

**МИНИСТЕРСТВО МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Компьютерные и информационные  
технологии в науке, инженерии  
и управлении**

**«КомТех-2022»**

Материалы Всероссийской научно-технической  
конференции с международным участием

*В двух томах*

**Том II**

Ростов-на-Дону – Таганрог  
Издательство Южного федерального университета  
2022

УДК 004:[001+62+005](063)  
ББК 32.973-018.2+32.81я43  
К63

*Ответственный редактор С. И. Клевцов*

К63 Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2022» : материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием : в 2 т. / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2022.

ISBN 978-5-9275-4174-4

Т. 2. – 377 с.

ISBN 978-5-9275-4176-8 (Т. 2)

В настоящее издание вошли доклады по материалам Всероссийской научно-технической конференции с международным участием имени профессора О. Н. Пьявченко «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении», рекомендованные к опубликованию Оргкомитетом.

Во второй том материалов конференции вошли доклады участников конференции, посвященные авиационным системам, технологиям беспилотных летательных аппаратов, локальным и распределенным системам мониторинга и управления, современным микро- и нанoeлектронным системам и технологиям, системам связи и навигации, моделированию физических процессов, контролю и управлению в технических системах, системам диагностики состояния биологических и технических объектов, вопросам промышленного дизайна и аддитивным технологиям, компьютерным технологиям в инженерной подготовке, методам, системам и средствам обработки физических сигналов, проблемам мехатроники и робототехники.

Доклады могут быть интересны научным работникам, преподавателям, инженерам и студентам, специализирующимся в применении компьютерной обработки информации в различных областях деятельности человека.

УДК 004:[001+62+005](063)  
ББК 32.973-018.2+32.81я43

ISBN 978-5-9275-4176-8 (Т. 2)  
ISBN 978-5-9275-4174-4

© Южный федеральный университет, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция – Компьютерные технологии в инженерной подготовке

Ashwini S. Ganakwar, R. R. Deshmukh, Swapnil D. Waghmare, Amol R. Gaikwad , Bharati D. Borade, Shalini V. Sathe DESIGN AND DEVELOPMENT OF SPEECH DATABASE FOR DIGITS AND VOWELS IN SANSKRIT LANGUAGE AND RECOGNITION SYSTEM FOR MALE AND FEMALE SPEAKER USING MACHINE LEARNING.....	8
Shalini V. Sathe , Ratnadeep R. Deshmukh , Swapnil D. Waghmare, Amol R. Gaikwad, Bharati D .Borade , Ashwini S. Gankwar RECOGNITION AND DIFFERENTIATION BETWEEN NATIVE AND NON-NATIVE URDU LANGUAGE SPEAKER’S –A REVIEW.....	20
Bharati D. Borade, Ratnadeep R. Deshmukh, Swapnil D. Waghmare, Amol R. Gaikwad, Shalini V. Sathe, Ashwini S. Gankwar DESIGN AND DEVELOPMENT OF MARATHI SPEECH DATABASE AND RECOGNITION OF SPEAKERS FOR NATIVE AND NON-NATIVE EMOTIONAL SPEECH IN MARATHI LANGUAGE : A REVIEW .....	37
Snehal S. Datwase, Ratnadeep R. Deshmukh, Rohit S. Gupta AVAILABLE PALMPRINT DATABASES: A REVIEW.....	49
Deepali A. Mahajan., Namrata Mahender C., Ratnadeep R. Deshmukh IDENTIFYING FACTORS OF INTERNET ADDICTION AMONG FACEBOOK TEENAGER USERS.....	66
Snehal S. Datwase, Ratnadeep R. Deshmukh, Rohit S. Gupta AVAILABLE PALMPRINT DATABASES: A RE- VIEW.....	75
Зарайченков Станислав Максимович, Зарайченков Марк Максимович ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ.....	91
Куприянова Яна Анатольевна, Жихарева Галина Владимировна, Андреев Игорь Владимирович, Изюмцев Даниил Олегович, Луценко Данила Олегович ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРДЦА.....	95

**Секция – Мехатроника и робототехника**

Гисцов Владислав Геннадьевич, Волощенко Юрий Петрович МОДЕЛИРОВАНИЕ МРРТ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ФОТОГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ПАНЕЛИ.....	101
Воротынцев Владислав Сергеевич, Волощенко Юрий Петрович СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ВЫБОР НАКОПИТЕЛЯ ДЛЯ ЖИЛОГО ДОМА.....	106
Лазарев Владимир Сергеевич МЕТОДЫ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ БПЛА В НЕОПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЕ.....	114
Гарсия Бельо Ройлан, Диб Делшан, Меркурьев Игорь Владимирович ДИНАМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТА В МЕДИЦИНЕ.....	120
Зарайченков Станислав Максимович РОБОТЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ.....	127
Зарайченков Станислав Максимович, Ракитина Мария Сергеевна БИОМЕТРИЯ В ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	130
Зарайченков Марк Максимович РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ АВТОПИЛОТА В ЭЛЕКТРОМОБИЛЯХ TESLA.....	134
Carlos Arteaga Caicedo, Vladimir Bonilla Venegas, Marcelo Moya Cajas RECONOCIMIENTO DE PATRONES DE MOVIMIENTO EN LAS SEÑALES EMG DE LOS MÚSCULOS DE LA PIERNA MEDIANTE EL USO DE REDES NEURONALES PROFUNDAS.....	138
Gutierrez Nelson, David Espinoza MOBILE ROBOT DESIGN FOR HUMANITARIAN DEMINING .....	144
Azhar Kadhim Farhood MOBILE ROBOT PATH PLANNING IN ENVIRONMENTAL BASED ON CONVOLUTION NEURAL NETWORK ALGORITHM.....	155
Acosta-Muñoz Francisco, Rueda-Ayala Christian, Paredes-Loor Raúl DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A DISPERSAL BIRD'S SYSTEM USING A DRONE GUIDED WITH COMPUTER VISION.....	162
<b>Секция – Инфокоммуникационные технологии</b>	
Пономаренко Елена Сергеевна, Жмур Даниил Николаевич АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР КЕЙЛОГГЕРОВ.....	168

Ауси Рим Мохаммед, Заргарян Елена Валерьевна

БЕЗОПАСНОЕ ХРАНЕНИЕ ДАННЫХ В ОБЛАЧНОМ ПРОСТРАНСТВЕ С ПОМОЩЬЮ СМАРТ-КОНТРАКТОВ БЛОКЧЕЙНА.....	174
Дровалев Никита Александрович	
ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОКОМУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	180
Клейн Никита Эдуардович, Тарасов Алексей Алексеевич	
АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИНТЕНСИВНОСТИ СЕТЕВОГО ТРАФИКА С ЦЕЛЬЮ ОБНАРУЖЕНИЯ ШПИОНСКОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	183
Зарайченков Марк Максимович	
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 5G ИНТЕРНЕТА.....	189
Жилин Сергей Викторович, Архипенко Владимир Владимирович, Басан Елена Сергеевна	
КВАНТОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КЛЮЧЕЙ ПО БЕСПРОВОДНОМУ ОПТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ СВЯЗИ.....	194
Пилипенко Александр Михайлович, Бондаренко Иван Владимирович	
ПОВЫШЕНИЕ ПОРЯДКА СИСТЕМЫ ФАПЧ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИНТЕЗАТОРОВ ЧАСТОТ.....	201
Марьев Александр Александрович	
ДЕТЕКТОР СЕРЕДИНЫ СИМВОЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА НА ОСНОВЕ ИНТЕРПОЛИРУЮЩЕГО ФИЛЬТРА САВИЦКОГО-ГОЛЕЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ.....	208
Соловьева Виктория Олеговна	
ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МАРШРУТОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ ЯЧЕЙСТЫХ СЕТЕЙ.....	213
Балабаева Ирина Юрьевна, Пьявченко Олег Алексеевич	
ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ФАСЕТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СВЕДЕНИЙ О ТОВАРАХ ПО ИХ АТТРИБУТАМ ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ.....	220
Пьявченко Олег Алексеевич	
ВОПРОСЫ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ФАСЕТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СВЕДЕНИЙ О ТОВАРАХ ПО ИХ АТТРИБУТАМ.....	228

**Секция – Системы связи и навигации**

Зикий Анатолий Николаевич, Кочубей Алексей Сергеевич ДЕТЕКТОР ДЕЦИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН.....	238
Лазарева Анна Эдуардовна, Радио Любовь Петровна РЕЗУЛЬТАТЫ КОРРЕКЦИИ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА МАКСИМАЛЬНО ПРИМЕНИМОЙ ЧАСТОТЫ, ПОЛУЧЕННОГО ПО ДАННЫМ МЕЖДУНАРОДНОЙ СПРАВОЧНОЙ МОДЕЛИ IRL..	244
Бережной Данил Александрович, Ваганова Анастасия Алексеевна, Кисель Наталья Николаевна, Панычев Андрей Иванович МИКРОПОЛОСКОВАЯ АНТЕННА 5G С РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ТОПОЛОГИЕЙ.....	250
Косак Роман Эдуардович, Геворкян Армен Валерьевич, Юханов Юрий Владимирович ИЗЛУЧАТЕЛЬ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ УЗКОУГОЛЬНОГО СКАНИРОВАНИЯ.....	258
Пеньковская Татьяна Константиновна, Геворкян Армен Валерьевич, Юханов Юрий Владимирович ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ДИАГРАММООБРАЗУЮЩЕЙ СХЕМЫ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ ПОДРЕШЕТКИ НА ОСНОВЕ НИЗКОПРОФИЛЬНЫХ ПЕЧАТНЫХ ДИПОЛЬНЫХ АНТЕНН.....	264
Федосов Валентин Петрович, Джалил Садун Джамил, Кучерявенко Светлана Валентиновна АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ПЕРЕДАЧИ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ДАННЫХ В СИСТЕМЕ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОДА ХЭММИНГА НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ МІМО.....	271

**Секция – Авиационные системы, технологии беспилотных  
летательных аппаратов**

Можайцев Виталий Павлович ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОРТАТИВНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА БОРТОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО СУДНА.....	288
Иванов Елисей Андреевич, Рыбалко Александра Дмитриевна ПРОВЕДЕНИЕ И АНАЛИЗ АТАК НА БПЛА.....	303
Силин Олег Игоревич, Басан Елена Сергеевна, Литвиненко Виталий Николаевич, Токарев Михайл Валерьевич ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОГО СЛЕДА КОММЕРЧЕСКИХ БПЛА.....	309

**Секция – Моделирование физических процессов**

Асовский Валерий Павлович, Кузьменко Алла Сергеевна МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АВИАЦИОННОГО ОПРЫСКИВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ.....	319
Белоусова Ольга Васильевна, Гривцов Владимир Владиславович, Куповых Геннадий Владимирович, Клово Александр Георгиевич МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ТУРБУЛЕНТНОГО ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ.....	323
Куповых Геннадий Владимирович, Гривцов Владимир Владиславович, Белоусова Ольга Васильевна, Клово Александр Георгиевич МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ В ПРИБЛИЖЕНИИ КЛАССИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОДНОГО ЭФФЕКТА.....	330
Григорьев Денис Геннадьевич, Петров Алексей Евгеньевич, Лебедев Владимир Дмитриевич ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЦТТН.....	335
Моисеенко Иван Евгеньевич, Кисель Наталья Николаевна МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ, ОТРАЖЕННЫХ ВЗВОЛНОВАННОЙ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ.....	342
Можайцев Виталий Павлович МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОНДУКТИВНЫХ ПОМЕХ НА БОРТОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО СУДНА.....	348
Завьялов Дмитрий Викторович, Конченков Владимир Игоревич, Сивашова Екатерина Сергеевна МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БРИЗЕРА В СВЕРХРЕШЕТКЕ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА.....	360
Андрианов Артур Валерьевич, Зикий Анатолий Николаевич, Кочубей Алексей Сергеевич, Литвинов Михаил Сергеевич ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИНФАЗНОГО ДЕ- ЛИТЕЛЯ ДЕЦИМЕТРОВЫХ ВОЛН .....	364
Федосов Валентин Петрович, Пацюк Тимур АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ МІМО-OFDM В УСЛОВИЯХ АКТИВНЫХ ПОМЕХ .....	371

Секция – Компьютерные технологии в инженерной подготовке

**Ashwini S. Ganakwar, R. R. Deshmukh, Swapnil D. Waghmare,  
Amol R. Gaikawad, Bharati D. Borade, Shalini V. Sathe**

**DESIGN AND DEVELOPMENT OF SPEECH DATABASE FOR  
DIGITS AND VOWELS IN SANSKRIT LANGUAGE AND  
RECOGNITION SYSTEM FOR MALE AND FEMALE SPEAKER  
USING MACHINE LEARNING**

*Speech is the means by which humans communicate with one another. Speech is essentially aimed at attracting the attention of the audience to one's message. English is the official language of numerous organizations around the world, and it receives the most research funding. In terms of Indian languages, just a little amount of work has been done. The efforts done in the field of Indian languages. However, there is virtually little effort done on the Sanskrit language. The technique design and Development of isolated Sanskrit digits and vowels in Sanskrit speakers are described in this study. This study will aid in the development of a platform/interface that will provide information to both learners and researchers. These papers propose using machine learning to create this interface, as well as a database.*

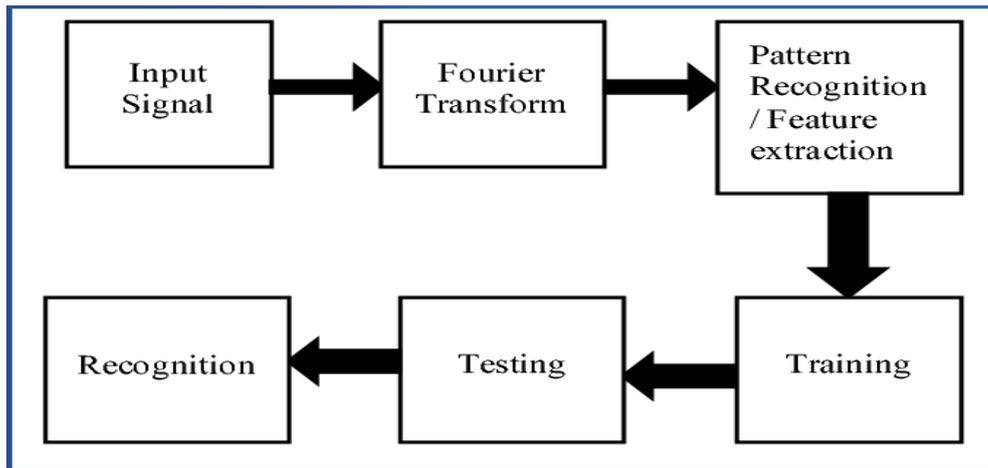
*Speech Recognition, Machine Learning, Sanskrit language.*

**INTRODUCTION**

Speech is the most common and natural way for humans to communicate or interact [1]. Speech is the most widely used mode of communication on the planet earth. Speech is at the Centre of human activity because it allows people to communicate more naturally and effectively with one another. Speech recognition is the process of extracting words or phrases from spoken language and converting them into machine-readable form for processing. Simply, it means talking to your computer and having it understand what you're saying [2]. The researchers are aiming to come up with a new way to communicate with computers. Speech has the capability of being utilized to communicate with a system [3]. Recognizing the design and development of isolated digits and vowels for the Sanskrit language in the research. The most important piece of data is text, which would be recorded from a variety of Sanskrit speakers. The majority of work has been done in other languages, but just a few works have been done in Sanskrit. In this study, we compile a database of solitary speech evolution and examine how the Sanskrit language is spoken.

## Machine Learning

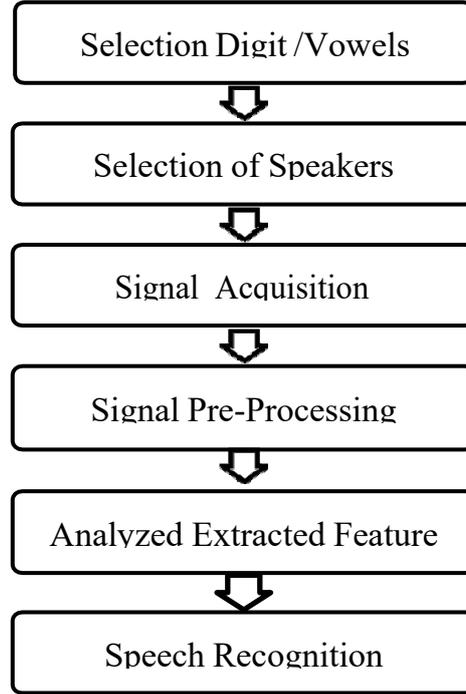
Through a collection of numbers that reflect the voice signal, machine learning (ML) software can produce measurements of uttered words. Speech recognition, often known as speech-to-text, is the capacity of a machine or program to recognition and transforms spoken words into legible text. Speech recognition software that is rudimentary has a with a restricted vocabulary, they may only be able to recognize words and phrases when they are stated clearly.



**Figure 1: System Block Diagram**

## Automatic Speech Recognition System (ASR )

Speech recognition (SR) is the translation of spoken words or sentence into text. "Another name for it is "automated speech recognition" (ASR). The use of computer hardware and software-based approaches to identify and analyses human voice is known as automatic speech recognition (ASR). It's used to either recognize the words a person has said or to verify the speaker's identity in the system. Speech Recognition is an inter-disciplinary research domain. Speech Recognition (is also known as Automatic Speech Recognition (ASR) or computer speech recognition) Automatic speech recognition is also known as automatic voice recognition (AVR), voice-to-text or simply speech recognition.



*Fig2. Work Flow of Proposed System*

The process work is divided into several steps, we begin with the selection of text i.e. digit or vowels sample we have collect from the Sanskrit speakers. Then we select the speak of speakers. Once the speech samples are collected we will be performing pre-processing. The next step is to analyze the extracted features of speech of speakers of Sanskrit. The final step is to recognize the speech of speakers for Sanskrit language.

### **Sanskrit Language**

Sanskrit is Hinduism's, Buddhism's, and Jainism's liturgical language, as well as India's classical language. Additionally, it is one of India's 22 official languages. Sanskrit means "refined," "consecrated," and "sanctified." It has traditionally been thought of as a 'high' language, reserved mostly for religious and scientific discussions. Vedic Sanskrit, the Vedic religion's liturgical language and a pre-Classical form of the Language is one of the Indo-European language family's earliest attested members. The Rig-Veda, a collection of over a thousand Hindu hymns produced during the 2nd millennium BC, is the oldest known Sanskrit scripture. Sanskrit is now mostly utilized as a ceremonial language for hymns and mantras in Hindu religious rites. Sanskrit is also being revived as an everyday spoken language in a Karnataka village, Mattur, near Shimoga. One of India's 17 recognized home languages are a contemporary variant of Sanskrit. Sanskrit has been primarily written with the Latin alphabet since the late nineteenth century. The Devanagari alphabet is a Hindu alphabet. It has also been

written in all other Indian alphabets. With the exception of Gurumukhi and Tamil, as well as other alphabets such as Thai and Tibetan. Sanskrit is written using the Bhaiksuki, Grantham, Sharda, and Siddham alphabets. Sanskrit has been written with the Latin alphabet since the late 18th century. The International Alphabet of Sanskrit Transliteration (IAST), which has been the standard for academic work since 1912, is the most widely used system.

