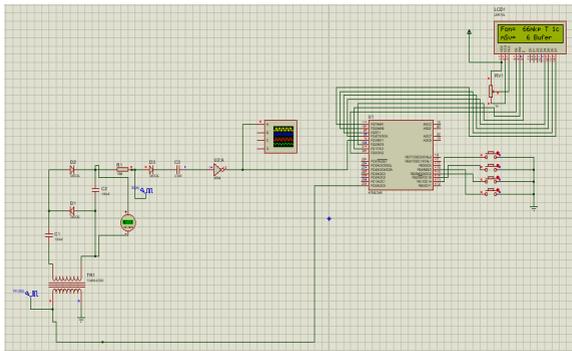


Рис. 3. Моделирование схемы в программе Proteus

По результатам анализа компьютерного моделирования были подобраны диапазоны входных воздействий, режимы работы и основные элементы схемы цифрового измерителя мощности дозы, а также разработан основной вид его принципиальной электрической схемы (рис. 4).

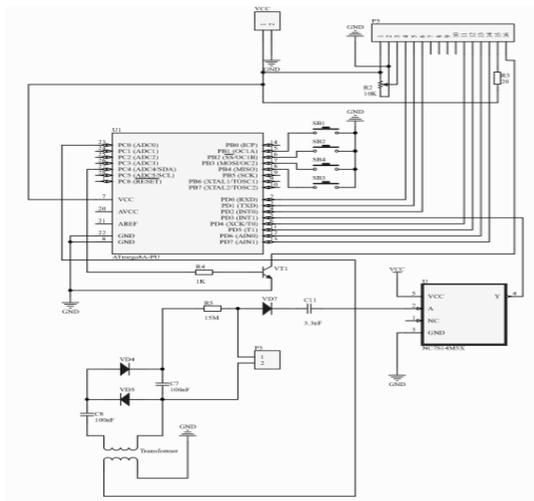


Рис. 4. Электрическая схема в Altium Designer

Для реализации принципиальной электрической схемы цифрового измерителя мощности дозы на печатной плате была использована САПР AltiumDesigner, редактор которой позволяет оптимально разместить элементы схемы и токопроводящие дорожки (рис. 5).

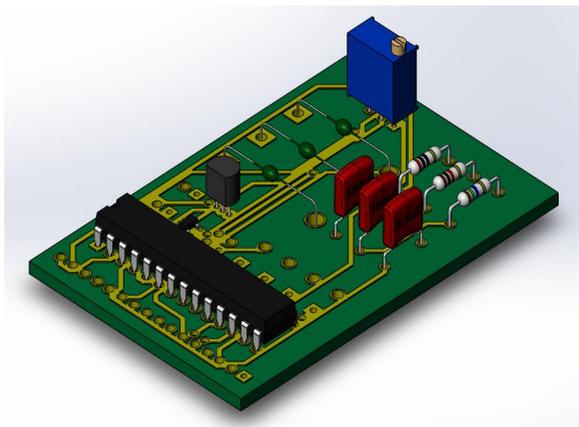
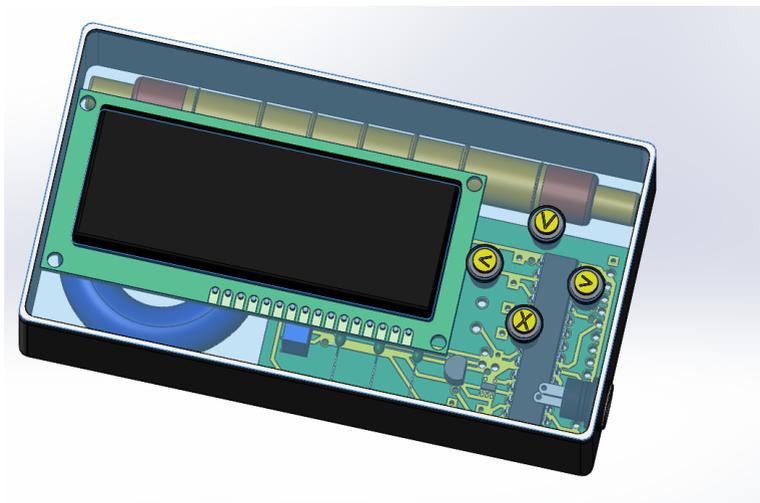


Рис. 5. Разработанная печатная плата в SolidWorks

Виртуальная трехмерная модель разрабатываемого устройства была построена с использованием САПР SolidWorks 2017 и входящих в нее программных пакетов CircuitWorks и Electrical (рис. 6).



*Рис. 6. Готовая модель устройства*

Таким образом, использование современных компьютерных технологий позволило в ограниченные сроки и с минимальными расходами разработать проект цифрового измерителя мощности дозы, метрологические характеристики которого не уступают характеристикам аналогичных существующих дозиметров.

#### **Библиографический список**

1. Трамперт В. Измерение, управление и регулирование с помощью AVR микроконтроллеров, М.: МК-Пресс, 2006. 205 с.
2. Баранов В. Н. Применение микроконтроллеров AVR. Схемы, алгоритмы, программы. М.: Додэка-XXI, 2010. 288 с.
3. Виноградов Ю. Продуктовый дозиметр // Радио. 2000. № 4 С. 30–32.
4. Мачусский Е. А. Радиотехника: энциклопедия. М.: Додэка-XXI, 2002. 944 с.
5. Виноградов Ю. А. Радиолюбительские конструкции в системах контроля и защиты. М.: Солон-Р, 2001. 190 с.

УДК 531.3

*И. Д. Оленев, Д. С. Гоголев*

студенты Военного учебного центра

*П. М. Безняков* – кандидат технических наук – научный руководитель

### ЗАДАЧА О ПЕРЕВЕРНУТОМ МАЯТНИКЕ И ЕЕ ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ

#### Введение

В настоящее время ведется активная борьба за рынок вывода полезной нагрузки на околоземную орбиту за счет снижения стоимости вывода 1 кг. Один из путей снижения стоимости – многократное использование разгонных ступеней, которые до недавнего времени были одноразового действия. Частным случаем многоразового использования ступеней являются управляемый возврат и вертикальная посадка их на Землю.

Сама идея по созданию многоразовых космических кораблей с вертикальным взлетом и посадкой зародилась около 30 лет назад и активно развивается в наши дни. Задача вертикальной стабилизации ступеней ракеты приобретает новый прикладной смысл. В данной статье рассматривается задача вертикальной и боковой стабилизации на примере механической системы, состоящей из перевернутого маятника на тележке, которую можно рассматривать как физическую модель объекта управления.

#### Постановка задачи

Объект управления – часть системы управления. Для того чтобы осуществить синтез системы управления, необходимо исследовать динамику поведения объекта управления.

Цель работы – разработка модели объекта управления и исследование динамики поведения объекта управления в пространстве состояний.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи.

1. Разработка физической модели объекта управления.
2. Разработка математической модели объекта управления.
3. Разработка имитационной модели объекта управления.
4. Исследование динамики объекта в пространстве состояний.

В соответствии с системой понятий и терминологий при анализе управляемых процессов выделяются и рассматриваются два основных объекта в системе управления – объект управления (ОУ) и объект, предназначенный для осуществления управления, т. е. для выработки и реализации управляющих воздействий [1].

На рис. 1 представлена структурная схема системы автоматического управления с обратной связью. На схеме управляющий объект представлен совокупностью устройств трех видов – измерительного устройства (датчиков), управляющего устройства и исполнительного устройства. Управляющий объект совместно с объектом управления образуют систему управления.



Рис. 1. Структурная схема системы управления с обратной связью

На схеме использованы следующие обозначения:  $\vec{Y}(t)$  – команды управления,  $\vec{M}(t)$  – управляющие силы и моменты,  $\vec{D}(t)$  – значения параметров системы, определяемые измерительными устройствами (датчиками),  $\vec{X}(t)$  – вектор состояния системы,  $\vec{X}_0$  – вектор начального состояния системы.

### Разработка физической модели системы

Вертикальную стабилизацию ступени при посадке можно свести к классической задаче динамики – стабилизации физического обратного маятника, которая представляет собой упрощенную плоскую модель системы боковой и угловой стабилизации.

При определении условий равновесия физического обратного маятника на тележке возникает весьма важный вопрос о том, будет ли это равновесие практически реализуемым, т. е. устойчивым, или нет.