### LITERATURE SURVEY

Sr. No.	Author	Techniques	Conclusion/Observation
1	Pukhraj P. Shrishrimal Ratnadeep R. Deshmukh Vishal B. Waghmare	LDC-IL	This paper study for Indian language for dialects like Hindi, Tamil, Telugu and Bengali. Little work has been done or is continuing for the Marathi Language.
2	Potale shubham , Kharpude Pratik, Patil rahul Ajay kumar gupta	MFCC, LPCC	After studying this paper, I realized that i have completed the work of isolated Word by doing MFCC this method.
3	Yogesh K. Gedam, Sujata S. Magare, Amrapali C. Dabhade, Ratnadeep R. Deshmukh	DTW,MFCC	The main aim of their project is to recognize isolated speech by Using following techniques MFCC and DTW.
4	Devyani S. Kulkarni Ratnadeep R. Deshmukh Pukhraj P. Shrishrimal	DFT,LPC,DFT, Single Chanel Enhancement Techniques ,NSS,ANC	This paper study of different types of Noise and Its Removal Technique shaving objective of increasing the quality of speech signal. and there are many techniques use in the paper.
5	V. K. Kale, 2R.R.Deshmukh, G. B. Janvale	MFCC,LPC, DTW, HMM	The work has been done for recognize the English isolated word and find out the variation between native and non-native speakers.

6	Ashok Kumar, Vikas Mittal	MFCC,LPC, LPL,DTW, HMM	Different techniques are used in this paper, and speech recognition is used in this paper.
7	Yogesh K. Gedam, Paras V. Kothare, Ratnadeep R. Deshmukh	ANN, PRAAT	In this paper with the collected database for developing the ASR for the Marathi numerals for the agriculture purpose.
8	Suman K. Saksamudre, P.P. Shrishrimal, R.R. Deshmukh	ANN,HMM	With the help of different techniques used then with the help it has been match the patterns for the better result.
9	Shaikh Naziya S. , R. R. Deshmukh	LPC ,HMM	In this paper they get the 100% result.
10	Pukhraj P. Shrishrimal, Ratnadeep R. Deshmukh, Vishal B. Waghmare, Sushma Borade, Pooja V. Ganesh B. Janvale	PRAAT	In this paper to design and development of speech corpus in Marathi language of Marathwada region. In two isolated speech database for Agriculture domain, one isolated word speech database.
11	Mr.V.K.Kale, Dr.R.R.Deshmukh, Dr.G.B.Janvale, Mr.V.B.Waghmare, Mr.P.P.Shrishrimal	LPC, MFCC.	By using this MFCC and LPC techniques they 95.75 % recognition MFCC and 61.40 % for LPC through confusion matrix.
12	Pukhraj P. Shrishrimal Ratnadeep R. Deshmukh Vishal B. Waghmare	PCA	To developed speech database can be used for the development of isolated word for agricultural purpose from Aurangabad District of Maharashtra.
13	V. B. Waghmare R. R. Deshmukh G. B. Janvale	Spectra l Subtraction Method , PRAAT	In this paper with the help different emotional speech database in different language.
14	Aaron M. Oirere ,	LPC, MFCC	In this paper to collected 3 data-

	Ganesh B. Janvale Ratnadeep R. Deshmukh	and SVM	bases are used digit, agriculture, isolated words and words and sentences spoken by native and non-native speaker features are extracted by using MFCC and LPC.
15	Pratik K. Kurzekar , Ratnadeep R. Deshmukh , Vishal B. Waghmare , Pokhran P. Shrish- rimal	MFCC, LPC, DTW	Already work done in English language by using ASR technique but we are work on Indian language by using ASR technique.
16	Aaron M. Oirere, Ratnadeep R. Deshmukh, Pukhraj P. Shrishrimal	NLP	They used isolated numeric database swahili language for developing (swahili).It will be useful cover the basic phonetics swahili language spoken by native and non-native speakers of the swahili. The work can be further extended for contentious swahili speech and the current attempt is just for no. (0 to 9).
17	Sujay G. Kakodkar Samarth Borkar	MFCC, K- NN	In this paper to the author to use the k-nn algorithm is the simplest algorithm to design model on the decision boundaries.
18	Sukhminder Singh Grewal & Dinesh Kumar	FFT, LPC	Speaker independent isolated word recognition the result of the accuracy percentage for the trained set recognized was 95% and for the /real set was 81.23% is the highest accuracy rate.

19	Maya Moneykumar Elizabeth Sherly Win Sam Varghese	MFCC , HMM,ANN	In this paper ANN based and HMM based model have been used and testing use performed and testing within the vocabulary and out of the vocabulary .The ANN is the best SRS of isolated words.
20	Kishori R. Ghule, Ratnadeep R. Deshmukh	DWT,ANN	In this paper to NN is the powerful technique for classification and gives the result very fast development of ASR.

**Chhaya S. Patil [2017]** in this research, we used isolated words to create a Marathi database with 100 speakers, ranging in age from 20 to 50, and hailing from the Aurangabad region. There were three utterances in total, with a total of 30,000 utterances. Software for recording PRAAT was used, and the sampling frequency rate was set at 16 kHz [21]. **Smita B. Magre [2014]** in this paper, MFCC and RASTA are used to construct ASR because they provide better and more accurate results, and the DTW technique is used for recognition. It improves the rate of recognition [22]. **Sangramsing Kayte [2015]** In this paper to study our efforts in developing Marathi language speech databases in order to establish a vast vocabulary in this research article. We gathered speech data from approximately 5 speakers in each of these languages. The design and methodology of voice database collecting are discussed. We also show preliminary speech recognition results utilize the acoustic models built on these databases with Sphinx 2 and the Fest vox speech tool kit [23]. **Rohini B. Shinde [2012]** in this study, only Marathi vowels are used in the experiment. The experiment's findings show that 98.5 percent of people can be recognize using the specified SRS technique. The following is a list of things you can do with the information you've gathered All Marathi language individuals who can speak and read Marathi in an adequate form can use the specified SRS system wherever in the world [24]. **Cini Kurian [2009]** this research provides a speaker-independent Malayalam digit speech recognition system. The Mel frequency cepstrum coefficient (MFCC) is used as a signal processing feature, while the Hidden Markov model (HMM) is used for recognition. On a test set of continuous digit recognition tasks, the system had 98.5 percent word recognition accuracy (94.8 percent sentence recognition accuracy) after being trained with 21

male and female voices in the age range of 20 to 40 years [25]. **Siddharth S More [2021]** MFCC traits were used to recognize isolated Pali words. For (IPW) digits and month, the classification success rate was 80.36 percent using MFCC and 81.83 percent using KNN [26]. **Tamer A. Mesallam [2017]** MFCC,LPC SVM Development of the Arabic Voice Pathology Database and Using Speech Features and Machine Learning Algorithms were employed in this paper.[27] **Himgauri Kondhalkar [2017]** He has designed a separate voice recognition system for Marathi speech in this study to Using algorithms. Methods of voice recognition [28]. **Babita Saxena [2015]** in this paper we studied our experiments with Hindi digits voice recognition in this publication. The findings of developing a baseline digits recognizer are pretty encouraging [29]. **Kishori R. [2015]** MFCC is the most commonly used feature extraction technique in this research, while DTW is the most commonly used classification method. The fundamental purpose of this research is to gain a better understanding of the speech recognition process so that a high-accuracy ASR system may be built [30].

### **Conclusion**

This paper presents the procedure that is to be followed for developing the isolated digits and vowels speech database in Sanskrit Language. The proposed database will be useful to cover the basic phonetics for Sanskrit language. The earlier study that was bearer had motivated for the design and development of speech corpus. This corpus will be helpful for the development of Automatic Speech Recognition System which could handle the Sanskrit spoken by nonnative speakers of the Sanskrit. This work can be expanded to include spoken Sanskrit speech. The current effort is limited to digits (0–9) and vowels; however, in the near future, the work will be expanded to include the design and development of a speech database and an automatic speech recognition system. This research will aid in the creation of a platform/interface that will benefit both learners and researchers.

### **Acknowledgment**

This work is supported by Department of Science and Technology under the funds for Infrastructure under Science and Technology (DST-FIST) with sanction no SR/FST/ETI-340/2013 to Department of Computer Science and Technology Dr. Babasaheb Ambedkar Marathwada University Aurangabad, Maharashtra, India. The authors would like to thank Department and University authorities for providing the infrastructure and necessary support for carryout

the research. The authors would like to thank Dr. Babasaheb Ambedkar Research and Training Institute (BARTI) for the financial support in this work.

## REFERENCE

1. *Pukhraj P. Shrishrimal Ratnadeep R. Deshmukh Vishal B. Waghmare* "Indian Language Speech Database: A Review", International Journal of Computer Applications (0975 – 888) Volume 47– No.5, June 2012.
2. Potale shubham, Kharpude Pratik, Patil rahul, Ajay kumar gupta," Design and Development of Word Recognition for Marathi Language", Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR) Vol-3, Issue-6, 2017 ISSN: 2454-1362,<http://www.onlinejournal.in>
3. *Yogesh K. Gedam, Sujata S.Magare, Amrapali C.Dabhade, Ratnadeep R. Deshmukh*, "Development of Automatic Speech Recognition of Marathi Numerals - A Review", International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 3, Issue 9, March 2014.
4. *Devyani S. Kulkarni Ratnadeep R. Deshmukh Pukhraj P. Shrishrimal*" A Review of Speech Signal Enhancement Techniques", International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 139 – No.14, April 2016.
5. *V. K. Kale, R.R.Deshmukh, G. B. Janvale*" Development of English Language Isolated Words' Corpus and Views on Recognition Methods", International Journal of Innovative Research in Technology & Science (IJRTS) · March 2014.
6. *Ashok Kumar, Vikas Mittal* "Speech Recognition: A Complete Perspective", International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878, Volume-7 Issue-6C, April 2019
7. *Yogesh K.Gedam,Paras V. Kothare, Ratnadeep R. Deshmukh*" Design and Development of Speech Database of Marathi Numerals", International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering Volume 4, Issue 3, March 2014.
8. *Suman K. Saksamudre, P.P. Shrishrimal, R.R. Deshmukh*, "A Review on Different Approaches for Speech Recognition System", International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 115 – No. 22, April 2015.
9. *Shaikh Naziya S., R. R. Deshmukh*, "LPC and HMM Performance Analysis for Speech Recognition System for Urdu Digits", IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE), Volume 19, Issue 4, Ver. IV. (Jul.-Aug. 2017), PP 14-18.
10. *Pukhraj P. Shrishirmal, Ratnadeep R. Deshmukh, Vishal B. Waghmare, Sushma Borade, Pooja V. Ganesh B. Janvale*" Development of Marathi Language

- Speech Database from Marathwada Region”, Conference Paper · October 2015.
11. *Mr.V.K.Kale, Dr.R.R.Deshmukh, Dr.G.B.Janvale, Mr.V.B.Waghmare, Mr.P.P.Shrishrimal*, “Isolated English Words Recognition Spoken by Non-Native Speakers”, International Research Journal of Computer Science (IRJCS) ISSN: 2393-9842 Volume 1 Issue 3 (November 2014).
  12. *P. P. Shrishrimal, R. R. Deshmukh, Vishal B. Waghmare*, “development of isolated words speech database of marathi words for agriculture purpose”, Asian Journal of Computer Science and Information Technology 2: 7 (2012) 217 – 218.
  13. *V. B. Waghmare, R. R. Deshmukh, P. P. Shrishrimal, G. B. Janvale* “Development of Isolated Marathi Words Emotional Speech Database”, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 94 – No 4, May 2014.
  14. *Aaron M. Oirere , Ganesh B. Janvale ,Ratnadeep R. Deshmukh*”Automatic Speech Recognition and Verification using LPC, MFCC and SVM” International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 127 – No.8, October 2015
  15. *Pratik K. Kurzekar, Ratnadeep R. Deshmukh , Vishal B. Waghmare , Pukhraj P. Shrishrimal* “A Comparative Study of Feature Extraction Techniques for Speech Recognition System”, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology Vol. 3, Issue 12, December 2014.
  16. *Aaron M. Oirere, Ratnadeep R. Deshmukh, Pukhraj P. Shrishrimal*” Development of Isolated Numeric Speech Corpus for Swahili Language for Development of Automatic Speech Recognition System”, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 74– No.11, July 2013.
  17. *Sujay G. Kakodkar Samarth Borkar*” Speech Emotion Recognition of Sanskrit Language using Machine Learning”, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 179 – No.51, June 2018.
  18. *Sukhminder Singh Grewal & Dinesh Kumar*” Isolated Word Recognition System for English Language”, International Journal of Information Technology and Knowledge Management July-December 2010, Volume 2, No. 2, pp. 447-450.
  19. *Maya Money kumar Elizabeth Sherly*” Isolated Word Recognition System for Malayalam using MachineLearning”, Conference on Natural Language Processing, pages 158–165,Trivandrum, India. December 2015.c©2015 NLP Association of India (NLP AI).
  20. *Kishori R. Ghule, Ratnadeep R. Deshmukh*”, Automatic Speech Recognition of Marathi isolated words using Neural Network”, Mrs. Chhaya S. Patil. Int. Jour-

- nal of Engineering Research and Application [www.ijera.com](http://www.ijera.com) ISSN: 2248-9622, Vol. 7, Issue 3, (Part -5) March 2017, pp.34-36.
21. *Chhaya S. Patil, Prof. Dr. Vaishali B. Patil*”, A Review on Marathi Language Speech Database Development for Automatic Speech Recognition (ASR) System.” Mrs. Chhaya S. Patil. Int. Journal of Engineering Research and Application [www.ijera.com](http://www.ijera.com) ISSN: 2248-9622, Vol. 7, Issue 3, (Part -5) March 2017, pp.34-36.
  22. *Smita B. Magre, Ratnadeep R. Deshmukh*”, Design and Development of Automatic Speech Recognition of Isolated Marathi Words for Agricultural Purpose”, IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE) e-ISSN: 2278-0661, p-ISSN: 2278-8727 Volume 16, Issue 3, Ver. VII (May-Jun. 2014), PP 79-85 [www.iosrjournals.org](http://www.iosrjournals.org).
  23. *Sangramsing Kayte, Monica Mundada, Dr. Charansing Kayte*”, Implementation of Marathi Language Speech Databases for Large Dictionary”, IOSR Journal of VLSI and Signal Processing (IOSR-JVSP) Volume 5, Issue 6, Ver. I (Nov -Dec. 2015), PP 40-45 e-ISSN: 2319 – 4200, p-ISSN No. : 2319 – 4197 [www.iosrjournals.org](http://www.iosrjournals.org).
  24. *Rohini B. Shinde, Latur, V. P. Pawar*, “, A Review on Acoustic Phonetic Approach for Marathi Speech Recognition”, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 59– No.2, December 2012.
  25. *Cini Kurian, Kannan Balakrishnan*,” Speech Recognition of Malayalam Numbers”, 978-1-4244-5612-3/09/\$26.00 c 2009 IEEE.
  26. *Siddharth S More, Prashant kumar L. Borde Dr. Sunil S Nimbhore*,” Isolated Pali Word (IPW) Feature Extraction using MFCC & KNN Based on ASR”, IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE) e-ISSN: 2278-0661, p-ISSN: 2278-8727, Volume 20, Issue 6, Ver. II (Nov - Dec 2018), PP 69-74 [www.iosrjournals.org](http://www.iosrjournals.org).
  27. *Tamer A. Mesallam, Mohamed Farahat, Khalid H. Malki, Mansour Alsulaiman, Zulfikar Ali, Ahmed Al-nasheri, and Ghulam Muhammad*,” Development of the Arabic Voice Pathology Database and Its Evaluation by Using Speech Features and Machine Learning Algorithms”, Hindawi Journal of Healthcare Engineering Volume 2017, Article ID 8783751, 13 pages <https://doi.org/10.1155/2017/8783751>.
  28. *Himgauri Kondhalkar , Prachi Mukherji*,” A Database of Marathi Numerals for Speech Data Mining”, 6th International Conference on Emerging Trends in Engineering, Technology, Science and Management (IETE, Bengaluru) Institution of Electronics and Telecommunication Engineers, Ganganagar, Bengaluru,

Karnataka, India (ICETETSM-17) 07th October 2017,  
[www.conferenceword.in](http://www.conferenceword.in) ISBN:978-93-86171-70-2.

29. *Babita Saxena and Charu Wahi*, "HINDI DIGITS RECOGNITION SYSTEM ON SPEECH DATA COLLECTED IN DIFFERENT NATURAL NOISE ENVIRONMENTS", David C. Wyld et al. (Eds): CSITY, SIGPRO, DTMN - 2015 pp. 23–30, 2015. © CS & IT-CSCP 2015 DOI: 10.5121/csit.2015.50303
30. *Kishori R. Ghule, R. R. Deshmukh*, "Feature Extraction Techniques for Speech Recognition: A Review", International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 6, Issue 5, May-2015 143 ISSN 2229-5518.

**Ashwini S. Ganakwar**, M. Phil Research Fellow, Department of Computer Science and Information Technology, Dr. B. A. M. U. Aurangabad, [ashwiniganakwar22@gmail.com](mailto:ashwiniganakwar22@gmail.com)

**Dr. R. R. Deshmukh**, Professor and Former Head of Department of Computer Science and IT, Dr. Babasaheb Ambedkar Marathwada University, Aurangabad (MS) 431001 India. His research interests are Human computer Interaction, Digital Speech Signal processing, Data Mining, Image Processing, Pattern Recognition, artificial Intelligence, Computational Auditory Scene Analysis (CASA), Neural Networks, GIS and Remote Sensing, Sentiment Analysis etc. He is Fellow member and Chairman of IETE Aurangabad Centre, The Institutions of Electronic and Telecommunication Engineers (FIETE). Senior Member of Association of Computer Electronics and Electrical Engineers (ACEEE). Life member of CSI (Computer Society of India), The Inian Society for Technical Education (ISTE), Indian Science Congress Association (ISCA), Institute of Doctors Engineers and Scientists (IDES). Member of International Association of Engineers (IAEng), computer science Teachers Association. (CSTA), IEEE. DST-FIST Program Coordinator, Coordinator of Global Initiative on Academic Networks (GIAN) Coordinator of Maharashtra. State Marathi World Dictionary Development Committee, Govt. of Maharashtra in the subject of Information Technology and Computer Science. Edited ten books and published more than 165 research paper [rrdeshmukh.csit@bamu.ac.in](mailto:rrdeshmukh.csit@bamu.ac.in).