Рассмотрим физический обратный маятник на тележке. Он состоит из массы  $m$  на вершине стержня длины  $L$  (рис. 2), поворачивающегося относительно горизонтально подвижной основы (тележки) на углы  $\theta$ . Тележка может выполнять линейные перемещения на расстояние  $x$ . Динамика этих перемещений зависит от сил  $\vec{F}_u$ , действующих на тележку. Сила реакции опоры  $\vec{N}$ , действующая со стороны шарнира на маятник, имеет точку приложения, находящуюся ниже центра масс маятника. В силу этого обратный маятник неустойчив и для поддержания вертикального положения должен постоянно балансироваться.

Пренебрежем трением при перемещении тележки и сопротивлением воздуха. Также не будем учитывать массу и упругость стержня. Зададимся параметрами моделируемой механической системы:  $M = 1 [кг]$  – масса тележки, включая все навесное оборудование, кроме маятника;  $m = 0,5 [кг]$  – масса маятника;  $L = 1 [м]$  – расстояние от точки подвеса маятника до его центра масс;  $g = 9,8 [м/с^2]$  – ускорение свободного падения;  $k = 0,2 [Н \cdot м \cdot с]$  – коэффициент трения в шарнире подвеса маятника;  $\theta_0 = \frac{\pi}{6}, \dot{\theta}_0 = 0, x_0 = 0, \dot{x}_0 = 0$  – начальное состояние объекта в момент времени  $t_0 = 0$ ;  $\theta_0 = 0, \dot{\theta}_0 = 0, x_0 = 0, \dot{x}_0 = 0$  – целевое состояние объекта.

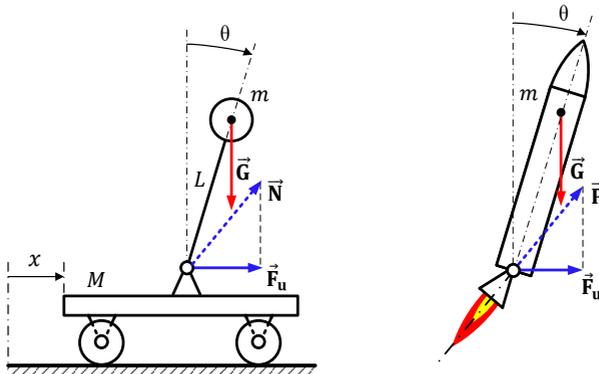


Рис. 2. Физическая модель объекта управления

Точка приложения силы тяги  $\vec{P}$  ракетного двигателя также расположена ниже центра масс ракеты, вызывая нестабильность требуемого положения (см. рис. 2). Управляя вектором тяги, можно до-

биться вертикального положения ракеты с нулевым боковым смещением и удерживать его вблизи этого положения в течение времени [1].

### Разработка математической модели системы

С учетом введенных обозначений и ограничений составим математическую модель физического обратного маятника на тележке в форме обыкновенных дифференциальных уравнений в обобщенных координатах (уравнений Лагранжа) [2]:

$$\begin{cases} L \cdot \ddot{\theta} - g \cdot \sin(\theta) - \ddot{x} \cdot \cos(\theta) - k\dot{\theta} = 0 \\ (m + M) \cdot \ddot{x} + m \cdot \ddot{\theta} \cdot L \cdot \cos(\theta) - m \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \sin(\theta) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Представим (1) в форме уравнений состояния [3]:

$$\begin{cases} \dot{\theta} = \omega \\ \dot{\omega} = \frac{g \cdot \sin(\theta) - b \cdot \omega^2 \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\theta) - k\dot{\theta}}{L \cdot (1 + b \cdot \cos^2(\theta))} \\ \dot{x} = v \\ \dot{v} = b \cdot \frac{L \cdot \omega^2 \cdot \sin(\theta) - g \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\theta)}{1 + b \cdot \cos^2(\theta)} \\ b = \frac{m}{M + m} \end{cases} \quad (2)$$

### Разработка имитационной модели устройства управления

Имитационное моделирование, имитирующее поведение системы, проводилось в интегрированной среде разработки для языка программирования Python – PyChart. Выбор среды обусловлен удобством представления модели на естественном математическом языке и возможностью использования встроенных инструментов программирования.

На рис. 3–4 представлены результаты имитационного моделирования без учета трения (а) и с учетом (б).

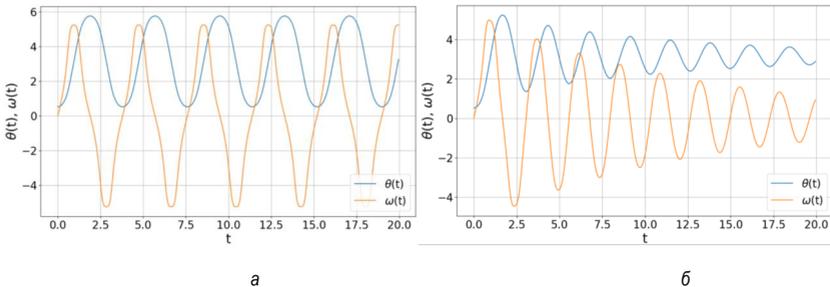


Рис. 3. Результаты имитационного моделирования объекта управления

На рис. 3 наглядно видно, что система по своей природе является колебательной. Это следует учитывать при синтезе устройства управления. При наличии трения в подвесе, которое в свою очередь присутствует в реальной модели, система стремится к устойчивому положению равновесия, не совпадающему с целевым.

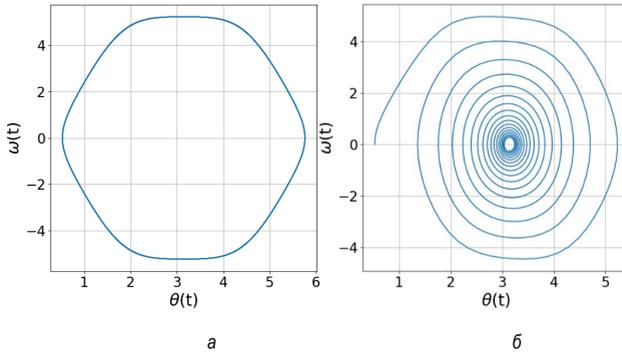


Рис. 4. Результаты имитационного моделирования объекта управления

### Заключение

В результате работы получено математическое описание перевернутого маятника, пригодное для разработки алгоритмов и структур стабилизации обратного маятника на тележке. Рассмотренная механическая система при наличии трения в шарнире является неустойчивой по отношению к целевому состоянию, т. е. отклонение маятника даже на малый угол относительно целевого состояния выведет систему из равновесия.

### Библиографический список

1. Колобеков Р. Р. Дипломный проект / рук. П. М. Безняков; С.-Петерб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения. СПб., 2020. 138 л.
2. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики: учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 2010. 416 с.
3. Стрейц В. Метод пространства состояний в теории дискретных линейных систем управления / под ред. Я. З. Цыпкина. М.: Наука. Глав. Ред. физико-матем. лит., 1985. 296 с.

УДК 004.42, 621.317

**Д. А. Пономарев**

студент Военного учебного центра

**В. В. Котович** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Существует необходимость в создании простого и интуитивно понятного программного обеспечения для обучения пользователей проектированию цифровых измерительных устройств. Такое программное обеспечение – важный инструмент при проектировании цифровых измерительных устройств, а также служит для виртуального обучения и консультирования пользователей [1].

Программная часть обучающего программно-аппаратного комплекса (в дальнейшем – ОПАК) реализована на языке программирования Python и содержит теоретический материал, разбитый по смыслу на отдельные уроки [2]. Основу, или ядро программы, составляет сервер, который позволяет компилировать код пользовательских проектов с помощью подключенных утилит. Сервер имеет простой и интуитивно понятный визуальный интерфейс. Меню интерфейса содержит уроки, названия которых кратко раскрывают их суть. Каждый урок содержит пояснения в виде ссылок, всплывающих окон или подсказок, которые подключают медиафайлы, хранящиеся в корне программы. Структура сервера представлена на рис. 1.