**Swapnil D. Waghmare**, Ph.D Research Fellow, Department of Computer Science and Information Technology, Dr. B. A. M. U. Aurangabad, [waghmare.swapnil21@gmail.com](mailto:waghmare.swapnil21@gmail.com)

**Amol R. Gaikwad**, M. Phil Research Fellow, Department of Computer Science and Information Technology, Dr. B. A. M. U. Aurangabad, [gaikwadamol@gmail.com](mailto:gaikwadamol@gmail.com)

**Bharati D. Borade**, M. Phil Research Fellow, Department of Computer Science and

Information Technology, Dr. B. A. M. U. Aurangabad, [Bharatiborade3@gmail.com](mailto:Bharatiborade3@gmail.com)

**Shalini V. Sathe**, M. Phil Research Fellow, Department of Computer Science and Information Technology, Dr. B. A. M. U. Aurangabad, [shalinisathe55@gmail.com](mailto:shalinisathe55@gmail.com)

Shalini V. Sathe , Ratnadeep R. Deshmukh , Swapnil D. Waghmare,  
Amol R. Gaikwad, Bharati D .Borade , Ashwini S. Gankwar

## **RECOGNITION AND DIFFERENTIATION BETWEEN NATIVE AND NON-NATIVE URDU LANGUAGE SPEAKER'S –A REVIEW**

*Speech is the natural form of communication. Many languages are present in the world to communicate. Human beings had tried since a long time to create the computer that can understand and talk like humans. This paper is an attempt to isolated word recognition of native and non- native speaker of Urdu language with the use of automatic speech recognition system (ASR). Speech recognition (SR) is a main element of speech interfaces which indentifies human speech in a specific language. The aim of this paper is to review the systems or interfaces developed for some specific tasks in speech recognition system that can be embedded in some application.*

*Speech recognition system, mel-frequency cepstral coefficient (MFCC) , linear predictive coding (LPC) , support vector machine (SVM).*

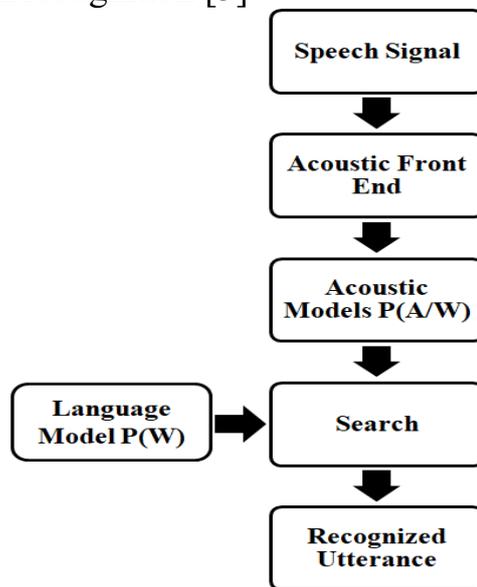
### **INTRODUCTION**

The most frequent mode of communication among humans is speech. Humans speak a variety of languages around the world to communicate with one another. Researchers are working on a system that can analyze and categorize speech signals. The spoken language that computer systems can understand can be tremendously valuable in a variety of fields, including agriculture, health care, and governance. Speech recognition is the ability to listen to spoken words and identify and distinguish the various sounds present in them [1]. Digital signal processing has advanced speech technologies and speech processing in various forms [example: speech enhancement, speech synthesis, speech compression, speaker recognition and speech recognition and verification]. Speaker Dependent and Speaker Independent speech recognition are the two types of speech recognition. Speaker dependent speech recognition could be a system which might only recognize the speech supported particular individual(s) while speaker independent speech recognition system may be a system that may recognize a speech no matter the speaker, it doesn't rely on particular

speakers it's hospitable anyone. There are a wider range of applications which require a person's machine interaction like query based data system, automatic call processing in telephone networks, stock price quotations, data entry, weather reports, voice dictation, and access to information: banking, travel, voice commands, automobiles portal, avionics, speech transcription, physical challenged people shopping, railways reservations etc [2].

**Automatic Speech Recognition System (ASR System)**

Speech recognition (SR) is the translation of spoken words into text. It is also known as "Automatic Speech Recognition or ASR". Speech recognition is an interdisciplinary field of study. Automatic speech recognition (ASR) is the process of converting a speech signal into a sequence of words, using an algorithm implemented as a computer program. The following figure shows the basic model of speech recognition [3].



*Fig.1. Basic Model of Speech Recognition*

The words or message being spoken are conveyed through the speech signal. The purpose of speech recognition is to determine what the utterance's underlying meaning is. Extracting and modeling the speech dependent properties that can effectively identify one word from another is critical to speech recognition success. The voice recognition system has four stages of operation [4].

- 1. Feature extraction**
- 2. Pattern training**
- 3. Pattern Matching.**
- 4. Decision logic**

## About Urdu Language

Urdu is spoken as a primary language by about 70 million people in Pakistan and India, and as a second language by more than 100 million people. In the 12th century, Urdu began to develop in north India, around Delhi. It was based on the Delhi dialect, which was heavily influenced by Arabic, Persian, and Turkish influences. Urdu is related to Hindi, which is sometimes referred to as Urdu's "sister" language due to their similar grammar bases. Urdu was chosen as the new country's national language after it was established in 1947. Urdu is spoken in many countries around the world, including Britain, Canada, the USA, the Middle East and India. India has a larger population of Urdu speakers than Pakistan. Urdu sounds a lot like Hindi, but there are a lot of differences that non-native speakers may not notice [51].

## LITERATURE SURVEY

Sr. No.	Title	Author	Year	Technique	Result
1	A French Non-Native Corpus for Automatic Speech Recognition	Tien-Ping Tan, Laurent Besacier	2006	NA	This paper describes a method for creating a non-native French corpus for testing and adaptation.
2	Continuous Feature Adaptation for Non-Native Speech Recognition	Y. Deng, X. Li, C. Kwan, B. Raj, and R. Stern	2007	NA	In this paper the combined adaptation achieved overall recognition accuracy improvement of 29.5%, and WER reduction of 31.8%, as compared to that without adaptation.
3	Speech Recognition by Machine: A Review	M.A.Anusuya, S.K.Katti	2009	PCA,LDA,ICA,LPC, MFCC,R ASTA,DT	In this review they study on how much speech recognition tech-

4	A Review on Speech Recognition Technique	Santosh K.Gaikwad, Bharti W.Gawali, Pravin Yannawar	2010	W,SVM, HMM,DA RPA PCA,LDA ,ICA,MFCC,LPC, RAS-TA,Patter n Recognition	nology progressed in the last 60 years. In this review paper we found that MFCC is used widely for feature extraction.
5	Spoken Digits Recognition using Weighted MFCC and Improved Features for Dynamic Time Warping	Santosh V. Chapaneri	2012	MFCC, DTW	In this paper the result is 98.13%.
6	Development Of Isolated Words Speech Database Of Marathi Words For Agriculture Purpose	P. P. Shrishrimal, R. R. Deshmukh, Vishal B. Waghmare	2012	PCA	In this paper they developed a speech database of isolated Marathi words for agricultural purpose from Aurangabad District of Maharashtra.
7	Voice Controlled Urdu Interface using Isolated and Continuous Speech Recognizer	Saira Ali, Sidra Iqbal, Imran Saeed	2013	MFCC, ANN	In this paper, For Isolated words gain accuracy of 95.6% in speaker dependent mode while 30-40% in speaker independent mode. For Continuous speech also shows a good ac-

8	Comparison Of Mfcc And Dwt Features For Automatic Speech Recognition Of Urdu	Hazrat Ali, Xianwei Zhou, Sun Tie	2014	MFCC, LDA,DWT	<p>curacy of 96.5% in speaker dependent mode and 30- 40% for speaker independent mode.</p> <p>In this paper the percentage error values achieved after the LDA based classification, which suggest that the DWT based feature provide extremely poor recognition.</p>
9	Automatic Speech Recognition of Marathi isolated words using Neural Network	Kishori R. Ghule, Ratnadeep R. Deshmukh	2015	DWT, ANN	60%
10	A Review on Different Approaches for Speech Recognition System	Suman K. Saksamudre , P.P. Shrishrimal , R.R. Deshmukh	2015	MFCC, DTW,HMM,ANN	In this paper, various approaches are available for feature extraction and pattern matching has been discussed.
11	Voice Recognition using Dynamic Time Warping and Mel-Frequency Cepstral Coefficients Algorithms	Abdelmajid H.Mansour, Gafar Zen Alabdeen Salh,Khalid A. Mohamed	2015	MFCC, DTW	In this paper we found that DTW is flexible mathematical method, which gives high accuracy results.

12	Speech Recognition System: A Review	Nitin Washani, San deep Sharma	2015	MFCC, HMM, NN	In this paper they found that MFCC technique is less affected by noise.
13	Speech Recognition System – A Review	Shaikh Naziya S., R.R. Deshmukh	2016	LPC, MFC C, DTW, HMM, ANN,	In this paper they discussed that, the Hidden markov method (HMM) is more efficient, robust, and reduces time and complexity.
14	A Survey on Feature Extraction and Classification Techniques for Speech Recognition	Sanjay A. Valaki, Harikrishna B. Jethv	2016	LPC, MFC C, HMM, ANN	In this paper we find that MFCC is used widely as feature extraction technique and HMM and ANN are best among all modeling technique.
15	Speech Recognition for Isolated word using Matlab	Ms. Vishakha Nandanwar, Ms. Darshana Chaware, Mr. Sushil P. Borkar	2016	LPC, HMM, ANN	In this paper they have successfully tested the words recorded from the both male and female Speaker.
16	Design and Development of Word Recognition for Marathi Language	Potale Shubham, Kharpude Pratik, Patil Rahul, Ajay Kumar Gupta	2016	Sphinx4	In this paper they described that no work is done in speech recognition by using Sphinx tool.
17	Survey paper on Different Speech	Ayushi Y. Vadwala, Kri	2017	HMM, NN	This paper offers the fundamentals

	Recognition Algorithm: Challenges and Techniques	na A. Suthar, Yesh a A. Karmakar, Nirali Pandya			of speech recognition system along with various approaches available for feature extraction and pattern matching.
18	Marathi Digit Recognition System based on MFCC and LPC features	Pukhraj P. Shrishrimal, Ratnadeep R. Deshmukh, Ganesh B. Janwale, Devyani S. Kulkarni	2017	MFCC, LPC, Confusion Matrix	<b>MFCC-:</b> lowest for the number <b>eight</b> which is 13.25%, highest for- number <b>zero</b> which is 78.94%. <b>LPC-</b> lowest for number <b>Seven</b> which is 12.32%, highest for number <b>one</b> which is 66.17%
19	Automated Speech Recognition System – A Literature Review	Manjutha M, Gracy J, Dr P Subashini, Dr M Krishnaveni	2017	MFCC, HMM	In this paper results shows for, <b>Connected word-69.22%</b> And <b>Continuous word-50%</b> 60%
20	Design and Development of Word Recognition for Marathi Language	Potale shubham, Kharpude Pratik, Patil rahul, Ajay kumar gupta	2017	MFCC, LPCC	
21	Analysis Of Speech Recognition Method Mfcc And Lda Clas-	Priya Deokar, Sakshi Paithane	2019	MFCC, KNN, SVM, LDA	MFCC+KNN- 85.00%, MFCC+SVM- 88.50%,

	sifer For Hindi Words				MFCC+LDA-92.50%, We found that MFCC with LDA performs better than other two algorithm.
22	Real Time Speech Recognition based on PWP Thresholding and MFCC using SVM	Wafa Helali, Zied Hajaiej, Adnen Cherif	2020	MFCC, SVM, Raspberry pi3	99%
23	Development of Smart Healthcare System Based on Speech Recognition Using Support Vector Machine and Dynamic Time Warping	Ahmed Ismail Samir Abdlerazek and Ibrahim M. El-Henawy	2020	SVM	97%

**In this section, the works carried out by various researchers are as follows:**

**M. U. Akram[2005]** This study proposes an Urdu speech to text conversion software. The major goal of this work is to analyze and apply several voice recognition techniques, such as Pattern-Matching and Acoustic Phonetic Modeling, to the Urdu language. A prototype has been developed which recognizes the continuous Urdu Speech with 55 to 60% accuracy. In this paper they have used artificial neural networks to store and match the patterns of the isolated words. For database they have taken the 45 words of Urdu language and 10 samples of each word to be trained In conclusion, we discovered that the system described in this study still need a great deal of improvement and data collecting in order to improve its capabilities [28].

**S K Hasnain [2008]** A speech processing and recognition system for individually spoken Urdu language words is presented in this work. The speech fea-

ture extraction was based on a dataset of 150 different samples collected from 15 different speakers of 0-9 number. The data was pre-processed by using normalization and by the transformation into frequency domain by (discrete Fourier transform). MATLAB was used to create the feed-forward neural networks for voice recognition. The training and testing accuracies of the models were both quite good. For alternative neural models, they are now using linear predictive coding and cepstrum analysis. Telecommunications, multi-media, and voice-activated tele-customer services are all possible uses for the proposed system [29].

**Mr.V.K.Kale [2014]** In this paper they recognize English Isolated spoken words by different male and female non-native English speakers from Marathwada region of the Maharashtra state. The linear Predictive Coding (LPC), and Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC), of the audio signal, has been used as a features, which are subsequently used for testing the samples. Classification is completed by using Confusion Matrix. The 61.40% and 95.75% recognition rate has been achieved by LPC and MFCCs features, when the proposed approach is tested employing a dataset of 1000 speech samples [30].

**Suman K. Saksamudre[2015]** In this paper, they were presented Isolated Word Recognition System for Hindi Language using MFCC as feature extraction and KNN as pattern classification technique. The system is trained for 10 different Hindi words. The experimental result of system gives 89% accuracy rate. The database has agricultural related 90 isolated hindi words such as chana, masur, mung, rajma, Arhar, genhu, chaval, ragi ,ganna and til etc. These words were recorded by PRAAT software. Each word is pronounced three times. From these, two utterances of each word were selected as training data for such a speaker-dependent system, and one utterance was selected as test data [31].

**Shaik Riyaz [2019]** In This paper described an automated speaker recognition system using Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) and Hidden Markov Model (HMM), which was proposed to detect the user's identity using Urdu utterances. MFCC is a very popular feature extraction approach for feature extraction in human auditory behavior. Acoustically accurate feature extractions are performed using vector quantization (VQ) in terms of feature size and for efficiency. HMM makes the detection process easier and more realistic. The performance of the proposed model will be evaluated using 250 isolated Urdu datasets from 20 speakers. Eight of them are men and 12 are women. They

proposed model outperforms with 96.4% of accuracy when compared with other models [32].

## **TECHNIQUES**

**1.SVM (Support-Vector Machine)** Support Vector Machine (SVM) is a popular kernel based discriminative classification algorithm. SVMs are regarded to be the large-margin boundary classifier as they attempt to separate the data with hyper planes by maximizing the distance from the data of both classes (for binary classification case). SVM is characterized by the underlying kernel function, say linear, polynomial and Gaussian. SVMs are usually easy to train and does not suffer the local optima problem However, the choice of kernel function is critical. SVMs have been used for various machine learning task, for example, hand-written character recognition ,object recognition , speaker recognition and language recognition [33] . It has great ability to generalized often leading to better performance than traditional technique like Artificial Neural Network (ANN). The support vector machine can be used as a regularized radial basis function classifier [34].

**2.Mel -Frequency Cepstral Coefficient (MFCC)** MFCC is predicated on human peripheral sensory system and can't perceive frequencies over 1KHz.It is based on the short-term analysis, and thus a MFCC vector is computed from each frame. MFCC filters are linearly spaced at low frequencies below 1000 Hz and logarithmically spaced above 1000 Hz.As reference point, Pitch of 1 KHz tone, above 40 dB the perceptual hearing threshold is defined as 1000 Mels [34]. It is popular feature Extraction technique [4].Mel-frequency cepstral coefficients are the feature that collectively makes Mel-frequency cepstral (MFC) . The Mel-frequency cepstrum (MFC) differs from the cepstrum in that the frequency bands in the Mel-frequency cepstrum (MFC) are evenly spaced on the Mel scale, emulating the human auditory system's response better than the linearly spaced frequency bands used in the standard cepstrum. Sound representation is improved via frequency warping [31].

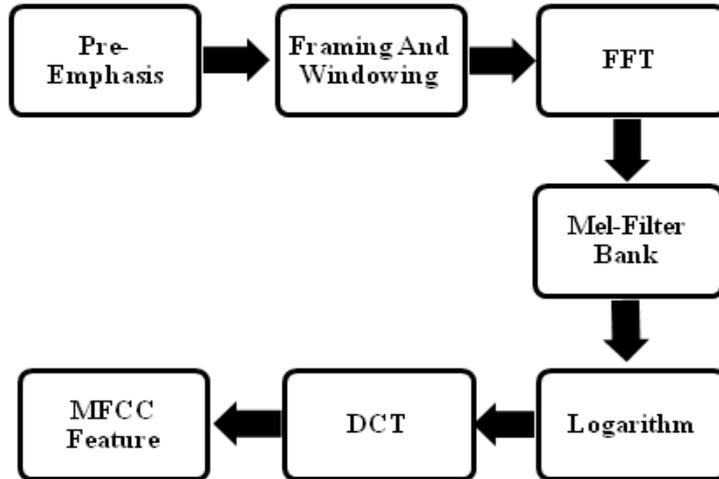


Fig.2. Block Diagram of MFCC

**3. Linear Predictive Coding (LPC)** One of the foremost powerful signal analysis techniques is that the method of linear prediction. LPC of speech has become the predominant technique for estimating the essential parameters of speech. It provides both an accurate estimate of speech parameters and an efficient computer model of speech. The basic idea behind LPC is that a speech sample are often approximated as a linear combination of past speech samples. Through minimizing the sum of squared differences (over a finite interval) between the particular speech samples and predicted values, a singular set of parameters or predictor coefficients are often determined. These coefficients form the basis for LPC of speech . The predictor coefficients are therefore transformed to a more robust set of parameters known as Cepstral coefficients. The steps involved in LPC feature extraction we can see in the following figure [35].

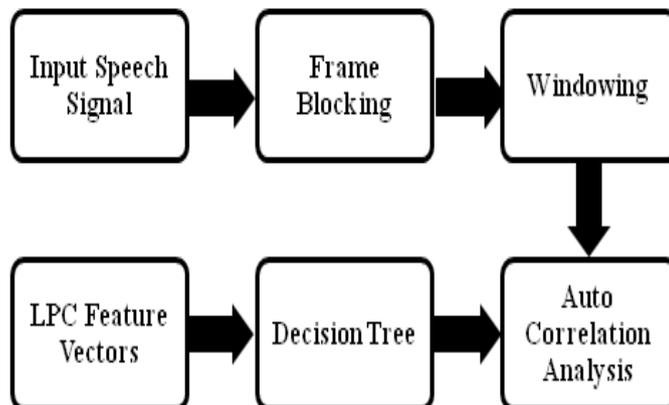


Fig.3. Steps involved in LPC Feature Extraction

## Conclusion

After conducting the literature review we discover that the work done on Urdu language is extremely less. We found that the language technologies can play an important role within the development of excellent governing system. We have also discussed the commonly used feature extraction techniques which contributes maximum recognition accuracy in any speech recognition application, aside from that we'll use LPC and MFCC for feature extraction and for classification SVM approach. The speech data collected within the noisy environment will help us to develop a strong speech recognition system and to develop an ASR system with great accuracy is the future work.