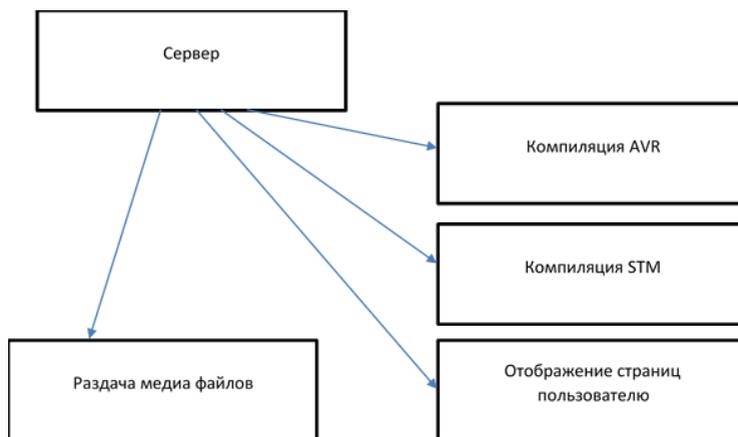


Рис. 1. Структурная схема работы сервера

Файлы программы ОПАК объединены по функциональному назначению в папки (директории). Папка docs – директория, которая хранит все уроки, которые группируются тематически по типу изучаемого микроконтроллера (AVR, STM32), микрокомпьютера или ПЛИС. Папка media – директория с медиафайлами, используемыми в уроках для наглядности. Директории temp и tempStm применяются для хранения откомпилированных пользователями проектов. Папка web – директория для хранения файлов, отвечающих за визуализацию программы ОПАК при открытии сервера через любой браузер.

При написании сервера программы были использованы библиотеки bottle, shutil, shell языка программирования Python. Визуальная веб часть программы ОПАК (Front-End) написана на JavaScript с использованием фреймворка Vue.js.

Программа ОПАК содержит компиляторы кода для создания hex-файлов и утилиты для прошивки различных микроконтроллеров, которые запускаются в ходе выполнения соответствующего уро-

ка по желанию пользователя. Например, при работе с микроконтроллерами серии AVR компиляция происходит с помощью программы avr-gcc, а загрузка программы прошивки производится утилитой avrdude. А при работе с микроконтроллерами серии STM32 компиляция производится с помощью gcc-arm-none-eabi, а загрузка программы прошивки – утилитой st-link.

Разработанная компьютерная программа позволяет пользователю: 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 (комментариями); прошить микросхему и продемонстрировать работу устройства. Все уроки содержат специально подобранные комментарии и ссылки на теоретические материалы по программированию и проектированию, а также на технические описания электронных компонентов (DataSheet). Данная программа обобщает разрозненные материалы по вопросам проектирования, моделирования и программирования, которые можно найти в Интернете, в единый комплекс. Текст, рисунки и видео дополняют, а не повторяют друг друга, что позволяет ускорить процесс обучения.

Для удобства работы с программой ее интерфейс содержит минимум элементов, чтобы не отвлекать пользователя. Этому же способствуют светлые тона заголовков всплывающих окон.

Главное меню программы ОПАК (рис. 2) предоставляет возможность пользователю выбрать для изучения микроконтроллеров или ПЛИС соответствующий обучающий модуль либо познакомиться со справочной информацией. Все обучающие модули имеют описания, позволяющие новым пользователям быстрее ориентироваться в программе.

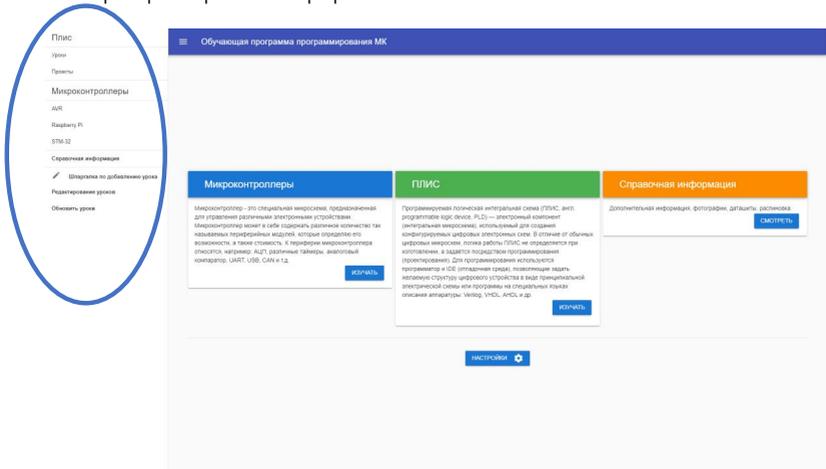


Рис. 2. Главное меню ОПАК

В левой части главного меню программы ОПАК имеется колонка, содержащая дерево главного меню, а также меню для редактирования и обновления уроков.

При нажатии кнопки ИЗУЧАТЬ в обучающем модуле «Микроконтроллеры» откроется окно «Изучение Микроконтроллеров» (рис. 3). Окно содержит три модуля для изучения микроконтроллеров: AVR, STM32 и микрокомпьютера RaspberryPi. Каждый модуль имеет описание.

При нажатии кнопки ИЗУЧАТЬ соответствующего модуля открывается окно с уроками. На рис. 4 представлен интерфейс модуля обучения работе с микроконтроллерами серии AVR. Он содержит перечень уроков. Уроки можно удалять и перемещать по списку вверх или вниз. По умолчанию они расположены по возрастанию уровня сложности.

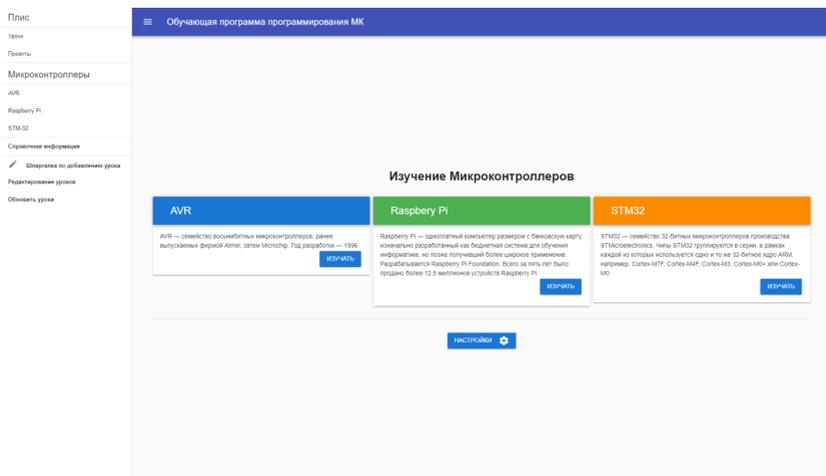


Рис. 3. Окно «Изучение Микроконтроллеров»

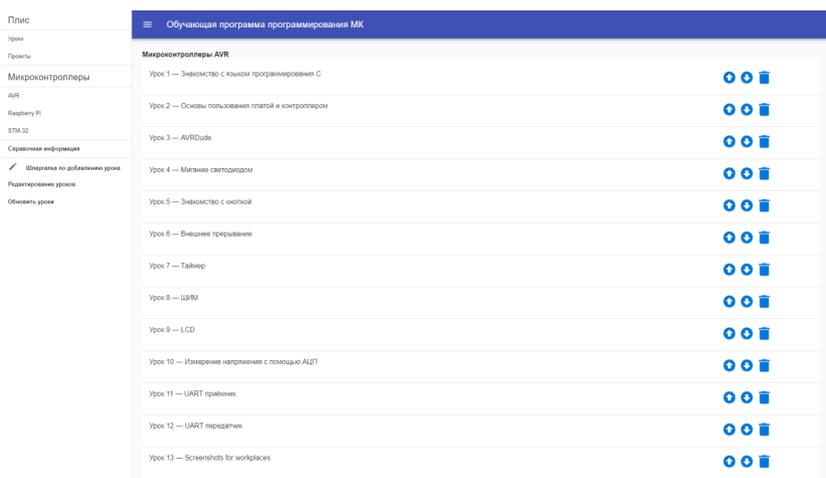


Рис. 4. Модуль обучения работе с микроконтроллерами серии AVR

Интерфейс модуля обучения работе с микрокомпьютерами серии RaspberryPi содержит четыре урока (рис. 5).

Интерфейс модуля обучения работе с микроконтроллерами серии STM32 содержит шесть обучающих уроков (рис. 6).

Визуальная часть интерфейсов обучающих модулей имеет одинаковую структуру размещения смысловой информации. Информация в каждом из уроков размещается в виде отдельных статей.

Каждый обучающийся, изучив все уроки выбранного модуля, может создавать собственные уроки. Для этого в главном меню программы ОПАК необходимо в левой колонке выбрать пункт меню «Редактирование уроков» или «Обновить уроки».



Рис. 5. Модуль обучения работе с микрокомпьютерами серии RaspberryPi



Рис. 6. Модуль обучения работе с микроконтроллерами серии STM32

После соответствующего выбора появится окно «меню редактирования и создания уроков» (рис. 7). Интерфейс окна позволяет пользователю быстро перейти в соответствующий обучающий модуль и выбрать урок для редактирования из уже существующих или создать новый урок.