## Acknowledgement

This work is supported by Department of Science and Technology under the funds for Infrastructure under Science and Technology (DST-FIST) with sanction no.SR/FST/ETI-340/2013 to Department of Computer Science and Information Technology, Dr. Babasaheb Ambedkar Marathwada University, Aurangabad, Maharashtra India. The authors would like to thank Department and University Authorities for providing the infrastructure and necessary support for carryout the research. The authors would like to thank Dr. Babasaheb Ambedkar Research and Training Institute (BARTI) for the financial support in this work.

## REFERENCES

1. Pratik K. Kurzekar, Ratnadeep R. Deshmukh, Vishal B. Waghmare, Pukhraj P. Shrishrimal, "A Comparative Study of Feature Extraction Techniques for Speech Recognition System", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* Vol. 3, Issue 12, December 2014.
2. Aaron M. Oirere, Ganesh B. Janvale, Ratnadeep R. Deshmukh, "Automatic Speech Recognition and Verification using LPC, MFCC and SVM", *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887) Volume 127 – No.8, October 2015.
3. Shaikh Naziya S., R. R. Deshmukh, "LPC and HMM Performance Analysis for Speech Recognition System for Urdu Digits", *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)* e-ISSN: 2278-0661, p-ISSN: 2278-8727, Volume 19, Issue 4, Ver. IV. (Jul.-Aug. 2017), PP 14-18, [www.iosrjournals.org](http://www.iosrjournals.org).
4. Nilu Singh, R.A Khan, Raj Shree, "MFCC and Prosodic Feature Extraction Techniques: A Comparative Study" *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887) Volume 54– No.1, September 2012.

5. Tien-Ping Tan, Laurent Besacier , “A French Non-Native Corpus for Automatic Speech Recognition”2006: *CLIPS-IMAG Laboratory, UMR CNRS 5524 BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9, FRANCE.*
6. Y. Deng, X. Li, C. Kwan, B. Raj, and R. Stern , “Continuous Feature Adaptation for Non-Native Speech Recognition” *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Computer, Information, Systems and Control Engineering Vol:1 No:6, 2007.*
7. M.A.Anusuya, S.K.Katti “M.A.Anusuya, S.K.Katti” , (*IJCSIS*) *International Journal of Computer Science and Information Security, Vol. 6, No. 3, 2009.*
8. Santosh K.Gaikwad, Bharti W.Gawali, Pravin Yannawar ,“A Review on Speech Recognition Technique ”, *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)Volume 10– No.3, November 2010.*
9. Santosh V. Chapaneri , “Spoken Digits Recognition using Weighted MFCC and ImprovedFeatures for Dynamic Time Warping”, *International Journal of Computer Applications (0975 –8887)Volume 40–No.3, February 2012.*
10. P. P. Shrishrimal, R. R. Deshmukh, Vishal B. Waghmare , “development of isolated words speech database of marathi words for agriculture purpose”, *Asian Journal of Computer Science and Information Technology 2: 7 (2012) 217 – 218.*
11. Saira Ali, Sidra Iqbal, Imran Saeed , “Voice Controlled Urdu Interface using Isolated and Continuous Speech Recognizer” 978-1-4673-2252-2/12/\$31.00 ©2012 *IEEE.*
12. Hazrat Ali, Xianwei Zhou, Sun Tie , “COMPARISON OF MFCC AND DWT FEATURES FOR AUTOMATIC SPEECH RECOGNITION OF URDU”*IEEE Xplore: 27 February 2014.*
13. Kishori R. Ghule, Ratnadeep R. Deshmukh , “Automatic Speech Recognition of Marathi isolated words using Neural Network” , Kishori R. Ghule et al, / (*IJC-SIT*) *International Journal of Computer Science and Information Technologies, Vol. 6 (5) , 2015, 4296-4298.*
14. Suman K. Saksamudre ,P.P. Shrishrimal ,R.R. Deshmukh , “A Review on Different Approaches for Speech Recognition System”, *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 115 – No. 22, April 2015.*
15. Abdelmajid H. Mansour, Gafar Zen Alabdeen Salh, Khalid A. Mohammed , “Voice Recognition using Dynamic Time Warping and Mel-Frequency Cepstral Coefficients Algorithms”, *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 116 – No. 2, April 2015.*

16. Nitin Washani, Sandeep Sharma, "Speech Recognition System: A Review", *International Journal of Computer Applications (0975 –8887) Volume 115 –No. 18, April 2015.*
17. Shaikh Naziya S., R.R. Deshmukh, "Speech Recognition System – A Review", *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE) e-ISSN: 2278-0661, p-ISSN: 2278-8727, Volume 18, Issue 4, Ver. II (Jul.-Aug. 2016).*
18. Sanjay A. Valaki, Harikrishna B. Jethv , "A Survey on Feature Extraction and Classification Techniques for Speech Recognition", *IJARIE-ISSN(O)-2395-4396, Vol-2 Issue-6 2016.*
19. Ms. Vishakha Nandanwar , Ms. Darshana Chaware , Mr. Sushil P. Borkar, "Speech Recognition for Isolated word using Matlab", *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology Vol. 3, Issue 1, January 2016.*
20. Potale Shubham , Kharpude Pratik , Patil Rahul , Ajay Kumar Gupta, "Design and Development of Word Recognition for Marathi Language" , Potale Shubham et al, / *(IJCSIT) International Journal of Computer Science and Information Technologies, Vol. 7 (5) , 2016, 2337-2340.*
21. Ayushi Y. Vadwala, Krina A. Suthar, Yesha A. Karmakar, Nirali Pandya, "Survey paper on Different Speech Recognition Algorithm: Challenges and Techniques" , *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 175 – No.1, October 2017.*
22. Pukhraj P. Shrishrimal, Ratnadeep R. Deshmukh, Ganesh B. Janwale, Devyani S. Kulkarni, "Marathi Digit Recognition System based on MFCC and LPC features" , *International Journal of Advanced and Innovative Research (2278-7844) / # 37 / Volume 6 Issue 6, 02 September 2017.*
23. Manjutha M , Gracy J , Dr P Subashini [3] , Dr M Krishnaveni, "Automated Speech Recognition System – A Literature Review", *International Journal of Engineering Trends and Applications (IJETA) – Volume 4 Issue 2, Mar-Apr 2017.*
24. Potale shubham , Kharpude Pratik, Patil rahul, Ajay kumar gupta, "Design and Development of Word Recognition for Marathi Language" , *Vol-3, Issue-6, 2017 ISSN: 2454-1362.*
25. Priya Deokar, Sakshi Paithane, "ANALYSIS OF SPEECH RECOGNITION METHOD MFCC AND LDA CLASSIFIER FOR HINDI WORDS", *International Journal of Scientific Research and Review, ISSN No.: 2279-543X , Volume 07, Issue 05, May 2019, UGC Journal No.: 64650*

26. Wafa Helali, Zied Hajaiej, Adnen Cherif, “Real Time Speech Recognition based on PWP Thresholding and MFCC using SVM” , *Engineering, Technology & Applied Science Research Vol. 10, No. 5, 2020, 6204-6208* 6204.
27. Ahmed Ismail , Samir Abdlerazek and Ibrahim M. El-Henawy, “Development of Smart Healthcare System Based on Speech Recognition Using Support Vector Machine and Dynamic Time Warping” ,*Sustainability 2020, 12, 2403; doi:10.3390/su12062403* [www.mdpi.com/journal/sustainability](http://www.mdpi.com/journal/sustainability).
28. M. U. Akram and M. Arif, “Design of an Urdu Speech Recognizer based upon acoustic phonetic modeling approach”, Conference Paper January 2005 DOI: 10.1109/INMIC.2004.1492852 . Source: *IEEE Xplore*.
29. S K Hasnain , Azam Beg, “A Speech Recognition System for Urdu Language” , *International Multi-Topic Conference (IMTIC'08), Jamshoro, Pakistan, 2008, pp. 74-78*.
30. Mr.V.K.Kale, Dr.R.R.Deshmukh, Dr.G.B.Janvale, Mr.V.B.Waghmare, Mr.P.P.Shrishrimal, “Isolated English Words Recognition Spoken by Non-Native Speakers”, *International Research Journal of Computer Science (IRJCS), ISSN: 2393-9842, Volume 1 Issue 3 (November 2014), www.irjcs.com*.
31. Suman K. Saksamudre, R. R. Deshmukh, “Comparative Study of Isolated Word Recognition System for Hindi Language” , *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ISSN: 2278-17. www.ijert.org IJERTV4IS070443 (This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.) Vol. 4 Issue 07, July-2015*.
32. Shaik Riyaz, Bathula Lakshmi Bhavani, S.Venkatrama Phani Kumar , “Automatic Speaker Recognition System in Urdu using MFCC & HMM”, *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878, Volume-7, Issue-5S4, February 2019 109* .
33. Hazrat Ali, An Jianwei, Khalid Iqbal, “Automatic Speech Recognition of Urdu Digits with Optimal Classification Approach”, *International Journal of Computer Applications (0975 8887) Volume 118 - No. 9, May 2015*.
34. Yogesh K. Gedam, Sujata S. Magare, Amrapali C. Dabhade, Ratnadeep R. Deshmukh, “Development of Automatic Speech Recognition of Marathi Numerals - A Review”, *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 3, Issue 9, March 2014*.
35. Shaikh Naziya S.1 , R. R. Deshmukh2, “LPC and HMM Performance Analysis for Speech Recognition System for Urdu Digits”, *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE) e-ISSN: 2278-0661,p-ISSN: 2278-8727, Volume 19, Issue 4, Ver. IV. (Jul.-Aug. 2017), PP 14-18* [www.iosrjournals.org](http://www.iosrjournals.org).

36. Ms. Rupali S Chavan, Dr. Ganesh. S Sable, “An Overview of Speech Recognition Using HMM”, *International Journal of Computer Science and Mobile Computing A Monthly Journal of Computer Science and Information Technology* ISSN 2320–088X IJCSMC, Vol. 2, Issue. 6, June 2013, pg.233 – 238 .
37. Anchal Katyay, Amanpreet Kaur, Jasmeen Gill, “Automatic Speech Recognition: A Review”, *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)* ISSN: 2249 – 8958, Volume-3, Issue-3, February 2014.
38. Maheshkumar B. Landge, R.R. Deshmukh, P.P. Shrishrimal “Analysis of Variations in Speech in Different Age Groups using Prosody Technique”, *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 126 – No.1, September 2015.*
39. Devyani S. Kulkarni, Ratnadeep R. Deshmukh, Pukhraj P. Shrishrimal “A Review of Speech Signal Enhancement Techniques”, *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 139 – No.14, April 2016.*
40. Pala Mahesh Kumar, “A New Human Voice Recognition System”, *Asian Journal of Science and Applied Technology* ISSN: 2249-0698 Vol. 5 No. 2, 2016, pp.23-30.
41. Bhushan C. Kamble, “Speech Recognition Using Artificial Neural Network –A Review”, *Int'l Journal of Computing, Communications & Instrumentation Engg. (IJCCIE) Vol. 3, Issue 1 (2016) ISSN 2349-1469 EISSN 2349-1477.*
42. Swapnil D. Waghmare, Ratnadeep R. Deshmukh, Pukhraj P. Shrishrimal, Vishal B. Waghmare, Ganesh B. Janvale, “Stuttered Isolated Spoken Marathi Speech Recognition by using MFCC and LPC” , *International Journal of Innovations in Engineering and Technology (IJIET)* <http://dx.doi.org/10.21172/ijiet.83.018>.
43. Sania Iqbal, “SPEECH RECOGNITION SYSTEMS –A REVIEW”, *International Journal of advanced research in science and engineering volume No.07, special issue No.04, March 2018, www.ijarse.com.*
44. Ibrahim Khalil, “A Review of Mel Frequency Cepstral Coefficient (MFCC) Analysis of Speech and Neural Network”, *JSRD -International Journal for Scientific Research & Development| Vol. 7, Issue 01, 2019 | ISSN (online): 2321-0613.*
45. Sunil B. Patil, Nita V. Patil, Ajay S. Patil “Speaker-Independent Isolated Word Recognition using HTK for Varhadi – a Dialect of Marathi” , *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249 – 8958, Volume-9 Issue-3, February, 2020.*

46. Rachana Bharat Parikh, Dr. Hiren Joshi, “Gujarati Speech Recognition – A Review” , *Research Gate TEST Engineering Management July – August 2020* ISSN: 0193-4120 Page No. 549 – 553.
47. Pengyuan Shao “Chinese Speech Recognition System based on Deep Learning”, *ESAET 2020 Journal of Physics: Conference Series 1549 (2020) 022012* IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1549/2/022012.
48. Vani H.Y. ,Anusuya M.A., “Fuzzy Speech Recognition: A Review”, *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume No., 2013*.
49. Madan Lal , Kamlesh Kumar , Asif Ali Wagan , Asif Ali Laghari , Mansoor Ahmed Khuhro , Umair Saeed , Aamir Umrani, M. Ameen Chahjro, “A Systematic Study of Urdu Language Processing its Tools and Techniques: A Review”, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ISSN: 2278-0181, Vol. 9 Issue 12, December-2020*
50. Maya Moneykumar, Elizabeth Sherly, Win Sam Varghese, “Isolated Word Recognition System for Malayalam using Machine Learning” , D S Sharma, R Sangal and E Sherly. Proc. of the 12th Intl. *Conference on Natural Language Processing, pages 158–165, Trivandrum, India. December 2015. c 2015 NLP Association of India (NLP AI)*.
51. <https://cudoo.com/blog/a-guide-to-the-urdu-language/>

**Shalini V. Sathe**, M. Phil Research Fellow, Department of Computer Science and Information Technology, Dr. B. A. M. U. Aurangabad, [shalinisathe55@gmail.com](mailto:shalinisathe55@gmail.com).

**Dr. R. R. Deshmukh**, Professor and Former Head of Department of Computer Science and IT, Dr. Babasaheb Ambedkar Marathwada University, Aurangabad (MS) 431001 India. His research interests are Human computer Interaction, Digital Speech Signal processing, Data Mining, Image Processing, Pattern Recognition, artificial Intelligence, Computational Auditory Scene Analysis (CASA), Neural Networks, GIS and Remote Sensing, Sentiment Analysis etc. He is Fellow member and Chairman of IETE Aurangabad Centre, The Institutions of Electronic and Telecommunication Engineers (FIETE). Senior Member of Association of Computer Electronics and Electrical Engineers (ACEEE). Life member of CSI (Computer Society of India), The Indian Society for Technical Education (ISTE), Indian Science Congress Association (ISCA), Institute of Doctors Engineers and Scientists (IDES). Member of International Association of Engineers (IAEng), computer science Teachers Association. (CSTA), IEEE. DST-FIST Program Coordinator, Coordinator of Global Initiative on Academic Networks (GIAN) Coordinator of Maharashtra. State Marathi World Dictionary Development Committee, Govt. of Maharashtra in the subject of Information Technology

and Computer Science. Edited ten books and published more than 165 research paper [rrdeshmukh.csit@bamu.ac.in](mailto:rrdeshmukh.csit@bamu.ac.in)

**Swapnil D. Waghmare**, Ph.D Research Fellow, Department of Computer Science and Information Technology, Dr.B.A.M.U.Aurangabad, [waghmare.swapnil21@gmail.com](mailto:waghmare.swapnil21@gmail.com)

**Amol R.Gaikawad**, M. Phil Research Fellow, Department of Computer Science and Information Technology, Dr. B. A. M. U. Aurangabad, [gaikawadamol@gmail.com](mailto:gaikawadamol@gmail.com)

**Bharati D. Borade**, M. Phil Research Fellow, Department of Computer Science and Information Technology, Dr. B. A. M. U. Aurangabad, [Bharatiborade3@gmail.com](mailto:Bharatiborade3@gmail.com)

**Ashwini S. Gankwar**, M. Phil Research Fellow, Department of Computer Science and Information Technology, Dr.B.A.M.U.Aurangabad, [ashwiniganakwar22@gmail.com](mailto:ashwiniganakwar22@gmail.com)

Bharati D. Borade, Ratnadeep R. Deshmukh, Swapnil D. Waghmare,  
Amol R.Gaikawad, Shalini V. Sathe, Ashwini S. Gankwar

## **DESIGN AND DEVELOPMENT OF MARATHI SPEECH DATABASE AND RECOGNITION OF SPEAKERS FOR NATIVE AND NON-NATIVE EMOTIONAL SPEECH IN MARATHI LANGUAGE : A REVIEW**

*Speech is a type of human communication in which the speaker strives to draw the audience's attention to his or her message. A small amount of effort has been made to accommodate Marathi speakers. The approach for evaluating Marathi emotional speech of native and non-native (Marathi and Non-Marathi) speakers is explained in the study article. This study will demonstrate that early intervention in the speech of Native and Non-native Marathi speakers has the greatest possible effect for Native and Non-native Marathi speakers. Many researchers can use the same methodologies for voice recognition, while others use alternative strategies. For this research, I undertook a brief overview of classic and modern voice recognition algorithms. When certain procedures are used instead of standard ones, the results are more accurate.*

*Native, Non-Native, Emotion, ASR, MFCC, SVM, PRAAT*

**Introduction:** Speech is a vocalized way of human communication that is based on a syntactic arrangement of vocabulary objects[9]. Humans utilize their vocal abilities to communicate[3]. Emotion, volume, pace, and rhythm are all qualities of speech that provide us with a plethora of relevant information about speakers[5]. While a computer or machine cannot understand emotions in general, there are numerous methods for doing so[23]. In the inquiry, identify the

various emotions of Native and Non-Native Marathi speakers. Internal physiological indicators such as muscle voltage, blood volume pressure, skin conductivity, and respiration are utilized to express emotions via speech, face, and other body languages[3]. Text will be collected from a range of Marathi and non-Marathi speakers as the most basic data required. One statement or one word that reflects such an emotion will be included in the data. A speaker speech collection is split into three groups in the database: happy, sad, and furious[8]. We investigated the emotions of native and non-native speakers, as well as how they reacted to them, as well as the fact that non-native speakers did lower than native speakers in this study[43]. In 1952, at Bell Laboratories in the United States, Davis devised the first speech recognition system, which identifies digits from 0 to 9 in male voice[21]. Different feature extraction approaches are employed in speech emotion identification systems, and different classifiers are utilized to classify emotions. Elicited features, Prosodic features, and Spectral features are the three primary types of features [39]. Different technologies, such as MFCC, LPCC, and MEDC, are employed for spectral characteristics. Pitch, intensity, basic frequency, loudness, glottal parameters, and other technologies are employed for prosodic aspects. Hidden Markov Model (HMM), Gaussian Mixtures Model (GMM), Support Vector Machine (SVM), Artificial Neural Network (ANN), and other classification approaches are used to categorise emotions [19].

**Native:** Someone who learns a language as a child is referred to be a Native speaker. [The mother tongue or native country of a native speaker is generally their mother tongue or native country.[1] In a true sense, native speakers utilize their original language accurately and effortlessly, and they know and can employ colloquialisms, idioms, and slang[51].

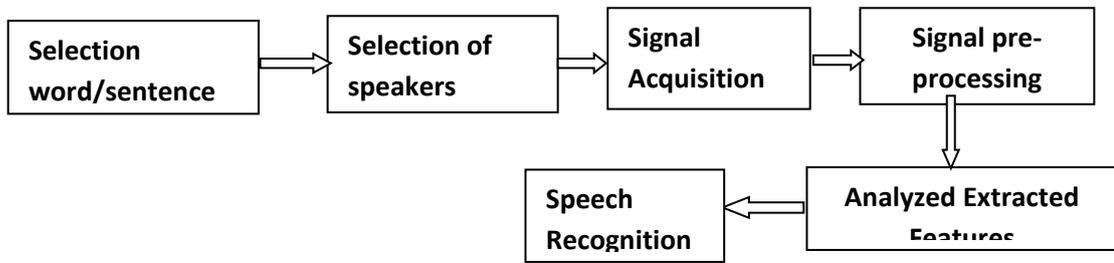
**Non-Native:** Non-native speakers of a language are those who have learned it as a second or third language. Non-native speaker is someone who is studying a language that they did not learn as a youngster. In the case of non-native speakers, each candidate will be evaluated on their own merits [1].

**Emotion:** Emotion is a subjective mental state. Emotions can be triggered by either internal inputs (such as thoughts or memories) or external events. Moods and emotions are not the same thing. A mood is a mental condition that causes us to respond in a specific manner. Emotion is intertwined with mood, temperament, personality, disposition, and motivation. In this study, we looked at how native and non-native Marathi speakers reacted to three different emotions: Happy, sad, and Angry[2].

## Methodology:

The goal of an emotion identification system is to detect various emotions in human speech. Speech corpus (text), emotional speech input, pre-processing, feature extraction and selection, classification, and emotional speech output are some of the modules of the speech emotion detection system shown in fig. 1. The spoken emotion recognition system [14] can classify six fundamental types of emotions. Fear, anger, neutral, melancholy, happiness, and surprise are among them [15, 16,]. But in this work, work on only three emotions I.e. Happy, Sad and Angry. A text corpus is created for successful future categorization in voice corpus (text) so that the same text is repeated by various Native and Non-Native persons of Marathi language.

The following fig 1 shows basic workflow of work



*Fig. 1. Methodology for Emotion recognition*

**Selection word/sentence :** The selection of isolated words for conveying the desired emotions is a critical part of the emotional speech database development. Another issue with dealing with the Marathi language is its dual meaning. In various situations, the same word or statement might have distinct meanings. It was a big consideration while choosing the words; a single word may be used in a variety of situations and convey a variety of feelings. We created word sets for the selected fundamental three emotions, namely happy, sad, and furious, in order to generate the isolated words emotional speech database. The words were chosen after spending time monitoring the people around us and analyzing how emotions were communicated in real life circumstances utilizing single or isolated phrases. In the database total eight word select for each emotion[2].

**Selection of speakers :** The voice data was gathered from native and Non-Native speakers of Marathi language speaker. Residents of Maharashtra's

Marathwada area were chosen as speakers. Five male and female native speakers and also non native speakers.

**Signal Acquisition :** The speakers were given a total of 24 words to pronounce in each of the three primary moods, with three utterances for each word. The speech data was gathered from residents of the Marathwada area[2]. The speakers were chosen based on their Native language because Non-Native speakers speak marathi language as their second language. We gathered voice samples from 20 different people. The 20 speakers were divided into two groups based on their gender. We gathered data from ten males and ten females between the ages of 21 and 40 (five male natives and non-natives each, as well as females). The collection of solitary words has 72 utterances in the database. In all, 1440 utterances of 24 emotive terms in Marathi are included in the database. Utterance was collected using PRAAT software with mice or headphone along with mice.

**Signal pre- processing:** There was some background noise in the recorded voice. Noise was removed from the noisy speech samples during processing. Before we can extract the characteristic for constructing the recognition system, we must first improve the voice signal. Good voice samples with no background noise are required for the isolated Marathi emotional speech database. For better recognition accuracy, the voice samples should be of acceptable quality and intelligibility[2].

**Analyzed Extracted Features :** Long-term features and short-term features are the two primary groups of speech characteristics. The analysis region of the speech signal utilized for feature extraction is an essential factor to consider during feature extraction. A frame is a tiny interval in which the spoken signal is fragmented into small intervals[47]. The final stage is to examine the retrieved speech features of native and non-native Marathi speakers.

**Speech Recognition :** The pattern recognition technology is used to recognize spoken emotions. This demonstrates that the pattern recognition system's steps are also present in the Speech emotion recognition system. Emotional speech input, feature extraction, feature selection, classification, and recognized emotional output are the five primary components of the speech emotion detection system[47]. The final phase is to recognize the speech of native and non-native Marathi speakers.

**Comparative study:** The above-mentioned database was used to conduct this analysis. Current ways for recognizing the voice database were examined, while others invented novel approaches that were compared to existing sys-

tems. They also give the results of their experiment, as documented in their study. By looking at the publications of certain authors, you may figure out the techniques they employed, as shown below.

The goal of an emotion identification system is to detect various emotions in human speech.

Speech corpus, emotional speech input, pre-processing, feature extraction and selection, classification, and emotional speech output are all components of a speech emotion detection system[14] shows in above figure.

Some of the techniques used to extract features and categorize emotions include MFCC, ASR, LDA, LPC, DWT, SVM, HMM, ANN, and GMM[16]. A hierarchical classifier is more efficient when it comes to categorizing emotions[46]. A computer or machine cannot recognize emotion if no techniques or algorithms are used. It is difficult to adopt traditional methods of obtaining results, however adopting hybrid procedures produces more accurate outcomes[21][23][29].

Many researchers have used the MFCC approach, which delivers better results for native and non-native databases than other strategies[17][21][38]. However, the MFCC technique is vulnerable to noise[27]. This job may be done in a variety of languages, including English[23], Tamil[35][38], and others. Bengali, Malayalam[42], and even Marathi have been included, although only for native speakers, with minimal effort made for non-native languages. Researchers sought to gather data in several contexts when exploring such language databases, such as a noisy area, a calm place, and a nearby lab [40], and each language yielded different mood outcomes[8][11][36].

Researchers are developing advanced techniques for emotion identification data employing naturally or non-actor speakers[18][42].with a minor feature[30]. Emotional communication is difficult to capture since the speaker's emotions are portrayed on their face rather than via their words[52]. Many studies have found that happy sensations are more difficult to recognize than other emotions [13][31][35][41][50]. In other words, emotions might be difficult to differentiate, and female emotional speech samples are simpler to discern than male emotional speech samples[27]. Denoising and unsupervised learning [37], as well as spectral and prosodic characteristics, boost the effectiveness of emotional database recognition[39] [49]. While enhancing the voice samples for the produced speech database, the spectral subtraction speech signal improvement approach was used[2].

<b>Title</b>	<b>Techniques</b>	<b>Result</b>
Compared native and Non-native speech rhythm using acoustic rhythmic measures:Cantonese, Beijing Mandarin in and English.[1]	Bonn Tempo Corpus Acoustic Rhythmic Measure.	The many speakers in this paper are read a north wind and sun storey with a typical discour and their cadence of discour is measured.
Development of Isolated Marathi Words Emotional Speech Database[2]	Spectral Subtraction Method, PRAAT	It aids in the development of diverse emotional speech databases in various languages.
A prosodic corpus of Non-Native speech[4]	TASX (Time aligned signal data exchange format )	The TASX -based strategy has already proven to be effective and dependable.
Dual Supervised Learning for Non- Native speech recognition [6]	DSL	The author discussed the subject of non-native speech recognition and conducted experiments using several algorithms.
Lexical modeling of Non-native speech for automatic speech recognition [9]	MFCC, Gaussian mixture	This study reveals that some non-native speaker's pronunciation patterns are similar to native speaker's pronunciation patterns.
Acoustic model interpolation for Non- native speech recognition [10]	ASR	Speech recognition performance on non-native speakers using ASR algorithms is still poor.
Non- Native Spontaneous Speech Recognition through Polyphone Decision Tree Specialization [12]	PDTS	Non-native speech performance is improved using PDTS approaches.
Native and Non-Native Marathi Numerals Recognition using LPC and	Linear Prediction, Neural Network	When LPC order increases, recognition rate increases as well, yielding a 99.2 percent

ANN[52]		result for increasing LPC order.
Automatic Speech Recognition and Verification using LPC, MFCC and SVM [17]	MFCC, LPC, SVM, LDA, Confusion matrix	Gives result Swahili language in three data set: 1. Numeric data MFCC=75%,LPC=72% 2. Isolated word MFCC=65.2%,LPC=66.67% Sentence data MFCC= 63.8% LPC=59.6%
Emotion Recognition from Isolated Marathi Speech using Energy and Formants [25]	(K-NN), MFCC, LPCC, PRAAT	Speech elements were investigated in order to determine the emotional state of the speakers.

### Discussion

Speech recognition is achieved utilizing a number of approaches and methodologies, according to the research. In the majority of cases, researchers employed MFCC methodologies in speech recognition, with clustering and speech signal enhancement techniques incorporated into the recognition algorithms. Any speech recognition database can benefit from MFCC methods than LPCC. ASR techniques cannot produce more accurate results, which is why some academics are striving to improve ASR accuracy for speech recognition. Although ASR is not optimal for non-native speech, the MFCC method overcomes this problem. For speech emotion ANN, KNN, HMM etc classification techniques are used. But HMM is most beneficial and useful techniques because this techniques gives most accuracy than other. DWT techniques also gives good result for native speakers database.

We was collecting database with help of PRAAT software and for noise cancellation or pre- processing used audacity software both gives better result while collecting database or removing noise from database. Finally We can conduct the coding procedure for voice Speech emotion recognition with the aid of MATLAB and Python.

### Conclusion

MFCC, ASR, tfMFCC, WPCC, tfWPCC, LPCC, LPC, DST, DWT, VQ, and others are some of the speech recognition techniques employed. MFCC techniques regularly utilized by researchers are included in this section. When

compared to native speech databases, non-native databases find it challenging to recognize speech signals. While collecting emotion database from Non-native is quite difficult because Non-native read and speak marathi language very well but they cant react emotions like their native language. As stated previously, only Hindi, Tamil, and Bengali are studied for speech recognition work in India. Also, when compared to non-Marathi work, Marathi work is done quite well.

### **Acknowledgment**

Department of Computer Science and Information Technology, Dr. Babasaheb Ambedkar Marathwada University, Aurangabad, Maharashtra, India is supported by the Department of Science and Technology under the Funds for Infrastructure under Science and Technology (DST-FIST) with sanction no. SR/FST/ETI-340/2013. The authors would like to express their gratitude to the Department and University Authorities for providing the required infrastructure and support for the research. Thank you very much to SARATHI for financing my M.Phil dissertation.

### **REFERENCES**

1. Mok, P., & Dellwo, V. (2008). Comparing native and non-native speech rhythm using acoustic rhythmic measures: Cantonese, Beijing Mandarin and English..
2. Waghmare, V. B., Deshmukh, R. R., Shrishrimal, P. P., & Janvale, G. B. (2014). Development of isolated marathi words emotional speech database. *International Journal of Computer Applications*, 94(4).
3. Kandali, A. B., Routray, A., & Basu, T. K. (2009). Vocal emotion recognition in five native languages of Assam using new wavelet features. *International Journal of Speech Technology*, 12(1), 1-13. Jon-Torsten milde and Ulrike Gut, A prosodic corpus of Non-Native speech
4. Ververidis, D., & Kotropoulos, C. (2006). Emotional speech recognition: Resources, features, and methods. *Speech communication*, 48(9), 1162-1181.
5. Radzikowski, K., Nowak, R., Wang, L., & Yoshie, O. (2019). Dual supervised learning for non-native speech recognition. *EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing*, 2019(1), 1-10.
6. Janse, P. V., Magre, S. B., Kurzekar, P. K., & Deshmukh, R. (2014). A comparative study between mfcc and dwt feature extraction technique. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 3(1), 3124-3127.
7. Waghmare, V. B., Deshmukh, R. R., & Shrishrimal, P. P. (2012). A Comparative Study of the Various Emotional Speech Databases. *International Journal on Computer Science and Engineering*, 4(6), 1236. Livescu, K., & Glass, J.

- (2000, June).
8. Lexical modeling of non-native speech for automatic speech recognition. In *2000 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Proceedings (Cat. No. 00CH37100)* (Vol. 3, pp. 1683-1686). IEEE.
  9. Tan, T. P., & Besacier, L. (2007, April). Acoustic model interpolation for non-native speech recognition. In *2007 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing-ICASSP'07* (Vol. 4, pp. IV-1009). IEEE.
  10. Shrishrimal, P. P., Deshmukh, R. R., & Waghmare, V. B. (2012). Indian language speech database: A review. *International journal of Computer applications*, 47(5), 17-21.
  11. Wang, Z., & Schultz, T. (2003). Non-native spontaneous speech recognition through polyphone decision tree specialization. In *Eighth European Conference on Speech Communication and Technology*.
  12. Waghmare, V. B., Deshmukh, R. R., Shrishrimal, P. P., & Janvale, G. B. (2014). Emotion recognition system from artificial marathi speech using MFCC and LDA techniques. In *Fifth International Conference on Advances in Communication, Network, and Computing-CNC*.
  13. Mohanta, A., & Sharma, U. (2016, March). Bengali speech emotion recognition. In *2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)* (pp. 2812-2814). IEEE.
  14. Joshi, D. D., & Zalte, M. B. (2013). Speech emotion recognition: a review. *IOSR J. Electron. Commun. Eng.(IOSR-JECE)*, 4(4), 34-37.
  15. Mohanta, A., & Sharma, U. (2015). Human emotion recognition through speech. *Advances in Computer Science and Information Technology (ACSIT)*, 2(10), 29-32.
  16. Aaron, M., Ganesh, B., & Ratnadeep, R. (2015). Automatic Speech Recognition and Verification using LPC, MFCC and SVM. *International Journal of Computer Applications*, 127(8), 47-52.
  17. Patel, K., & Prasad, R. K. (2013). Speech recognition and verification using MFCC & VQ. *Int. J. Emerg. Sci. Eng.(IJESE)*, 1(7), 137-140.
  18. Ghule, K. R., & Deshmukh, R. R. (2015). Feature extraction techniques for speech recognition: A review. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(5), 2229-5518.
  19. Baheti, M. R., Gawali, B. W., & Mehrotra, S. C. (2016). Automatic Speech Recognition For Task Oriented IVRS In Marathi. *IOSR Journal Of Computer Engineering (IOSR JCE)*, [www.Iosrjournals.Org](http://www.Iosrjournals.Org).
  20. Peerzade, G. N., Deshmukh, R. R., & Waghmare, S. D. (2018). A review:

- Speech emotion recognition. *Int. J. Comput. Sci. Eng*, 6(3), 400-402.
21. Kulkarni, D. S., Deshmukh, R. R., & Shrishrimal, P. P. (2016). A review of speech signal enhancement techniques. *International Journal of Computer Applications*, 139(14).
  22. Wanare, M. A. P., & Dandare, S. N. (2014). Human emotion recognition from speech. *system*, 6.
  23. Atassi, H., & Esposito, A. (2008, November). A speaker independent approach to the classification of emotional vocal expressions. In *2008 20th IEEE international conference on tools with artificial intelligence* (Vol. 2, pp. 147-152). IEEE.
  24. Gadhe, R. P., & Deshmukh, R. R. (2015). Emotion Recognition from Isolated Marathi Speech using Energy and Formants. *International Journal of Computer Applications*, 125(2).
  25. Pan, Y., Shen, P., & Shen, L. (2012). Speech emotion recognition using support vector machine. *International Journal of Smart Home*, 6(2), 101-108.
  26. Kamble, V. V., Deshmukh, R. R., Karwankar, A. R., Ratnaparkhe, V. R., & Annadate, S. A. (2015). Emotion Recognition for Instantaneous Marathi Spoken Words. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Frontiers of Intelligent Computing: Theory and Applications (FICTA) 2014* (pp. 335- 346). Springer, Cham.
  27. Oirere, A. M., Waghmare, V., Janvale, G. B., & Deshmukh, R. R. (2011). Designing and Development of Speech Database The Technical Review.
  28. Sánchez-Gutiérrez, M. E., Albornoz, E. M., Martínez-Licona, F., Rufiner, H. L., & Goddard, J. (2014, June). Deep learning for emotional speech recognition. In *Mexican conference on pattern recognition* (pp. 311-320). Springer, Cham.
  29. Nogueiras, A., Moreno, A., Bonafonte, A., & Mariño, J. B. (2001). Speech emotion recognition using hidden Markov models. In *Seventh European conference on speech communication and technology*.
  30. Waghmare, V. B., Deshmukh, R. R., Shrishrimal, P. P., & Janvale, G. B. (2014). Emotion recognition system from artificial marathi speech using MFCC and LDA techniques. In *Fifth International Conference on Advances in Communication, Network, and Computing–CNC*.
  31. Shaikh Nilofer, R. A., Gadhe, R. P., Deshmukh, R. R., Waghmare, V. B., & Shrishrimal, P. P. (2015). Automatic emotion recognition from speech

- signals: A Review. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(4).
32. Gadhe, R. P., Deshmukh, R. R., & Waghmare, V. B. (2015). KNN based emotion recognition system for isolated Marathi speech. *International Journal of Computer Science Engineering (IJCSE)*, 4(04), 173-177.
  33. Wahab, A., Quek, C., & De, S. (2007, September). Speech emotion recognition using auditory cortex. In *2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation* (pp. 2658-2664). IEEE.
  34. Sowmya, V., & Rajeswari, A. (2019, September). Speech emotion recognition for Tamil language speakers. In *International Conference on Machine Intelligence and Signal Processing* (pp. 125-136). Springer, Singapore.
  35. Wang, K., An, N., Li, B. N., Zhang, Y., & Li, L. (2015). Speech emotion recognition using Fourier parameters. *IEEE Transactions on affective computing*, 6(1), 69-75.
  36. Abdollahpour, M., Zamani, J., & Rad, H. S. (2017, May). Feature representation for speech emotion recognition. In *2017 Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)* (pp. 1465-1468). IEEE.
  37. Joe, C. V. (2014, November). Developing Tamil emotional speech corpus and evaluating using SVM. In *2014 International Conference on Science Engineering and Management Research (ICSEMR)* (pp. 1-6). IEEE.
  38. Zhou, Y., Sun, Y., Zhang, J., & Yan, Y. (2009, December). Speech emotion recognition using both spectral and prosodic features. In *2009 international conference on information engineering and computer science* (pp. 1-4). IEEE.
  39. Oirere, A. M., Waghmare, V., Janvale, G. B., & Deshmukh, R. R. (2011). Designing and Development of Speech Database The Technical Review.
  40. Ververidis, D., Kotropoulos, C., & Pitas, I. (2004, May). Automatic emotional speech classification. In *2004 IEEE international conference on acoustics, speech, and signal processing* (Vol. 1, pp. I-593). IEEE.
  41. Chandran, A., Pravena, D., & Govind, D. (2017, September). Development of speech emotion recognition system using deep belief networks in Malayalam language. In *2017 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)* (pp. 676-680). IEEE.
  42. Chen, X., & Cheng, J. (2012, December). Acoustic modeling for native and non-native Mandarin speech recognition. In *2012 8th International Symposium on Chinese Spoken Language Processing* (pp. 325-329). IEEE.