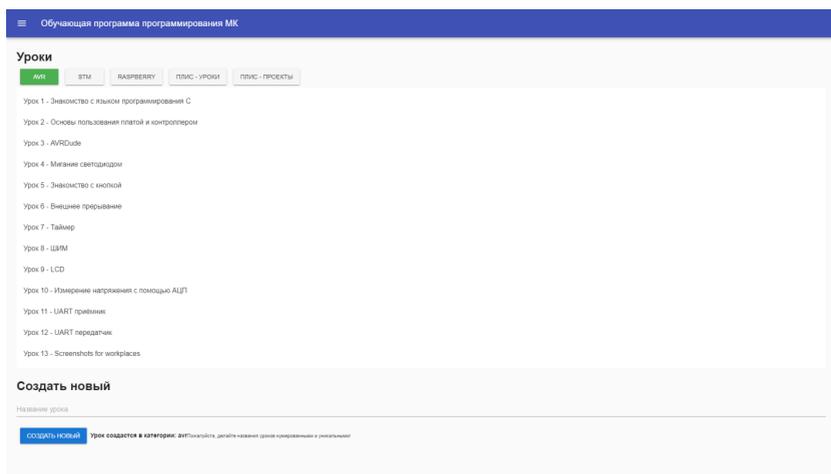


Рис. 7. Окно меню редактирования и создания уроков

Окно меню редактирования и создания уроков имеет интуитивно понятный интерфейс. В его верхней части находится перечень обучающих модулей, в которых можно создавать новые уроки

или редактировать созданные ранее. После выбора обучающего модуля появляется окно с полным списком созданных ранее уроков. При выборе одного из уроков открывается окно с его текстовым описанием.

На рис. 8 предоставлено изображение окна в режиме редактирования одного из уроков. В левой части экрана расположено окно текстового редактора, а в правой – вид отредактированного текста в окне урока.

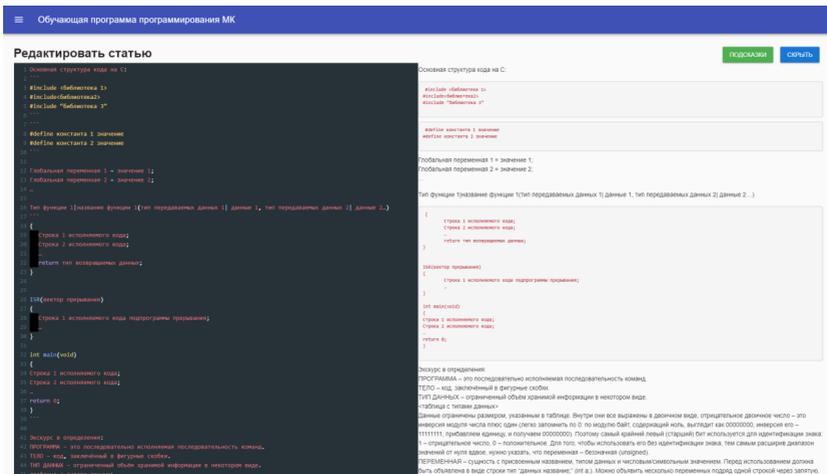


Рис. 8. Интерфейс редактора текста в режиме редактирования одного из уроков

На рис. 9 представлен вид окна текстового редактора в режиме создания нового урока. Если в уроке не предусмотрено написание кода для программирования микросхемы, то в поле редактора следует написать попе.



Рис. 9. Интерфейс редактора текста в режиме создания нового урока

Создание урока происходит по аналогии с редактированием. При этом следует обратить внимание на уникальность его названия и правильный выбор его порядкового номера в модуле.

На рис. 10 представлен пример внешнего вида окна одного из уроков. Окно с уроком визуально разбито на две части: левую – текстовую и правую – программную. На рис. 10 эти части выделены рамками оранжевого и голубого цветов соответственно. В левой части интерфейса рассматривается теоретический материал, связанный с темой урока, а правая часть содержит программный код для микросхемы, которая используется в данном уроке (проект измерительного устройства). Можно создавать уроки, содержащие только теоретический материал, тогда в правой части окна вместо кода будет

надпись поре и эту часть окна можно скрыть при помощи нажатия синей кнопки СКРЫТЬ в верхней части окна.

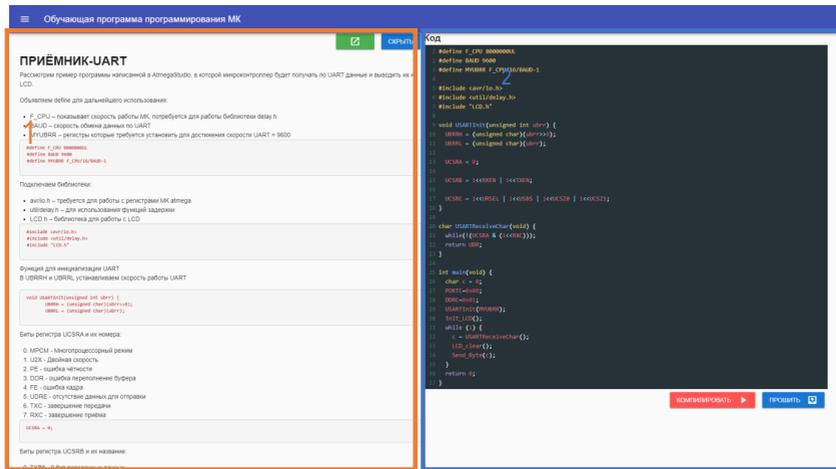


Рис. 10. Внешний вид окна с уроком

По окончании изучения урока можно скомпилировать код и прошить им микросхему. Для этого достаточно последовательно нажать кнопки КОМПИЛИРОВАТЬ и ПРОШИТЬ, расположенные под программной частью окна данного урока. По завершении компиляции появится сообщение о том, что она прошла успешно (рис. 11):

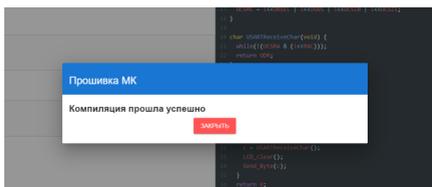


Рис. 11. Уведомление об успешной компиляции

Схематично алгоритм действий пользователя программы ОПАК при создании или редактировании урока можно представить в виде трех действий (рис. 12).

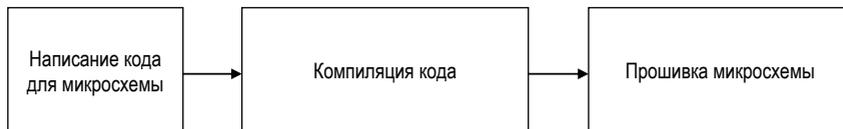


Рис. 12. Алгоритм действий пользователя программы ОПАК

В окне текстового редактора пользователь пишет код для микросхемы на языке Си. Затем преобразует написанный код в файл прошивки, используя для этого соответствующие компиляторы. Да-

лее пользователь записывает код в микросхему, используя соответствующие программы для прошивки схемы.

Аппаратная часть комплекса ОПАК представлена в виде специальных рабочих мест. Они выполнены в виде удобных для переноса и транспортировки кейсов, содержащих все необходимые компоненты для работы с данным семейством микроконтроллеров, благодаря чему пользователь может сразу после ознакомления с теоретическим материалом приступить к работе с уже испытанным оборудованием. Универсальное рабочее место для изучения микроконтроллеров представлено на рис. 13.



Рис. 13. Содержание кейса универсального рабочего места для изучения микроконтроллеров

Состав рабочего места.

1. Микроконтроллеры Atmega8, Atmega32, STM32.
2. LCD-дисплеи.
3. Провода типа розетка – розетка, вилка – вилка, розетка – вилка.
4. Пассивные элементы (резисторы, диоды и пр.).
5. Программатор.
6. Источник питания.
7. Макетная плата breadboard.

Разработанный обучающий программно-аппаратный комплекс ОПАК позволяет обучать основам работы с микроконтроллерами, микрокомпьютерами, ПЛИС. Важная особенность комплекса – возможность пользователями разрабатывать новые и совершенствовать созданные ранее измерительные устройства, что позволит использовать его в учебном процессе подготовки специалистов-метрологов.

#### Библиографический список

1. Котович В. В. Использование обучающего программно-аппаратного комплекса для подготовки специалистов // Актуальные вопросы исследований в авионике: теория, обслуживание, разработка: сб. тезисов докл. IV Всерос. науч.-практ. конф. «АВИАТОР», Воронеж, 16–17 февр. 2017 г., Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017. С. 191–193.
2. Котович В. В., Назаргулов И. Р., Немилостив И. Ю. Обучающий программно-аппаратный комплекс для проектирования цифровых измерительных устройств // Семьдесят третья Междунар. студ. науч. конф. ГУАП: сб. докл.: в 5 ч. Ч. 2. Технические науки. СПб.: ГУАП, 2020. С. 202–206.

УДК 654.01

**Е. Г. Шумков, Н. К. Добрышев**

студенты Военного учебного центра

**В. Б. Николаев** – научный руководитель

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОЛЕВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

### Введение

Главная задача линейно-кабельных частей и подразделений войск связи – обеспечение многоканальной связи между полевыми узлами связи пунктов управления в интересах устойчивого и непрерывного управления войсками в любых условиях оперативной обстановки. Решение этой задачи достигается за счет строительства полевой кабельной линии связи (ПКЛ) путем прокладки магистрального кабеля П-296, установки требуемого количества оконечных пунктов (ОП), необслуживаемых усилительных пунктов (НУП), обслуживаемых усилительных пунктов (ОУП), пунктов выделения каналов связи (ПВ), контрольно-технических постов (КТП), а также настройки ПКЛ-296/302 и сдачи созданных каналов во вторичную сеть узла связи [1].

Выполнение этих задач невозможно без предварительного планирования мероприятий по строительству полевой кабельной линии.

### Основная часть

Боевая задача на развертывание и эксплуатационное обслуживание ротных участков ПКЛ (рис. 1) служит основой планирования и доводится командиром части связи до исполнителей боевым распоряжением (приказом), а в отдельных случаях в устной форме, но с последующим ее оформлением в письменном виде.



Рис. 1. План развертывания и эксплуатационного обслуживания РУ ПКЛ

Целью планирования является выбор наиболее эффективного и согласованного использования всех сил и средств связи линейно-кабельного подразделения при строительстве и эксплуатации ПКЛ и всестороннего обеспечения строительства линии связи.

После получения приказа командир линейно-кабельной роты уясняет задачу; оценивает обстановку; изучает трассу ротного участка ПКЛ; готовит л/с и материальную часть к выполнению задачи; принимает решение на организацию развертывания и эксплуатации ПКЛ; определяет способы и методы прокладки магистрального кабеля, разрабатывает план развертывания и эксплуатационного обслуживания РУ ПКЛ; формирует строительные команды; ставит задачи командирам взводов, начальникам рекогносцировочной и измерительных команд; организует выполнение этих задач.

Принятое решение оформляется документально в виде Плана развертывания и эксплуатации РУ ПКЛ с приложениями, который разрабатывается на кодированной топографической карте масштаба 1:100 000 и содержит элементы плана боевого применения части связи, относящиеся к ротному участку.

План – основной документ в роте, отражающий решение командира подразделения на развертывание и эксплуатацию ротного участка ПКЛ. Он подписывается командиром роты и утверждается командиром части в ходе выполнения задачи.

### **Выбор трассы ПКЛ**

Выбор трассы магистрали включает определение направления прокладки кабеля и уточнение методов и способов его развертывания, мест размещения элементов ПКЛ и резерва связи, а также мест дислокации подразделений и частей по трассе. Трассу магистрали первоначально определяют по карте, исходя из поставленной задачи, сложившейся обстановки и данных разведки, а затем уточняют в ходе рекогносцировки.

### **Рекогносцировка**

Рекогносцировочная команда предназначена для уточнения трассы прокладки кабеля, детализации задач и методов работы линейных, измерительных и станционных команд на местности в ходе развертывания ПКЛ.

В ходе развертывания ПКЛ при постепенно открывающемся фронте работ рекогносцировка ведется непрерывно вслед за продвижением войск, на минимально возможном удалении от них. При открытом фронте работ рекогносцировка может проводиться заблаговременно непосредственно командиром роты.

Задачи рекогносцировочной команды:

- уточнение на местности трассы прокладки кабеля, границ рабочих участков линейных команд и мест размещения ОП, НУП, ОУП и КТП, не подвергающихся затоплению от паводков, ливней, с учетом организации их защиты от всех видов оружия противника;
- поиск путей обхода населенных пунктов и препятствий, переходов через водные преграды, железнодорожные линии, шоссе и дороги и линии электропередачи;
- места размещения резерва;
- ведение радиационной и химической разведки на трассе и определение направления развертывания ПКЛ через зоны заражения.

Для повышения эффективности решения задач рекогносцировки в работе предлагается использовать мобильный робототехнический комплекс (МРТК) [2].

### **Использование МРТК**

МРТК представляет собой комбинацию мобильной платформы и сменных модулей (рис. 2). Благодаря модульности конструкции, ее масштабируемости и сменному навесному оборудованию можно эксплуатировать одну и ту же систему для различных сценариев использования: проведение рекогносцировки в сложных метеорологических и тактических условиях, разведки местности в условиях применения противником оружия массового поражения, в условиях массовых завалов и зон, подвергшихся огневому поражению противника, уточнение и проверка трассы ПКЛ, расстановка ГЛОНАСС – меток

трасс. Благодаря навесному оборудованию мобильный комплекс позволяет обеспечивать прокладку кабеля связи через труднопроходимые участки местности.



Рис. 2. Модель мобильного робототехнического комплекса

Возможные сменные модули:

- манипулятор (2 оси, 4 оси),
- ковш,
- емкость для перевозки грузов (жидкости, твердые тела),
- распылитель средств пожаротушения,
- оборудование для прокладки кабеля,
- катушечный станок.

Режимы работы МРТК.

Ручной режим с дистанционным управлением: оператор использует пульт для управления движением робототехнического комплекса и выполнения поставленных задач, т. е. управление комплексом может осуществляться из пункта управления линии.

Ручной режим в составе рекогносцировочной группы представляет собой работу МРТК под управлением оператора-водителя.

Автономный режим – работа МРТК происходит в автоматическом режиме без вмешательства человека по ранее запрограммированному маршруту для выполнения задачи. Для автономного распознавания местности служат лазерные сканеры и видеокамеры, информация от которых формирует управляющие команды движения. Без вмешательства оператора робот способен преодолеть расстояние по пересеченной местности из одной точки в другую, используя спутниковую навигацию или заложенные в память карты местности.

#### Техническое оснащение

Для выполнения рекогносцировочных работ мобильный робототехнический комплекс необходимо оснастить следующим набором датчиков:

- 1) датчиками динамического окружения: ультразвуковые и инфракрасные датчики, камеры технического зрения, лазерные сканеры;
- 2) датчиками загрязнения среды: датчики химического заражения, датчики радиационного заражения, датчики биологического заражения;
- 3) датчиками положения МРТК в пространстве: ГЛОНАСС, гироскоп, акселерометр, магнитометр.

#### Заключение

Использование автоматизированных средств повышает скорость развертывания ПКЛ и уменьшает возможные потери личного состава. Совместная работа нескольких МРТК позволяет увеличить

скорость работ по рекогносцировке и развертыванию ПКП, что позволит установить устойчивую многоканальную связь в установленные сроки и с требуемым качеством.

**Библиографический список**

1. Руководство по развертыванию и эксплуатации полевых кабельных линий связи вооруженных сил СССР. Воениздат, 103160, М., К-160.

2. Горячев О. В., Фимушкин В. С., Чуканов К. П. Мобильные сухопутные робототехнические комплексы – основные определения и классификационные признаки, направления и проблемы в создании и применении. Современные наземные робототехнические комплексы. URL: [http://otvaga2004.ru/na-zemle/na-zemle-11/modern\\_land\\_robots](http://otvaga2004.ru/na-zemle/na-zemle-11/modern_land_robots) (дата обращения: 18.04.2021).

УДК 621.785

**В. А. Яровой**

студент Военного учебного центра

**Ю. В. Скороспехов** – кандидат технических наук – научный консультант

### БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ. ВОЗМОЖНОСТИ УМЕНЬШЕНИЯ ГАБАРИТОВ АППАРАТА

В последнее время широкую популярность обрели беспилотные летательные аппараты (БПЛА), которыми активно пользуется как гражданское население, так и военная часть общества. Они имеют большой спектр применения от доставки малогабаритных грузов до военной разведки.

По сравнению с пилотируемыми летательными аппаратами, БПЛА предназначены для выполнения миссий, представляющих существенную опасность для людей, а также миссий, имеющих неоправданный большой расход ресурсов на выполнение примитивных действий. В БПЛА может быть установлено соответствующее программное обеспечение на выполнение различных задач в автономном режиме, т. е. без участия человека.