43. Arifin, C., & Junaedi, H. (2018). Emotion Sound Classification with Support Vector Machine Algorithm. *Kinetik: Game Technology, Information System, Computer Network, Computing, Electronics, and Control*, 181-190.
44. Joshi, A. (2013). Speech emotion recognition using combined features of HMM & SVM algorithm. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 3(8), 387-393.
45. Xiao, Z., Dellandrea, E., Dou, W., & Chen, L. (2007, December). Automatic hierarchical classification of emotional speech. In *Ninth IEEE International Symposium on Multimedia Workshops (ISMW 2007)* (pp. 291-296). IEEE.
46. Ingale, A. B., & Chaudhari, D. S. (2012). Speech emotion recognition. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, 2(1), 235-238.
47. Murugappan, M., Baharuddin, N. Q. I., & Jerritta, S. (2012, February). DWT and MFCC based human emotional speech classification using LDA. In *2012 International Conference on Biomedical Engineering (ICoBE)* (pp. 203-206). IEEE.
48. Pao, T. L., Chen, Y. T., Yeh, J. H., & Li, P. J. (2006, August). Mandarin emotional speech recognition based on SVM and NN. In *18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06)* (Vol. 1, pp. 1096-1100). IEEE.
49. Schuller, B., Rigoll, G., & Lang, M. (2003, April). Hidden Markov model-based speech emotion recognition. In *2003 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2003. Proceedings (ICASSP'03)*. (Vol. 2, pp. II-1). Ieee.
50. Joshi, S. S., & Bhagile, V. D. (2020, November). Native and Non-Native Marathi Numerals Recognition using LPC and ANN. In *2020 4th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)* (pp. 355-361). IEEE.
51. Kakodkar, S. G., & Borkar, S. (2018). Speech Emotion Recognition of Sanskrit Language using Machine Learning. *International Journal of Computer Applications*, 179(51), 23-28.

**Bharati D. Borade**, M. Phil Research Fellow, Department of Computer Science and Information Technology, Dr. B. A. M. U. Aurangabad, [Bharatiborade3@gmail.com](mailto:Bharatiborade3@gmail.com)

**Dr. R. R. Deshmukh**, Professor and Former Head of Department of Computer Science and IT, Dr. Babasaheb Ambedkar Marathwada University, Aurangabad (MS) 431001 India. His research interests are Human computer Interaction, Digital Speech Signal processing, Data Mining, Image Processing, Pattern Recognition, artificial Intelligence, Computational Auditory Scene Analysis (CASA), Neural Networks, GIS and Remote Sensing, Sentiment Analysis etc. He is Fellow member and Chairman of IETE Aurangabad Centre, The Institutions of Electronic and Telecommunication Engineers (FIETE). Senior Member of Association of Computer Electronics and Electrical Engineers (ACEEE). Life member of CSI (Computer Society of India), The Indian Society for Technical Education (ISTE), Indian Science Congress Association (ISCA), Institute of Doctors Engineers and Scientists (IDES). Member of International Association of Engineers (IAEng), computer science Teachers Association. (CSTA), IEEE. DST-FIST Program Coordinator, Coordinator of Global Initiative on Academic Networks (GIAN) Coordinator of Maharashtra. State Marathi World Dictionary Development Committee, Govt. of Maharashtra in the subject of Information Technology and Computer Science. Edited ten books and published more than 165 research paper. [rrdeshmukh.csit@bamu.ac.in](mailto:rrdeshmukh.csit@bamu.ac.in)

**Swapnil D. Waghmare**, Ph.D Research Fellow, Department of Computer Science and Information Technology, Dr. B. A. M. U. Aurangabad, [waghmare.swapnil21@gmail.com](mailto:waghmare.swapnil21@gmail.com).

**Amol R. Gaikwad**, M. Phil Research Fellow, Department of Computer Science and Information Technology, Dr. B. A. M. U. Aurangabad, [gaikawadamol@gmail.com](mailto:gaikawadamol@gmail.com).

**Shalini V. Sathe**, M. Phil Research Fellow, Department of Computer Science and Information Technology, Dr. B. A. M. U. Aurangabad, [shalinisathe55@gmail.com](mailto:shalinisathe55@gmail.com) .

**Ashwini S. Gankwar**, M. Phil Research Fellow, Department of Computer Science and Information Technology, Dr. B. A. M. U. Aurangabad, [ashwiniganakwar22@gmail.com](mailto:ashwiniganakwar22@gmail.com).

Snehal S. Datwase, Ratnadeep R. Deshmukh, Rohit S. Gupta

## **AVAILABLE PALMPRINT DATABASES: A REVIEW**

*Palmprint is a one-of-a-kind and highly usable biometric trait. Several studies have been conducted in this topic during the last few decades. Various algorithms and systems have been developed and successfully implemented. Because it can obtain more discriminative information for personal identification recognition, multispectral or hyperspectral palmprint imaging and recognition could be a potential answer to*

*these systems. Biometric technology has been widely employed in security to produce authentication and identification during the last few years. An improved recognition system is required for increased accuracy and speed. We reviewed all of the palmprint databases available, as well as the various approaches used and their accuracy, in this paper.*

*Biometric, palmprint, Database, Hyperspectral, Multispectral.*

## **Introduction**

In today's generation, there is a rapid and widespread adoption of technology and devices such as mobile phones and the Internet, where some personal data of the user is stored and protected by passwords and patterns that are easily cracked, and where biological features can be used for all security and privacy concerns. Biometric technology has been increasingly used in security to produce authentication and identification during the last few years. Physiological and behavioural biometrics are the two forms of biometrics [1]. Face, fingerprint, iris, palmprint, hand etc. are physiological biometrics; behavioural biometrics include gait, keystroke, and signature. All the biometrics, physiological biometrics offer the most advantages [2]. Identification and verification are the two most common recognition modes for biometrics systems. The term "identification" refers to a one-to-many comparison that answers the query, "Who is this person?" Verification is a one-to-one comparison that answers the question "is the person who claims to be who he says he is?" Palmprint recognition has gotten a lot of interest from researchers as one of the new biometrics techniques [3]. There are various biometric qualities, each with its own set of characteristics. Palmprint has a big area to get more features, the palm print is more reliable, and the palm print may be used with images of poor quality [4] [5]. Palm-related features, as well as major features like ridges, valleys, and minutiae point primary lines, exhibit great accuracy in all biometric features. Where the palmprint has a large ROI, it can be taken at a lesser resolution and from a larger distance with a less costly sensor or DSLR camera, making it less expensive [6]. Palmprint have low distortion, good stability, and high uniqueness when compared to other biometrics. Previously, classic natural light imaging systems could only gather palmprint images in grayscale forms. Hyperspectral and multispectral palmprint imaging are novel approaches that have recently been applied to improve the performance and accuracy of classic natural light imaging systems. The palmprint technique may record the palm in a range of spectrums, ranging from 3 to 10, with the most common being red, green, blue, and near-

infrared (NIR) spectral bands. As a result, each spectral band highlights various aspects in comparison to the natural light image, allowing for more information to be obtained in order to improve a palmprint identification system [7].

Several internet palmprint databases are available, according to the research. Which the researcher collects according to their research requirements, with varying illumination, size, and pixels Contactless contact based devices with various age groups were used to acquire some information.

### **Database Review**

#### **1) PolyU-IITD Contactless Palmprint Images Database (Version 3.0)**

PolyU-IITD Contactless Palmprint Images Database is acquired from people of India and china from the various locations with help of hand-held camera. This database is acquired from 600 different subjects which is the largest until August 2020 literature. The database is collected from the age group of 5 to 72 years from different population group that includes non-officer works, farmers, countryside laborers, injured palms and hands with special capabilities or injuries. The database provides each 10 images of left and right hand it means 20 images of each person. The images in this database have high scale variations. This database contains fingerprint images taken over 15 years and is one of the unique contributions of this database. This database is available to researchers from December 2018 [8].

#### **2) IIT Delhi Touchless Palmprint Database (Version 1.0)**

The IIT Touchless Palmprint Database is acquired from the students and the teachers of IIT Delhi India the database consist of full hand images. The database collected in the year of July 2006 to June 2007 by using simple and touchless imaging setup. The database acquired in the indoor climate and enroll circular fluorescent illumination on all side of the camera lens. The all the images are in bitmap format (\*.bmp) collected from 230 peoples from the age group of 12 to 57 years old the resolution of each image is 800 x 600 pixels. Seven images are taken of each left and right hand from different position. The all images have sequentially numbered in integer number. This database is available to the researcher from October 2007 [9].

#### **3) HYPHERSPECTRAL PALMPRINT DATABASE**

In the Hong kong polytechnic university the big hyperspectral palmprint database was collected in their department of biometric research lab with the help of liquid crystal tunable filter system which is made by meadowlark some charge couple device was used made by cooke corporation with help of Osram halogen light of 500 W. The central wavelength is 550 nm. The palm image is

taken at 69 spectral band at length of 10 nm with spectral at 420-1100 nm. The database collected from 190 individual in between the age group of 20 to 60 year old. The database is collected in two session with average time gap at 1 month. The seven image is taken of each left and right palm of each person so total database contain 5240 images. The first ten and last ten spectra are removed because of low quality. The size of each image is 128\*128 Pixel [10] [11] [12].

#### 4) Multispectral palmprint Database

Zhang et. al., [13] they developed the multispectral palmprint database from the 250 different people in that 195 males are included. The database is collected with the help of data acquisition device which is the touchless palmprint device. The database is collected from 20 to 60 years old. The data is collected in two different session with time interval of 9 days. On each collection session the six samples of each palm is taken. From the total 500 different palm total 6000 images are collected in the database. Each time device collected the four different band (Red, Green, Blue, NIR) it means four images each time in 1 sec. The resolution of each image is 352\*288 pixel.

#### 5) Hyperspectral database

Zhao et. al., [14] [15] developed their own huge database of hyperspectral imaging device in visible light and NIR in the University of Macau, china. There is 209 subjects are taken to establish a dataset. In the spectral device the light source covers a spectral wavelength from 520 nm to 1040 nm with 10 nm intervals so total 53 spectral bands are used. The size of each image captured is 501\*501 at 96 dpi. This images are stored in bitmap (\*.bmp) with 8 bit per pixel format. And five samples were collected from the each palm it means total 55,385 image dataset is collected.

#### 6) The polyU palmprint Database (version 2)

The polyU palmprint database is collected from the 193 people from the total 386 palm. The Samples were collected in the two sessions. The average time between two sessions is two months. In each session 10 samples are collected from each hand but in the second session not all 10 samples are collected from each palm only few samples are captured. In this database total 7752 palmprint images were captured and large dataset is collected. Where in the second session only few samples were collected for evaluation of that total collected database, they choose 3740 image sample of 187 subjects in that each individual person give 10 sample at each right and left palm [16].

### 7) CASIA

The Chinese academy of science developed the palmprint database with their self-developed palmprint recognition device. In the database the images were captured using the CMOS camera which is mounted on the top. In this device person have to just insert palm into the device and place it on to a uniform-coloured background. The database is developed from the 312 people with 16 samples from both right and left hand. Contain total 5502 palmprint images. All the images are 8-bit grey level in the JPEG format [17] [18].

### 8) COEP

The COEP devolved the palmprint database in the project funded by the Rajiv Gandhi Science and Technology commission. The database consists of total 1344 images collected from the 168 people. The images are captured using digital camera 8 samples at each subject. The resolution of the images is 1600\*1200. The database collected in period of 1 year. The images are available in .jpg format [19].

### 9) XJTU palmprint database

The XJTU palmprint database is captured in an unrestricted environment. XJTU database is collected from iPhone 6S, HUAWEI mate8, LG G4, Samsung Galaxy Note5 and MI8. The database is collected in two environments with natural indoor light and flashing light from mobile phones. From 100 people in the age group of 19 to 35 years, the samples of each person give 10 to 15 samples of the left and right hands in different environments. The poses and background of the picture are always changing. The pixel size and image size of each mobile phone is different. A total of 20,000 images are captured. (100\*2\*10\*5\*2) [20].

## **Literature Review**

Shashi Balaa, et. al., [21] the proposed method of palm print detection is strengthened applied on CASIA database in this study by the use of the Maximum Curvature approach and the Repeated Line Tracking method to identify broken and repeated lines. In this method, CLAHE is used to improve contrast, and a thresholding scheme is used to apply segmentation. The approach also employs a Log Gabor filter to effectively remove noise. The technique employs the greatest curvature method, which is quite useful for obtaining fine information from the palm. The method of repeated line tracking has a faster response time. In this procedure, a 100 percent matching score is achieved.

MUSTAFA S. KADHM et. al., [17] they proposed methods for extracting characteristics and classifying them based on direction, Local Binary Pattern (LBP) features, C5.0, and K-Nearest Neighbour (KNN). The system used two

palmprint image datasets from the College of Engineering Pune (COEP) and the Chinese Academy of Sciences (CASIA) and achieved a high recognition rate of 99.7% with a low error rate of 0.009%.

Zohaib Khan, et. al., [22] Contour Code, a unique multidirectional representation and binary hash table encoding for robust and efficient multispectral palmprint detection, was introduced in this study. For the extraction of a region of interest from palm images collected using noncontact sensors, an automatic technique was developed. They report quantitative ROI extraction findings by comparing automatically derived ROIs to humanly extracted ground truth, unlike existing approaches. In numerous experimental configurations employing two standard databases, PolyU and CASIA, the Contour Code consistently outperformed existing state-of-the-art procedures and consistently outperformed existing state-of-the-art techniques. The Contour Code's binary encoding in a hash table allows for simultaneous database matching and score level fusion of the multispectral bands in a single step. Score normalization is not required before fusion, unlike other methods. The Contour Code is a generic orientation code for line-like features that can be applied to fingerprints and finger-knuckle prints, among other biometric attributes. On both datasets, the error rates produced by their technique 0.003 percent on PolyU and 0.2 percent on CASIA are the lowest in the literature.

Hui Li et. al., [23] in the three stages of palmprint recognition in this paper, four different quantum algorithms are used. In palmprint filtering processing, the quantum adaptive median filtering algorithm is introduced first. Through comparison, the quantum filtering algorithm can achieve a superior filtering result than the classical algorithm. Due to quantum parallelism, the quantum Fourier transform (QFT) is then employed to extract pattern features with only one operation. In the feature extraction, the suggested technique outperforms the discrete Fourier transform by an exponential factor. Finally, palmprint matching employs quantum set operations and the Grover method. The quantum approach only needs to use square of  $N$  operations to discover the target palmprint, according to the experimental results, whereas the regular method requires  $N$  times of calculation. At the same time, the quantum algorithm's matching accuracy is nearly 100 percent. Experimental results show that the quantum algorithm only needs to do square of  $N$  operations to discover the target palmprint, whereas the classical method requires  $N$  times of calculation. At the same time, the quantum algorithm's matching accuracy is nearly 100 %.

Junwen Sun et. al., [24] in this study, a band selection strategy on PolyU hyperspectral palmprint database is proposed. Low-quality bands are eliminated directly using picture entropy and the EER metric. After that, a clustering method is utilized to choose the best band combination, and the clustering method is finally validated by the band fusion method. The EER on the proposed approach is EER 0.17325%. Furthermore, in this study they told the biometrics system should have an only a high recognition rate as well as be resistant to spoof assaults. Hyperspectral images can provide a lot of information about a real human hand, rather than a printed palmprint paper or a rubber hand.

Akila P, et. al., [16] the left and right palmprint samples of the identical subject are shown to be substantially comparable in this paper. They proposed the methods on two databases Poly U (version 2) and IITD palmprint database. This research investigates the usage of this type of similarity for palmprint identification performance improvement. The proposed method thoroughly considers the characteristics of the left and right palmprint before designing an algorithm to compare their similarity. Furthermore, the suggested weighted fusion approach use this Similarity to merge the three types of scores derived from the left and right palmprint pictures. Extensive tests show that the proposed framework achieves very high accuracy, and that using the similarity score between the left and right palmprints improves accuracy significantly. The result of proposed method on polyU database is 0.06% to 0.2% which is less than conventional fusion method.

Wei Nie, et. al., [15] in this work by modifying image acutance, this research proposes a method for improving hyperspectral hand recognition. For the first time, a thresholded pixel-wise acutance value (TPAV) was developed for analyzing image acutance. Then, using Gaussian filters, image convolution was used to modify the picture acutance, which served as a pre-processing step for discriminative local feature extraction. Finally, using TPAV, the ideal acutance range for each band in a hyperspectral hand database may be calculated. Experiments on HDHV and HPV databases were carried very extensively. The findings backed up the theory that there is an optimal acutance range for hyperspectral hand biometrics to work at their best. The PolyU multispectral palmprint database was used to test the generalization capabilities of their method and supported the hypothesis. Even though acutance correction takes on average 0.0229 seconds for a single image from the three datasets the end result is much better than the original with no acutance adjustment.

Jinyu Guo, et. al., [25] they present a unique palmprint identification on the polyU (version 1) palmprint database they approach that combines phase congruency (PC) with two-dimensional principal component analysis (2DPCA) in this study. Extensive tests have been carried out to assess the algorithm's performance. They demonstrate that the phase congruency image can eliminate the effects of lighting conditions. Simultaneously, increase the recognition validity using 2DPCA, which does not damage the image structure. When the dimension is set to 46, the proposed technique gets a recognition rate of 99.44 percent matching time is 0.311s. The performance of the PCA, 2DPCA, MPCA, ICA, MICA, and LPP techniques is much superior. The fusion scheme, on the other hand, places a significant computational burden on the system.