Изначально БПЛА создавались предпочтительно для военных целей, но с развитием технологий нашли применение в гражданских сферах (патрулирование и наблюдение, доставка товара, аэрофотосъемка, видеосъемка, сельское хозяйство и др.) (рис.1) [1].

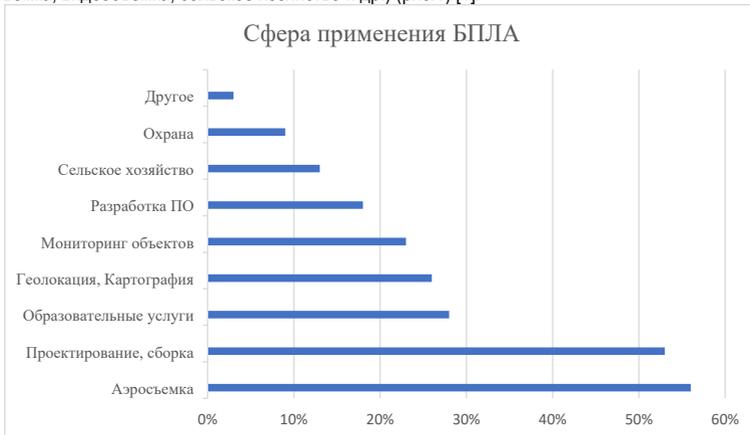


Рис. 1. Сферы применения беспилотных летательных аппаратов

Классификация беспилотных летательных аппаратов может производиться по различным критериям, таким как:

- сфера использования;
- тип системы управления;
- правила полета (визуальные, приборные и визуально-приборные);
- класс воздушного пространства (сегрегированные и несегрегированные);
- тип крыла (самолетные, вертолетные и конвертоплановые);
- направление взлета/посадки;
- тип взлета/посадки;
- тип двигателя;
- топливная система;
- тип топливного бака;

- количество использований;
- категория (с учетом массы и максимальной дальности действия);
- радиус действия;
- высота использования;
- функциональное назначение.

Рассмотрим такой критерий, как система управления, ввиду того, что взаимодействие данной системы по беспроводным каналам связи с оператором или системой регулирования воздушного движения является ключевым [1].

По данному критерию БПЛА можно классифицировать как:

- дистанционно пилотируемые – управляются непосредственно оператором в зоне видимости через наземную станцию;
- дистанционно управляемые – работают автономно, но могут потенциально управляться пилотом или оператором, использующим только обратную связь, через другие подсистемы контроля;
- автоматические – выполняют предварительно запрограммированные действия без управления пилотом и не имеют возможности изменять план действий во время полета или адаптироваться к внешним изменениям, но многократные могут перепрограммироваться перед каждым вылетом с учетом изменения окружающей среды и собранного материала на предыдущих вылетах;
- дистанционно-управляемые авиационной системой – выполняют низкоуровневое управление встроенными системами или наземной станцией, а высокоуровневое управление траекторией полета и/или состоянием контролируется оператором;
- беспилотно-автоматические – полетом управляют полностью встроенные беспилотные автоматические системы без вмешательства оператора или использования наземной станции, которые могут быть перепрограммированы с учетом изменений в среде или новых целях [1].

В настоящее время все большее распространение в гражданской сфере получили FPV – БПЛА мультикоптеры. FPV (First PersonView «вид от первого лица») представляет собой способ управления БПЛА с помощью видеокamеры на борту, которая в реальном времени передает видеоданные пилоту мультикоптера, что позволяет управлять квадрокоптером вне поля человеческого зрения.

Мультикоптер – это летальное средство, реализованное по вертолетной схеме с тремя или более несущими винтами, использующее бесколлекторные электродвигатели и литий-полимерные аккумуляторы в качестве источника энергии. Управляются такие средства дистанционно посредством связи по радиоканалу полетного контроллера БПЛА и пульта радиоуправления. С пульта управления подаются заданные команды на приемник БПЛА, после приема данные передаются на полетный контроллер, который включает реализацию и распределение всех основных функций мультикоптера. На основе принятой команды и показаний датчиков, которые реализованы на конкретном аппарате, встроенное программное обеспечение на базе определенного алгоритма отправляет управляющие сигналы на двигатели БПЛА. Следовательно, полетный контроллер – своего рода «мозг» летательного аппарата [1].

Вооруженные силы Российской Федерации в рамках развития и совершенствования беспилотной авиации находятся на уровне передовых стран мирового сообщества.

Создание в 2013 г. Управления (строительства и развития системы применения беспилотных летательных аппаратов) Генерального штаба Вооруженных сил Российской Федерации и реформирование Центра в Государственный центр беспилотной авиации позволило четко структурировать управление беспилотной авиацией в масштабах Вооруженных сил, оперативно решать вопросы подготовки специалистов, формирования подразделений беспилотных летательных аппаратов и оснащать их современными образцами вооружения, военной и специальной техники [2].

Беспилотники различаются по массе (от аппаратов массой в 0,5 кг, сравнимых с авиамodelью, до 10–15-тонных гигантов), высоте и продолжительности полета. Беспилотные летательные аппараты массой до 5 кг (класс «микро») могут взлетать с любой самой маленькой площадки и даже с руки, поднимаются на высоту 1–2 км и находятся в воздухе не более часа. Как самолеты-разведчики их используют, например, для обнаружения в лесу или в горах военной техники и террористов. Беспилотники класса «микро» массой всего 300–500 г, образно говоря, могут заглянуть в окно, поэтому их удобно использовать в городских условиях.

Поэтому использование БПЛА данного класса представляет интерес для использования их в военной области для решения отдельных специфических задач. С этой точки зрения уменьшение габаритно-весовых характеристик является актуальной задачей, так как обеспечивает снижение их радио- и оптической заметности.

Основная идея общего уменьшения габаритов БПЛА – уменьшение количество винтов. Самым малогабаритным можно считать беспилотник на одном винте или же монокоптер (рис. 2).

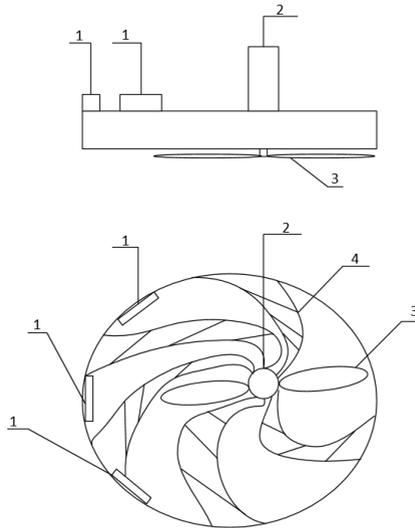


Рис. 2. Монокоптер: 1 – литий полимерная батарея, 2 – мотор, 3 – лопасти винта, 4 – рассекатели воздуха

Проведены разработки опытных образцов монокоптеров для двух версий летательного аппарата, меньшая из которых размером с обычную монету (около 25 мм в диаметре) и весит 2,5 г, а более крупная и маневренная на 1 см больше в диаметре и на 2 г тяжелее.

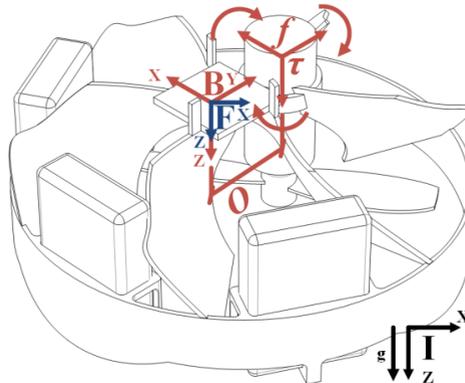


Рис. 3. Схема управления монокоптера

Основная идея, позволяющая сократить размер, заключается в том, чтобы заместить четыре небольших винта у квадрокоптера, для которых нужны акселерометр и гироскоп, чтобы синхронизировать моторную систему, на один по крупнее. Мотор смещен от центра и создает этим крутящий момент, который стремится перевернуть коптер, но ему никак не удастся это сделать из-за скорости вращения корпуса (40–50 оборотов в секунду, винт до 800 оборотов в секунду) (рис. 3) [3].

Направляется же коптер управлением скорости вращения и направления корпуса. Электропитание монокоптера осуществляется тремя литиевыми полимерными батареями.

Естественно, с уменьшением габаритов мы теряем величину грузоподъемности, но данный монокоптер способен поднять небольшую камеру или датчик.