Sen Lin, et. al., [26] they suggested a palmprint recognition method based on block mean gray values in this work, which they dubbed the non-contact palmprint identification simulation system. The simulation system described in this article provides a number of advantages over previous approaches, including ease of image acquisition, ease of operation, and high speed of operation. To test the method, they created their own non-contact palmprint database which contain 100 right palm with 10 samples each in that 5 samples for registration 5 for test. The results of the experiments reveal that this technology can achieve a decent palmprint recognition effect, and that it is simple, feasible, and successful, with a wide range of applications. This experiment has a 97.48 percent recognition rate.

Shuping Zhao et al. [14] they introduced a multiple features fusion representation approach for hyperspectral palmprint recognition at the score level in this paper. In that they create their own hyperspectral dataset of 55,385 images. In the first phase, they used LBP, LDP, and DCNN to extract features from hyperspectral palmprint images from a single person using all bands, resulting in three feature matrices comprising local texture features, local direction features, and global deep convolutional features, respectively. The 2D-PCA was then used to reduce the dimensionality of the feature matrices and generate a uniform feature vector. Finally, they suggested that collaborative residual feature fusion be used in recognition. The feature matrix's dimensionality was lowered with this new format. Then, using a dataset of 53 spectral bands, recognition experiments were carried out. When compared to feature combinations, the suggested feature representation approach had the best results, with an EER of 0.11 percent and an accuracy of 99.76 percent.

Anita G. Khandizod et. al., [27] in this paper, 13 image enhancement techniques were used to improve the quality of a hyperspectral palmprint image. These methods applied on PolyU Hyperspectral palmprint database. To determine the quality, subjective and objective image quality measures were used. Because subjective analysis can't be relied on because it varies from person to person based on their image perception and visual assessments, as well as being time consuming, the enhanced image was subjected to objective quality measures such as MSE and PSNR. According to their findings, the 2D median filter is the best image enhancing strategy for hyperspectral palmprint images when compared to the other techniques.

Anita Gautam Khandizod et. al., [12] in this research, palmprint line features are recovered using the phase congruency approach on a total of 600 palmprint images, and limited adaptive histogram equalization (CLAHE) is utilized to increase image quality and contrast. The phase congruency feature vector is compared to other database feature vectors using a k-NN classifier, and the system determines how many people are admitted and denied. The experimental results reveal that as the database recognition accuracy improved, so did the database recognition accuracy. The proposed method obtains a recognition accuracy of 95.31 percent.

Ajay Kumar et. al., [28] in this study, they looked at how to improve performance by combining numerous palmprint matchers at the rank level. They looked at rank level combination for palmprint matchers utilizing four distinct ways, including Borda count, weighted Borda count, highest and product of ranks, and Bucklin majority voting, as well as proposing a new nonlinear approach for combining the ranks. The experimental results are shown on two palmprint databases, from 234 and 100 participants palmprint image databases, and they consistently show that rank level combination can be used to increase performance from a combination of matchers. Second, as demonstrated by the experimental result of 98.75%, their suggested nonlinear rank level fusion approach consistently outperforms existing popular rank level fusion approaches.

Xingpeng Xu et. al., [29] to the best of their knowledge, a quaternion model is used for multispectral biometrics for the first time in this study to completely exploit the information in multispectral palmprint images. QPCA is designed to represent global features, while QDWT is intended to extract local characteristics. For 500 palms, their fusion could obtain a recognition accuracy of 98.83 percent. The experimental results suggest that the proposed method is suitable for real-world applications, and that the quaternion model is a useful and effi-

cient multispectral biometric tool. In the case of less than four illuminations, the quaternion matrix has been demonstrated to be still effective for multispectral palm print.

Huikai Shao et. al., [20] they undertake a thorough investigation for efficient deep palmprint identification using distilled hashing coding in this paper. Using five mobile phones, they created an unconstrained palmprint image database. This database has more palmprint photos and modalities with less acquisition constraints than comparable public databases. Each image has 14 important locations specifically annotated for ROI extraction, which will be made public to the scientific community. They were able to identify important spots and generate relatively consistent ROIs using the regression tree approach. They achieved efficient palmprint verification and identification using a deep hashing network, with an average accuracy of 97.49 percent and an average EER of 0.607 percent. On light networks, the knowledge distillation technique is utilized to improve recognition performance. The average classification accuracy has increased by 40.61 percent, while the average EER has decreased by 1.64 percent, according to the findings. The results of the experiments suggest that the database they created has a number of advantages and may be utilized successfully in the research of a variety of tasks.

Dexing Zhong et. al., [30] in this study, they proposed a palmprint recognition method based on a Siamese network that can calculate the similarity index of two input palmprints directly. Their technology also included end-to-end recognition. Two parameter-sharing VGG-16 networks were used to extract the convolutional characteristics of two input palmprints, with the top network identifying the similarity of two input palmprint based on their convolutional features. This method had an EER of 0.2819 percent on the PolyU test set. In addition, using their realistic dataset XJTU, the EER was 4.559 percent.

Midhuna Naveen et. al., [31] in this study, they concentrated on palmprint identification utilizing deep learning methodology; deep learning is the most powerful technology, and RFCNN has effectively applied it to biometric and computer vision problems. The palmprint recognition system based on RFCNN offers a high level of accuracy when compared to existing identification systems and is expected to bring in a new age in biometric identification technologies. When compared to other CNN algorithms, RFCN has the highest accuracy of 98.36%. Alex Net has a 98.21 percent accuracy, 92.56 percent LBP, and 89.50 percent SVM. The accuracy of SVM is the lowest. The accuracy rate is in-

created by combining CNN-based algorithms. The greater the accuracy and test data rate, the larger the dataset utilized to train the model.

Xueqiu Dong et. al., [32] they propose a palmprint recognition algorithm based on Convolutional Neural Networks (CNN), a palmprint recognition method that can directly act on grayscale images, the proposed approach is applied on the palmprint database of Hong Kong University of science and technology the ability to learn palmprint database and get palmprint features using network automatic feature extraction, and the network can adapt to the diversity of palmprint through the design of training data. The palmprint feature can be recovered from the palmprint original without image pre-processing or other special extraction through effective network and training data design, resulting in effective identification. The results of the experiments reveal that the method is effective and trustworthy in recognizing palmprint, with an accuracy of 99.95 percent.

Abdallah Meraoumia et. al., [33] proposed the design and development of multiple multimodal biometric systems for person identification that make use of features retrieved from a variety of palmprint image representations. They employed two methods for feature extraction: the method of feature extraction vector and the method of features model. The trial findings on a database of 400 users reveal that the identification accuracy is very high. They employ multiple common databases from PolyU to evaluate the proposed systems' identification accuracy. The databases include palm pictures with various representations, PLP, PVP, CLP, MSP, and 3DP. They employed their approach to generate a fused matching score that was used in the recognition step. The ROR for the hybrid system was 100%.

Anita G. Khandizod et. al., [34] in this paper, they used the Polytechnique Hong Kong University database of multispectral palmprint images, which has 6000 samples with four distinct illuminations, for a total of 24000 images. However, they only used two samples from each session, total 800 images. In that study, they first proposed database pre-processing, in which the Gaussian filter provided the best results, and then they did image fusion of all four illuminations using the DWT technique to decrease the large dimensionality 2nd order derivative. The Euclidian distance of two image was then determined. When the threshold value is 0.33 percent, it yields a recognition rate of 90%.

Poonam Pooniaa, et. al., [35] in this paper, they proposed a new palmprint template based on three standard databases and a multispectral palmprint database. They performed Delaunay triangulation on that database, which is mathematically proven to produce a robust local distribution, and the proposed tem-

plate uses the minutiae transform algorithm to generate minutiae triplets. After that, the proposed template is resistant to the reconstruction procedure, and it is rotation, translation, and distortion invariant throughout. The recognition rate on the CRR and EER is 95.4 percent and 0.37 percent, respectively. PolyU has a 0.39 percent recognition rate while IIT Delhi has a 0.4 percent recognition rate.

In this survey of all research papers various feature extraction and classification methods on the palmprint database were used. Maximum curvature, repeated line tracking, KNN (K-Nearest Neighbour), Quantum algorithm, Deep convolution neural network, CLAHE, Contour Code, quantum Fourier transform (QFT): this method was shown to be the most accurate and fastest. Resistance against spoof assault is just as vital as accuracy and quickness. There are two types of imaging that achieved the best results in the research survey: hyperspectral and multispectral images. While multispectral images can be readily spoofed, hyperspectral images are very difficult to spoof.

### **Hyperspectral Image**

Hyperspectral imaging is another name for imaging spectroscopy [36]. Instead of assigning main colours (red, green, and blue) to each pixel, hyperspectral imaging analyses a wide spectrum of light [37]. In the wavelength range of 500 to 2500 nm, hyperspectral sensors acquire more than 100 contiguous spectral bands with a narrow bandwidth (5–10 nm) [38]. Hyperspectral sensors are designed to collect data from the reflecting region of the electromagnetic spectrum. The entire inspection spectrum is organized into hundreds of discrete contiguous bands and runs from visible to near infrared. Hyperspectral imaging is a popular remote sensing technique [39]. Hyperspectral images gather more spectral information, reducing processing time and speeding up the process. Hyperspectral bands have a 0.01m gap between them. Data for hyperspectral imaging is collected in three dimensions: two spatial and one spectral [40]. The resulting hyperspectral images not only contain a lot of spectral information about the ground features' unique physical attributes, but they also have a lot of spatial information about them. As a result, Hyperspectral can be used to tackle problems that are difficult to answer in multispectral or natural photos, such as pixel identification [41].

### **Multispectral Image**

Multispectral images are becoming increasingly common in research domains such as remote sensing, fluorescence microscopy, astronomical imaging, and geo-tracking [42]. A multispectral image is grey scale image. A grayscale image has one wavelength or colour channel, a Red–Green–Blue image has

three wavelengths for each pixel, and CYMK has four colour channels. Multispectral imaging has between four and twenty colour channels [43]. Image data is captured via multispectral imaging in specified wavelength ranges across the electromagnetic spectrum. The wavelengths can be separated using filters or detected using devices that are sensitive to certain wavelengths, such as light from outside the visible light spectrum, such as infrared and ultra-violet light. Spectral imaging can extract information that the human eye's visible receptors for red, green, and blue are unable to acquire [44]. Using multispectral illuminators based on electromagnetic theory, multispectral images are produced. In order to make a better choice, multispectral approaches necessitate many samples of the same item. Multispectral images avoid the RGB image's metamerism problem while also providing more information than just colour and increasing colour accuracy. It makes use of a variety of electromagnetic spectrums in the visual range. 460nm, 630nm, 700nm, 850nm, 940nm, and white light are the wavelengths of the illuminator that correspond to the six spectrums [45].

### **Conclusion**

The Biometric based on palmprint identification has improved day by day. In this paper we reviewed the palmprint available databases. We have studied the database how it was created with which devices and in which environment, database size, format and type, the database was created with contact based or contact-less device. In all the study we have reviewed the methods and different techniques applied on the available database and their recognition rate and speed. There are two types of imaging that achieved the best results in the research survey: hyperspectral and multispectral images. While multispectral images can be readily spoof, hyperspectral images are very difficult to spoof.

### **Acknowledgment**

This work is supported by Department of Science and Technology under the Funds for Infrastructure under Science and Technology (DST-FIST) with sanction no. SR/FST/ETI-340/2013 to Department of Computer Science and Information Technology, Dr. Babasaheb Ambedkar Marathwada University, Aurangabad, Maharashtra, India. The authors would like to thank Department and University Authorities for providing the infrastructure and necessary support for carryout the research. The authors would like to thank Chhatrapati Shahu Maharaj Research Training & Human Development Institute (SARTHI) for the financial support in this work.

## REFERENCES

1. Khandizod AG, Deshmukh RR. Multispectral Palm print Image Fusion-A Review. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, ISSN. 2014.
2. Gautam KA, Balakishi AI, Namrta MC. Development of non-imaging palmprint spectral library via asd field spec4 spectroradiometer. *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2019(3 (205)):62-71.
3. Shao H, Zhong D, Du X. Towards efficient unconstrained palmprint recognition via deep distillation hashing. *arXiv preprint arXiv:2004.03303*. 2020 Apr 7.
4. R.Nirmal joshua, 2Mr.C.Nelson kenedy babu “ *PALM PRINT RECOGNITION USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS*” ISSN- 2394-5125 VOL 7, ISSUE 14, 2020.
5. Prasanna, Yerra Satya Dhana Lakshmi, and R. Mani Deepika. “*PALM PRINT RECOGNITION USING INNER FINGER DEEP LEARNING USING NEURAL NETWORK.*” *INTERNATIONAL JOURNAL* 5.12 (2020).
6. Brown D, Bradshaw K. Deep Palmprint Recognition with Alignment and Augmentation of Limited Training Samples. *SN Computer Science*. 2022 Jan;3(1):1-7.
7. Gumaei A, Sammouda R, Al-Salman AM, Alsanad A. An effective palmprint recognition approach for visible and multispectral sensor images. *Sensors*. 2018 May;18(5):1575.
8. <https://www4.comp.polyu.edu.hk/~csajaykr/palmprint3.htm>
9. [http://www4.comp.polyu.edu.hk/~csajaykr/IITD/Database\\_Palm.htm](http://www4.comp.polyu.edu.hk/~csajaykr/IITD/Database_Palm.htm)
10. Department of Computing, the Hong Kong Polytechnic University (PolyU), Hyperspectral Palmprint database, PolyU, accessed on Aug. 22, 2013, available at: [http://www4.comp.polyu.edu.hk/~biometrics/Hyperspectral\\_Palmprint/HSP.htm](http://www4.comp.polyu.edu.hk/~biometrics/Hyperspectral_Palmprint/HSP.htm). K. Elissa, “Title of paper if known,” unpublished.
11. Zhang D, Guo Z, Gong Y. Feature Band Selection for Online Multispectral Palmprint Recognition. In *Multispectral Biometrics 2016* (pp. 153-162). Springer, Cham.
12. Khandizod, Anita & Deshmukh, Ratnadeep. (2018). *Hyperspectral Palmprint Recognition System using Phase Congruency and KNN Classifier*.
13. Zhang D, Guo Z, Lu G, Zhang L, Zuo W. An online system of multispectral palmprint verification. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*. 2009 Oct 16;59(2):480-90.
14. Zhao S, Nie W, Zhang B. Multi-feature fusion using collaborative residual for hyperspectral palmprint recognition. In *2018 IEEE 4th International Confer-*

- ence on Computer and Communications (ICCC) 2018 Dec 7 (pp. 1402-1406). IEEE.*
15. Nie W, Zhang B, Zhao S. Discriminative local feature for hyperspectral hand biometrics by adjusting image acutance. *Applied Sciences*. 2019 Jan;9(19):4178.
  16. Akila P, Gayathri R, Meenatchi R, Ramya M, Dharini D, 2016, Analysis of Multibiometric Palmprint Recognition System for Authentication, *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH & TECHNOLOGY (IJERT) NCICCT – 2016 (Volume 4 – Issue 19)*.
  17. Kadhm MS, Ayad H, Mohammed MJ. PALMPRINT RECOGNITION SYSTEM BASED ON PROPOSED FEATURES EXTRACTION AND (C5. 0) DECISION TREE, K-NEAREST NEIGHBOUR (KNN) CLASSIFICATION APPROACHES. *J. Eng. Sci. Technol*. 2021 Feb;16(1):816-31.
  18. <http://biometrics.idealtest.org/dbDetailForUser.do?id=5> CASIA Palmprint Database. Available from: [Accessed: 29 May 2020]
  19. <https://www.coep.org.in/resources/coeppalmprintdatabase>
  20. Shao H, Zhong D, Du X. Efficient deep palmprint recognition via distilled hashing coding. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops 2019 (pp. 0-0)*.
  21. Bala S. Comparative analysis of palm print recognition system with Repeated Line Tracking method. *Procedia Computer Science*. 2016 Jan 1;92:578-82.
  22. Khan Z, Shafait F, Hu Y, Mian A. Multispectral palmprint encoding and recognition. *arXiv preprint arXiv:1402.2941*. 2014 Feb 6.
  23. Li H, Zhang Z. Research on palmprint identification method based on quantum algorithms. *The Scientific World Journal*. 2014 Jan 1;2014.
  24. Sun J, Abdulla W, Wang W, Wang Q, Zhang H. Band Selection for Palmprint Recognition. *Journal of Advances in Information Technology Vol*. 2016 Nov;7(4).
  25. Guo J, Liu Y, Yuan W. Palmprint recognition based on phase congruency and two-dimensional principal component analysis. In *2011 4th International Congress on Image and Signal Processing 2011 Oct 15 (Vol. 3, pp. 1527-1530). IEEE*.
  26. Lin S, Bai Y, Tang Y. Design of online non-contact palmprint recognition simulation system. In *2016 9th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI) 2016 Oct 15 (pp. 686-690). IEEE*.