#### **Библиографический список**

1. Бондарев А. Н., Киричек Р. В. Обзор беспилотных летательных аппаратов общего пользования и регулирования воздушного движения БПЛА в разных странах / под редакцией СПбГУТ. URL: <https://www.sut.ru/doci/nauka/review/20164/13-23.pdf> (дата обращения: 21.03.2021).

2. Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами / Гос. центр беспилот. авиации М-ва обороны Рос. Фед. URL: [https://function.mil.ru/files/morf/Sbornik\\_dokladov\\_konferencii\\_bla.pdf](https://function.mil.ru/files/morf/Sbornik_dokladov_konferencii_bla.pdf) (дата обращения: 21.03.2021).

3. PICCOLISSIMO / Univ. of Pennsylvania. URL: <https://www.modlabupenn.org/2016/10/27/piccolissimo/> (дата обращения: 21.03.2021).

## СОДЕРЖАНИЕ

### АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

<b>Аэрокосмические измерительно-вычислительные комплексы .....</b>	<b>3</b>
<i>Аристов А. А., Епринцев М. А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМА EPNP ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ОПТИЧЕСКОГО МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ МИКРОСПУТНИКОВ В ГРУППЕ .....	3
<i>Аристов А. А., Епринцев М. А.</i> УЧЕБНО-ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ СТЕНД ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДВЕСА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА .....	5
<i>Гизова Н. Т.</i> РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ.....	7
<i>Красненков Н. С.</i> РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО СОЗДАНИЮ БПЛА САМОЛЕТНОГО ТИПА ДЛЯ ПОИСКА И СПАСЕНИЯ ЛЮДЕЙ .....	9
<i>Кудашев А. В.</i> СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТЫ ПОЛЕТА МОДЕЛИ РАКЕТЫ МЕТОДАМИ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ .....	12
<i>Пеньковский А. А.</i> КОНТУР УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ ПОЛЕТНОГО КОНТРОЛЛЕРА Р1ХНАВК4 .....	15
<i>Усольцева М. Е.</i> ОБОСНОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЛИКА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ВЕРТОЛЕТНОГО ТИПА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СОВРЕМЕННОГО МЕГАПОЛИСА.....	17
<b>Системный анализ и логистика .....</b>	<b>19</b>
<i>Азизов А. Э., Мазуренко Е. А.</i> ДОСТАВКА НА СЛЕДУЮЩИЙ ДЕНЬ .....	19
<i>Варкентин Д. Д.</i> МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО АНАЛИЗА АО «ПТЗ».....	21
<i>Деомидов В. В.</i> О ВЫРАБОТКЕ ОСНОВНЫХ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕВИТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ.....	26
<i>Деомидов В. В.</i> ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МИРЕ ..	32
<i>Елкина Д. А.</i> СОВРЕМЕННОЕ ВЛИЯНИЕ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ .....	36
<i>Каргина Е. С.</i> СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ЖИВОЙ ФОРЕЛИ ..	41
<i>Ларионов Н. А.</i> АНАЛИЗ ДЕТСКОГО ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ТРАВМАТИЗМА НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОСЕЛЬСКОГО РАЙОНА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА.....	49
<i>Паньков М. Г.</i> ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ БЕССЕРВЕРНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ БЕССЕРВЕРНЫХ ФУНКЦИЙ .....	55
<i>Умнов А. В., Сидоров А. Д.</i> ЛОГИСТИКА ФОРМУЛЫ-1.....	58
<i>Федотов Д. О.</i> АНАЛИЗ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕВСКОГО РАЙОНА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ .....	61
<i>Шаперова В. С.</i> РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ КОЛИЧЕСТВА СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И НЕОБХОДИМЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ДОЛЖНОСТНЫХ ОБЯЗАННОСТЕЙ СОТРУДНИКОВ АДМИНИСТРАЦИИ....	66
<i>Шарипова В. Д.</i> НАУКОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ В ОБЛАСТИ РУКОВОДСТВА ДАННЫМИ НА ОСНОВЕ БАЗ ДАННЫХ РИНЦ И SCOPUS.....	70
<i>Щекина К. В.</i> СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ЦЕПОЧКАМИ ПОСТАВОК.....	74
<b>Эксплуатация и управление аэрокосмическими системами.....</b>	<b>77</b>
<i>Баталев С. А.</i> АЛГОРИТМ СЖАТИЯ ВИДЕОДАННЫХ ДЛЯ АВТОНОМНОГО НАКОПИТЕЛЯ .....	77

<b>Беликов И. Д.</b> ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА, ОБОРУДОВАННОГО ЗАЩИТНЫМ ЭКРАНОМ.....	79
<b>Беляков А. А.</b> ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРХМАЛЫХ БАС МУЛЬТИРОТОРНОЙ СХЕМЫ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ .....	81
<b>Волков Я. С.</b> ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ УРОВНЯ РЯДОВОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ .....	83
<b>Гребенщиков Д. И.</b> ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА СПУТНИКОВЫХ ФОТОГРАФИЯХ .....	87
<b>Дудина О. В.</b> НАВЕДЕНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ЦЕЛЬ ПО МЕТОДУ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО СБЛИЖЕНИЯ .....	90
<b>Задириенко А. И.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАЕКТОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ ОПТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖИТЕЛЯ .....	93
<b>Королев Е. А.</b> АНАЛИЗ ВОПРОСА РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБУЕМЫХ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА КОСМОПЛАНА ПРИ РЕШЕНИИ ЦЕЛЕВЫХ ЗАДАЧ .....	96
<b>Переладов А. А.</b> КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ПРИЕМНИКОВ ВОЗДУШНОГО ДАВЛЕНИЯ.....	99
<b>Петров А. А.</b> ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИЙ MESSAGE PASSINGINTERFACE.....	103
<b>Петров А. Ю.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМАЛЬНОЙ МЕТОДИКИ NETWORKCALCULUS К АНАЛИЗУ КОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ .....	105
<b>Сайфуллина А. В.</b> СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НАВЕДЕНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА .....	110
<b>Семенова В. П.</b> СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ РУЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ И ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ.....	113
<b>Сидоренко Д. М.</b> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ НА БАЗЕ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ.....	116
<b>Цируль Я. Г.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ И СТАБИЛИЗАЦИЕЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА .....	118
<b>Чайка Д. А.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА МАКСИМУМА ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫМ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ НА ОРБИТЕ .....	121
<b>Чуглов А. С.</b> ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ В РАСПОЗНАВАНИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ .....	125

## **РАДИОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОНИКА И СВЯЗЬ**

<b>Радиотехнические и оптоэлектронные комплексы.....</b>	<b>127</b>
<b>Алексеев В. А.</b> АНАЛИЗ ШИРОКОПОЛОСНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ .....	127
<b>Безытный С. А.</b> ОБНАРУЖЕНИЕ ДВИЖУЩИХСЯ НАЗЕМНЫХ ЦЕЛЕЙ В БОРТОВОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ.....	131
<b>Венедиктов Н. А., Музафаров Д. А., Мохорт Д. Ю.</b> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИГНАЛОВ В АЛГОРИТМАХ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ НИЗКОЛЕТЯЩИХ ЦЕЛЕЙ ...	136
<b>Кожемякин Р. Д.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРА СЖАТИЯ СИГНАЛА С ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ .....	139
<b>Мохорт Д. Ю., Музафаров Д. А., Венедиктов Н. А.</b> ПРОВЕДЕНИЕ НЕОБХОДИМЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ КОРРЕКТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МИКРОПОЛОСКОВОГО ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩЕГО ФИЛЬТРА В ДИАПАЗОНЕ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ.....	143

<i>Музафаров Д. А., Мохорт Д. Ю., Венедиктов Н. А.</i> УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КАНАЛООБРАЗУЮЩИЙ МОДУЛЬ ЦИФРОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ ОБНАРУЖЕНИЯ НИЗКОЛЕТЯЩИХ ЦЕЛЕЙ.....	145
<i>Пирожков Р. А.</i> АНАЛИЗ СИГНАЛА АКСЕЛЕРОМЕТРА ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ АСИММЕТРИИ ПОХОДКИ .....	149
<i>Шулепина П. А.</i> ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ РАДАРА С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ АНТЕННЫ ПРИ АППРОКСИМАЦИИ ТРАЕКТОРНОГО СИГНАЛА ОКНОМ БАРЛЕТТА.....	153
<b>Конструирование и технологии электронных и лазерных средств.....</b>	<b>157</b>
<i>Голятин В. В.</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НИКЕЛЬ-ВОДОРОДНОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА.....	157
<i>Китаев В. В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО УГЛЕВОДОРОДА ПРИ ПОМОЩИ СПЕКТРАЛЬНОГО ПРИБОРА OCEAN OPTICS.....	160
<i>Мисникова Т. С.</i> РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ МЕТОДАМИ ПРИКЛАДНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ.....	164
<i>Никифоров К. А.</i> РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ СВЕРХМАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА .....	167
<i>Прохоров А. В.</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПЕРЕДАЧУ СИГНАЛА ПО ОПТИЧЕСКОМУ ВОЛОКНУ.....	171
<i>Савенко П. Л.</i> ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПОМЕЩЕНИЙ ЛУННЫХ СТАНЦИЙ .....	175
<i>Ульянова П. П.</i> МАЛЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ, ПРОБЛЕМЫ ИХ РАЗРАБОТКИ И РАЗВИТИЯ.....	179
<i>Шинтарь Д. Р., Тюрина И. А.</i> СИСТЕМНО-АППАРАТНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ОЧИСТКЕ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА.....	182
<b>Медицинская радиоэлектроника .....</b>	<b>184</b>
<i>Белокур Д. О.</i> УСТАНОВЛЕНИЕ ТАКТОВОЙ синхронизации по информационным СИГНАЛАМ OFDM.....	184
<i>Беляева В. С.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАВМ БЕДРЕННОЙ КОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СУДМЕДЭКСПЕРТИЗЫ.....	187
<i>Боборыкин Е. В.</i> РЕАЛИЗАЦИЯ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ СЕРВОПРИВОДОМ АНТЕННЫ ЗЕМНОЙ СТАНЦИИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ .....	190
<i>Гагарина Д. С.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕДКОРРЕКЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ.....	197
<i>Галактионов А. Ю.</i> АНТЕННА РАДИОРЕЛЕЙНОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ ДИАПАЗОНА 80 ГГЦ.....	201
<i>Галактионов А. Ю.</i> РАЗРАБОТКА УЗКОНАПРАВЛЕННОЙ АНТЕННЫ ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА 80 ГГЦ.....	204
<i>Карелина Д. С.</i> КОМПЛЕКСНАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕРМИЧЕСКИХ ПОРАЖЕНИЙ КОЖНОГО ПОКРОВА .....	206
<i>Козлов К. Э.</i> ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ НА ОСНОВЕ АНСАМБЛЯ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОДОВОГО И ПОЗИЦИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ СИГНАЛОВ.....	210
<i>Кулигин М. А.</i> МОДЕЛИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ЗАМИРАНИЙ РАДИОСИГНАЛА СПУТНИКОВОЙ РАДИОЛИНИИ В ДОЖДЕ.....	213
<i>Ларин С. Д.</i> ПРОТОКОЛ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ В КАНАЛЕ МЕТЕОРНОЙ СВЯЗИ.....	217

<i>Лебедева В. А.</i> БИОМЕХАНИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ СТРУКТУР ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ ДИСПЛАЗИИ ПРИ КОРРЕКЦИИ В ДЕТСКОМ ВОЗРАСТЕ .....	222
<i>Ложкина В. А.</i> АНАЛИЗ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ АЛГОРИТМА ПРИЕМА СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ МЕЖСИМВОЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ .....	225
<i>Мажник И. В.</i> РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БОРТОВОЙ АНТЕННЫ, ЗАКРЫТОЙ ТЕПЛОЗАЩИТНЫМ МАТЕРИАЛОМ И СЛОЕМ РАСПЛАВА .....	231
<i>Макарова В. А.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СРЕДСТВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА И ИХ СТРУКТУРЫ .....	235
<i>Пайгусова Г. А.</i> СПОСОБ АДАПТАЦИИ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ КАНАЛАХ СВЯЗИ .....	243
<i>Сафронова А. А., Пашкова П. А.</i> БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОТДЕЛОВ ПОЗВОНОЧНОГО СТОЛБА ПОСЛЕ ОПЕРАЦИИ .....	246
<i>Сергеева З. Д.</i> СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ И ГИРОСКОПОВ .....	250
<i>Середенко В. А.</i> СИНТЕЗ АНСАМБЛЯ КВАЗИОРТОГОНАЛЬНЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ НАД РАЗЛИЧНЫМИ ПОЛЯМИ ГАЛУА .....	254
<i>Соколова Е. А.</i> БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЧЕЛЮСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ УДАРА .....	258
<i>Соколова Е. А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ .....	262
<i>Ткачева Е. В.</i> ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ПОДОПТИМАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ПРИЕМА СИГНАЛОВ ПРИ НАЛИЧИИ МЕЖСИМВОЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ .....	266
<i>Торлюн И. М.</i> СИСТЕМА ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА КАРДИОРИТМОГРАММЫ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ .....	272
<i>Ярмаль К. В.</i> ОБЗОР ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ МЭМС-АКСЕЛЕРОМЕТРОВ И ГИРОСКОПОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОЛОЖЕНИЯ И ДВИЖЕНИЙ ШЕИ ЧЕЛОВЕКА .....	276
<i>Ярмаль М. В.</i> СРАВНЕНИЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОЛОЖЕНИЯ И ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА .....	280
<b>ВОЕННЫЙ УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР .....</b>	<b>286</b>
<i>Алексеева Ю. Е.</i> ЦИФРОВОЙ АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА НА ОСНОВЕ ПЛИС .....	286
<i>Гасанбеков М. Т.</i> РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ ВО ВСЕВЫСОТНОМ ОБНАРУЖИТЕЛЕ В СЛУЧАЕ КОМБИНАЦИИ ТРИАНГУЛЯЦИОННОГО МЕТОДА С РАЗНОСТНО- ДАЛЬНОМЕРНЫМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДВУХ КОМПЛЕКСОВ ПАССИВНОЙ ЛОКАЦИИ .....	292
<i>Демиденко А. С.</i> СНИЖЕНИЕ ЗАМЕТНОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ АКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ .....	295
<i>Добрицкая А. В.</i> ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОСВЕЩЕННОСТИ .....	298
<i>Дубина Н. А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ ИМИТИРУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН .....	302
<i>Дульнее В. В., Михайлов И. П.</i> ПРИМЕНЕНИЕ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ОПТИЧЕСКО-ВОЛОКОННОЙ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ .....	305
<i>Жданович Д. А.</i> РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО ИМИТИРУЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ТРАКТА СОПРЯЖЕНИЯ С РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИЕЙ .....	310

<b>Загерсон М. В.</b> ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ ВО ВСЕВЫСОТНОМ ОБНАРУЖИТЕЛЕ В СЛУЧАЕ КОМБИНАЦИИ ТРИАНГУЛЯЦИОННЫХ МЕТОДОВ .....	315
<b>Иванов Н. М.</b> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ ЧАСТИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО ИМИТИРУЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ТРАКТА СОПРЯЖЕНИЯ С РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИЕЙ .....	320
<b>Калинин А. Д., Речкалов Е. В.</b> ПРОБЛЕМА СВЯЗИ С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ В СТРАТОСФЕРЕ .....	323
<b>Кузьмин А. А.</b> МИКРОЭЛЕКТРОНИКА. ПРОБЛЕМА УМЕНЬШЕНИЯ РАЗМЕРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ .....	326
<b>Мерцалов А. И.</b> СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЯДЕРНЫМИ СИЛАМИ США .....	330
<b>Мкртчян А. С.</b> ЦИФРОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ .....	333
<b>Оленев И. Д., Гоголев Д. С.</b> ЗАДАЧА О ПЕРЕВЕРНУТОМ МАЯТНИКЕ И ЕЕ ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ .....	337
<b>Пономарев Д. А.</b> АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ .....	341
<b>Шумков Е. Г., Добрышев Н. К.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОЛЕВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ .....	348
<b>Яровой В. А.</b> БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ. ВОЗМОЖНОСТИ УМЕНЬШЕНИЯ ГАБАРИТОВ АППАРАТА .....	352

Научное издание

СЕМЬДЕСЯТ ЧЕТВЕРТАЯ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ  
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ГУАП  
(19–23 апреля 2021 г.)

Часть 1

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Сборник докладов

ISBN: 978-5-8088-1610-7



9 785808 816107

Ответственный за выпуск:  
А. В. Бобович

Редакторская подготовка *С. В. Денисовой*  
Компьютерная верстка *А. Н. Колешко*

---

Подписано к печати 01.09.21. Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 21,0 Уч.-изд. л. 48,2. Тираж 150 экз. Заказ № 336.

---

Редакционно-издательский центр ГУАП  
190000, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, д. 67