27. Khandizod AG, Deshmukh RR. Comparative analysis of image enhancement technique for hyperspectral palmprint images. *International Journal of Computer Applications*. 2015 Jul;121(23):30-5.
28. Kumar A, Shekhar S. Palmprint recognition using rank level fusion. In *2010 IEEE International Conference on Image Processing 2010 Sep 26 (pp. 3121-3124)*. IEEE.
29. Xu X, Guo Z, Song C, Li Y. Multispectral palmprint recognition using a quaternion matrix. *Sensors*. 2012 Apr;12(4):4633-47.
30. Zhong D, Yang Y, Du X. Palmprint recognition using siamese network. In *Chinese conference on biometric recognition 2018 Aug 11 (pp. 48-55)*. Springer, Cham.
31. Midhuna Naveen, Neethumol K J, Pritty Mary Mathew, Sherin Joseph, Sujitha M, 2021, Machine Learning Algorithms based Palmprint Biometric Identification, *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH & TECHNOLOGY (IJERT) ICCIDT – 2021 (Volume 09 – Issue 07)*,
32. Dong X, Mei L, Zhang J. Palmprint recognition based on deep convolutional neural networks. In *2018 2nd International Conference on Computer Science and Intelligent Communication (CSIC 2018) 2018 (pp. 82-88)*.
33. Meraoumia A, Bendjenna H, Chitroub S. Towards a robust palmprint representation for person identification. *International Journal of Information and Communication Technology*. 2019;14(1):89-109.
34. Khandizod AG, Deshmukh RR. Analysis and Feature Extraction using Wavelet based Image Fusion for Multispectral Palmprint Recognition. *International J Enhanced Research in Management & Computer Applications*, ISSN. 2014:2319-7471.
35. Poonia P, Ajmera PK, Shende V. Palmprint recognition using robust template matching. *Procedia Computer Science*. 2020 Jan 1167:727-36.
36. Paoletti ME, Haut JM, Plaza J, Plaza A. Deep learning classifiers for hyperspectral imaging: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2019 Dec 1158:279-317.
37. Schneider, Armin, and Hubertus Feussner. Biomedical engineering in gastrointestinal surgery. Academic Press, 2017.
38. Garg PK. Effect of contamination and adjacency factors on snow using spectroradiometer and hyperspectral images. In *Hyperspectral Remote Sensing 2020 Jan 1 (pp. 167-196)*. Elsevier.
39. Khandizod AG, Deshmukh RR. Hyperspectral palmprint recognition: a review. In *International Conference on Recent Trends and Challenges in Science and*

- Technology (RTCST 2014)*. Organized by Pravara Rural Education Society, Padmashri Vikhe Patil College of Arts, Science, and Commerce, Pravaranagar 2014 Aug (pp. 20-23).
40. Thamri E, Aloui K, Naceur MS. Selection of hyperspectral bands by adopting a dimension reduction strategy for recognition of multispectral palmprint. *In 2017 International Conference on Advanced Systems and Electric Technologies (IC\_ASET) 2017 Jan 14 (pp. 91-96). IEEE.*
  41. Jia S, Jiang S, Lin Z, Li N, Xu M, Yu S. A survey: Deep learning for hyperspectral image classification with few labeled samples. *Neurocomputing*. 2021 Aug 11448:179-204.
  42. Reddy PL, Pawar S. Multispectral image denoising methods: A literature review. *Materials Today: Proceedings*. 2020 Jan 1;33:4666-70. Lewis JA. *Forensic document examination: fundamentals and current trends*. Elsevier; 2014 Jan 31.
  43. [https://en.wikipedia.org/wiki/Multispectral\\_image](https://en.wikipedia.org/wiki/Multispectral_image)
  44. Mrs.Maheswari.MI, Ancy.S2, Dr. G. R. Suresh “SURVEY ON MULTISPECTRAL BIOMETRIC IMAGES” *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering Vol. 1, Issue 4, June 2013 ISSN (Print): 2320 – 9798 ISSN (Online): 2320 – 9801.*

**Snehal S. Datwase**, M. Phil Research Fellow, Department of Computer Science and Information Technology, Dr. B. A. M. U. Aurangabad [snehaldatwase@gmail.com](mailto:snehaldatwase@gmail.com)

**Dr. R. R. Deshmukh**, Professor and Former Head of Department of Computer Science and IT, Dr. Babasaheb Ambedkar Marathwada University, Aurangabad (MS) 431001 India. His research interests are Human computer Interaction, Digital Speech Signal processing, Data Mining, Image Processing, Pattern Recognition, artificial Intelligence, Computational Auditory Scene Analysis (CASA), Neural Networks, GIS and Remote Sensing, Sentiment Analysis etc. He is Fellow member and Chairman of IETE Aurangabad Centre, The Institutions of Electronic and Telecommunication Engineers (FIETE). Senior Member of Association of Computer Electronics and Electrical Engineers (ACEEE). Life member of CSI (Computer Society of India), The Indian Society for Technical Education (ISTE), Indian Science Congress Association (ISCA), Institute of Doctors Engineers and Scientists (IDES). Member of International Association of Engineers (IAEng), computer science Teachers Association. (CSTA), IEEE. DST-FIST Program Coordinator, Coordinator of Global Initiative on Academic Networks (GIAN) Coordinator of Maharashtra. State Marathi World Dictionary Development Committee, Govt. of Maharashtra in the subject of Information Technology

and Computer Science. Edited ten books and published more than 165 research paper [rrdeshmukh.csit@bamu.ac.in](mailto:rrdeshmukh.csit@bamu.ac.in)

**Rohit S. Gupta**, Ph.D Research Fellow, Department of Computer Science and Information Technology, Dr. B. A. M. U. Aurangabad, [rohitgupta8844@gmail.com](mailto:rohitgupta8844@gmail.com)

Deepali A. Mahajan., Namrata Mahender C., Ratnadeep R. Deshmukh  
**IDENTIFYING FACTORS OF INTERNET ADDICTION AMONG  
FACEBOOK TEENAGER USERS**

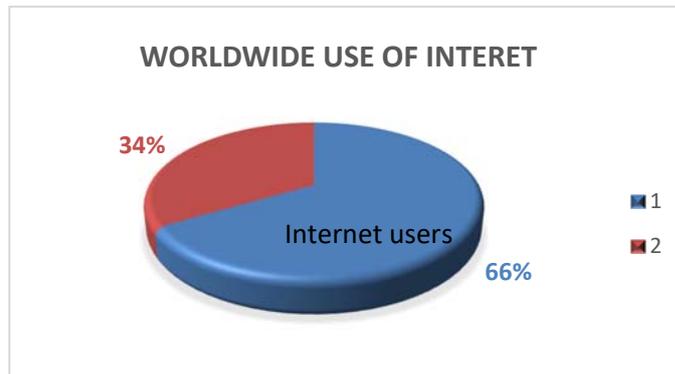
*Some Internet users developed an addiction to the Internet in the same manner that others developed an addiction to drugs or alcohol, resulting in academic, social, and occupational damage. The goal of this study is to investigate and identify the addiction of Internet in teenagers. In this study we have originated the offline questionnaires for the school going students. There were total 660 participants from different schools. The Internet addiction was studied using a cross-sectional research methodology. Data were collected from personally administered questionnaires. In this study we found the moderate use of Facebook in the teenagers.*

*SNS, Teenager, Adolescent, Questionnaire, Social Media, Addiction.*

### **Introduction**

The number of Internet users has expanded dramatically since the 1990s, making it one of the most important issues. As the phenomenon of extensive Internet browsing grows, researchers are increasingly attempting to determine the effects of heavy Internet usage, particularly among young individuals [1]. There are some internet users were developing Internet addictions in the same way that they were developing addictions to drugs, alcohol, or gambling etc. This has a number of negative consequences for the new generation [2]. This led in academic failure, poor employment performance, and even family conflict and divorce not only this, but also impacts on interpersonal problem, behavioral problem, physical problem, psychological problems, and work problem for excessive Internet usage. Because of advancements in the communication and technology industries, the way we live and work has changed dramatically over the last two decades [3]. Earlier people used to access internet via computers in their homes, schools, colleges, libraries, and internet cafés, but mobile phones are now bringing the Internet to users wherever the user is. Due to the progress of technology, the Internet can be accessed through smartphones [4]. The current global popu-

lation is estimated to be over 7.9 billion people. A total of 5,25 billion people use the internet on a regular basis. According to the report, 66.2 percent of the world's population uses the internet for various purposes [5]. This is a very large worldwide percentage of the user's population. As shown in the Figure 1. Major part of the population is engaged in the internet use.



*Fig. 1. Worldwide internet users*

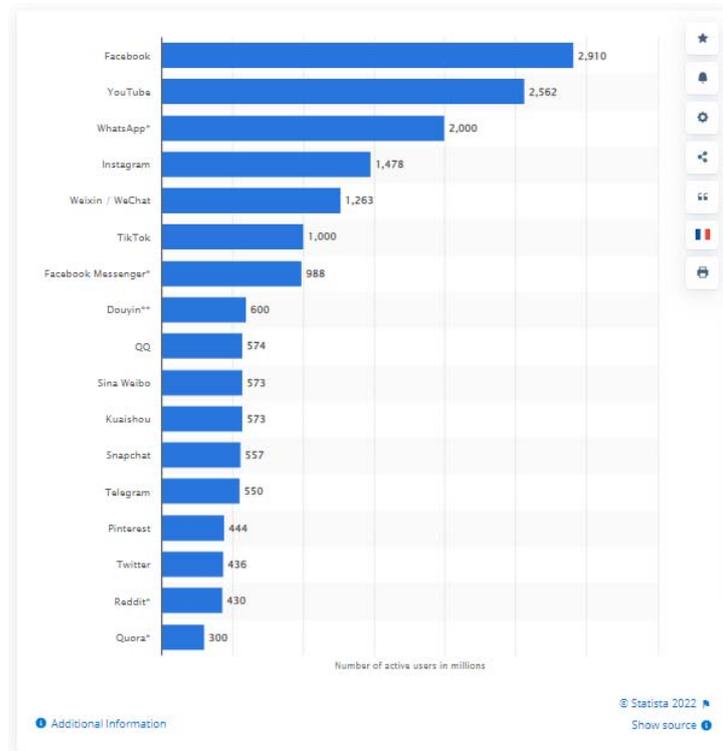
### **The usage of the internet:**

As the use of the internet is becoming popular, different web application get introduced for the users. It penetrates into almost every field of life such as business, medical, agricultural, industrial and educational. Due to the advancement of the technology the use of internet is possible on the smart phones. This is the major reason of addiction of the internet. In the youth. Researchers discovered a slew of benefits and drawbacks of using the internet for users, especially in the education sector. Excessive usage among school and college students has the potential to harm future generations, which is dangerous for society. The popularity of social media platforms is booming these days.

### **Social media websites:**

There are numerous social networking websites available on the internet and hence users have their own choice as per their requirements. Facebook, Instagram, Twitter, Yelp, Myspace, YouTube, WhatsApp, Facebook Messenger, TikTok, Telegram, Snapchat, Pinterest and many more. These websites allow people to share media, documents, comments, and opinions via the internet. According to the statistics provided on Statista website the most popular social networking site is Facebook, As shown in Figure 2, the most popular social networks in the world were ranked by the number of monthly active users in millions as of January 2022, There are more than 2.9 million users using this web-

site. This is the reason we have selected Facebook to study the impact on the teenagers.



*Fig. 2. As of January 2022, the most popular social networks in the world were ranked by the number of monthly active users (in millions) [6]*

### **Literature Review:**

Earlier Internet addiction research focused on the causes of Internet addiction and identifying characteristics in participants that made them more likely to become addicted to the Internet [7]. Internet addiction is becoming more prevalent, according to studies, particularly among college-aged individuals. To deal with the various risk factors that cause IA, more study is needed [8]. According to Young (2009), Internet users grow addicted to various aspects of internet use [9]. Adolescents are seen as a category of prospective Internet addicts since they are frequent Internet users but do not yet have a high level of mental maturity. The world of the Internet became the principal information source and place of relief for these adolescents. People can use the Internet to get information and solve a variety of challenges they face on a daily basis. Despite the Internet's generally held benefits, psychologists and educators have long been aware of its drawbacks, particularly excessive use and the resulting medical and psychological issues [10].

From the Literature survey it is noticed that the problem of internet and social media addiction is growing in adolescents. So it is important to study the addiction level in this age group. By considering this problem we have target the teenage students and conducted the study to check the Facebook addiction in school students.

### **Proposed Method**

#### **Data Collection:**

We have conducted offline survey to collect the data. We focus on teenage students, as now a day they are more addicted for the internet and the social media networks. Personally, we have visited the different schools and distributed the questionnaires among 8<sup>th</sup> 9<sup>th</sup> and 10<sup>th</sup> class students. School students from class 8th, 9th, and 10th are involved in this offline survey. Total 660 students were participated in the survey those belongs from different schools. We cover the English medium as well as Marathi medium schools for better results. For this survey the questionnaires have been designed in such a way, so that it will open the facts related to internet addiction. As discussed earlier, we target the Facebook users. Originally the questionnaire is designed with 36 items. In this study, we have included core 9 questions which help us to analyse the Facebook use in the school students. Other questions focuses on the different aspects of the Facebook use like impact on education, Social life etc. Table 1. Shows the selected questions for this study.

Table 1

Questions included in this study

Sr. No.	Questions.
1	Do you use Facebook?
2	How much time you spend on Facebook?
3	What is daily Facebook using time in general?
4	Do you enjoy while you are on Facebook?
5	How much time on holiday you spend on Facebook?
6	Do you feel angry when you are not allowed to use Facebook?
7	Do you frequently check your post for friend's remark?
8	If you feel lonely do you prefer use of Facebook?
9	Do you have spent whole night on Facebook?

### Analysis of data:

We used the SPSS software platform for statistical analysis. SPSS stands for "Statistical Package for the Social Sciences." This software provides statistical analysis for survey research, allowing the researcher to gain valuable insights from the responses collected via questionnaires. We calculated frequencies and percent in this paper, may aid in the comprehension of Facebook usage among school students.

### Result:

In the observed result we found that, for the first question which is about whether the students are using the Facebook or not we found that 63.9% students are not using the Facebook, and only 36.1 % students are active on the Facebook. This is reflected in Table 2. According to the Table 3, for second question we got that only 8.8 % students are using the Facebook for 2 to 5 hours and only 5% students using it for more than 5 hours. As shown in Table 4, the maximum 36.3 % students preferably use the FB Application at evening. For question no 4 in Table 5, only 44.9 % students are agreeing that they are enjoying the use of Facebook, and 55.1 % are not interested it this activity. According to the Table 6, we found the moderate use of Facebook on holidays also. For Question no. 6 in table 7, approximately 77% students don't feel angry when they are not allowed to use Facebook. Table 8 shows that 43.2 % students never check the post for friend's remark frequently. 52.3% students never prefer use of Facebook when they feel lonely according to the Table 9 and only 1% students spend the whole night on the Facebook as per given in the Table 10.

Table 2

		Do you use Facebook?			
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Yes	236	35.8	36.1	36.1
	No	418	63.3	63.9	100.0
	Total	654	99.1	100.0	
Missing	System	6	.9		
Total		660	100.0		

Table 3

## How much time you spend on Facebook?

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	0-2 Hours	273	41.4	86.1	86.1
	2-5 Hours	28	4.2	8.8	95.0
	More than 5 Hours	16	2.4	5.0	100.0
	Total	317	48.0	100.0	
Missing	System	343	52.0		
Total		660	100.0		

Table 4

## What is daily Facebook using time in general?

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Early Morning	47	7.1	15.4	15.4
	Afternoon	86	13.0	28.1	43.5
	Evening	111	16.8	36.3	79.7
	Late Night	62	9.4	20.3	100.0
	Total	306	46.4	100.0	
Missing	System	354	53.6		
Total		660	100.0		

Table 5

## Do you enjoy while you are on Facebook?

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Yes	196	29.7	44.9	44.9
	No	241	36.5	55.1	100.0
	Total	437	66.2	100.0	
Missing	System	223	33.8		
Total		660	100.0		

Table 6

How much time on holiday you spend on Facebook?

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	0-3 hour's	263	39.8	84.8	84.8
	3-6 hours	31	4.7	10.0	94.8
	More than 6 hours	16	2.4	5.2	100.0
	Total	310	47.0	100.0	
Missing	System	350	53.0		
Total		660	100.0		

Table 7

Do you feel angry when you are not allowed to use Facebook?

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Never	329	49.8	77.2	77.2
	Rarely	25	3.8	5.9	83.1
	Sometimes	61	9.2	14.3	97.4
	Often	3	.5	.7	98.1
	Frequently	8	1.2	1.9	100.0
	Total	426	64.5	100.0	
Missing	System	234	35.5		
Total		660	100.0		

Table 8

Do you frequently check your post for friend's remark?

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Never	161	24.4	43.2	43.2
	Rarely	65	9.8	17.4	60.6
	Sometimes	119	18.0	31.9	92.5
	Often	19	2.9	5.1	97.6
	Frequently	9	1.4	2.4	100.0
	Total	373	56.5	100.0	
Missing	System	287	43.5		
Total		660	100.0		

Table 9

If you feel lonely do you prefer use of Facebook?

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Never	193	29.2	52.3	52.3
	Rarely	62	9.4	16.8	69.1
	Sometimes	89	13.5	24.1	93.2
	Often	18	2.7	4.9	98.1
	Frequently	7	1.1	1.9	100.0
	Total	369	55.9	100.0	
Missing	System	291	44.1		
Total		660	100.0		

Table 10

Do you have spent whole night on Facebook?

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Never	206	31.2	52.4	52.4
	Rarely	166	25.2	42.2	94.7
	Sometimes	15	2.3	3.8	98.5
	Often	4	.6	1.0	99.5
	Frequently	2	.3	.5	100.0
	Total	393	59.5	100.0	
Missing	System	267	40.5		
Total		660	100.0		

### Conclusion and Future scope:

As today's scenario is all about the excess use of the internet and addiction for the use of internet and social media, we have investigated the status of addiction in the school students. The teenager students are more likely use the internet and social media for different reasons like for gaming, information searching and sharing. We have investigated 660 school students from different schools and found that there is moderate use of the internet. The symptoms of addiction have not been observed in the teenagers as almost 63.9 percent students don't use the Facebook, which is a popular social media as per the academic research. Almost 77.2 percent of the student don't feel angry if they are not allow for the use of the SNS website. This survey have been conducted in the Marathwada region of Maharashtra (INDIA).

In future we will expand our studies for some other social media like WhatsApp. We will analyze the different factors of internet addiction on the students for getting to understand the behavioral changes in the students.

#### REFERENCE

1. Alam, S. S., Hashim, N. M. H. N., Ahmad, M., Wel, C. A. C., Nor, S. M., & Omar, N. A. (2014). Negative and positive impact of internet addiction on young adults: Empericial study in Malaysia. *Intangible Capital*, 10(3), 619-638.
2. Young, K. S. (2009). Internet addiction: The emergence of a new clinical disorder. *Cyber Psychology and Behavior*, Vol. 1 No. 3., pages 237-244, August 15, 1996.
3. Alam, S. S., Hashim, N. M. H. N., Ahmad, M., Wel, C. A. C., Nor, S. M., & Omar, N. A. (2014). Negative and positive impact of internet addiction on young adults: Empericial study in Malaysia. *Intangible Capital*, 10(3), 619-638.
4. Priya, N., Si, gh, S., Raj, A., & Kumar, V. (2019). Internet addiction among students of Teerthanker Mahaveer University, Moradabad-A cross-sectional study, *International Journal of Medical Science and Public Health*, 2019 | Vol 8 | Issue 3.
5. Key Internet Statistics to know in 2022, BroadbandSearch, <https://www.broadbandsearch.net/blog/internet-statistics#:~:text=With%20a%20current%20worldwide%20estimated,the%20internet%20increased%20by%201%2C355%25>.
6. statista, <https://www.statista.com/statistics/272014/global-social-networks-ranked-by-number-of-users/>.
7. Byun, S., Ruffini, C., Mills, J. E., Douglas, A. C., Niang, M., Stepchenkova, S., ... & Blanton, M. (2009). Internet addiction: Metasynthesis of 1996–2006 quantitative research. *Cyberpsychology & behavior*, 12(2), 203-207.
8. Priya, N., Singh, S., Raj, A., & Kumar, V. (2019). Internet addiction among students of Teerthanker Mahaveer University, Moradabad-A cross-sectional study.
9. Andreassen, C. S., Torsheim, T., Brunborg, G. S., & Pallesen, S. (2012). Development of a Facebook addiction scale. *Psychological reports*, 110(2), 501-517.
10. Tsai, C. C., & Lin, S. S. (2003). Internet addiction of adolescents in Taiwan: An interview study. *CyberPsychology & Behavior*, 6(6), 649-652.

**Deepali A. Mahajan., Namrata Mahender C., Ratnadeep R. Deshmukh,**  
Dr. Babasaheb Ambedkar Marathwada University, Aurangabad, India.  
[deepaliborole@gmail.com](mailto:deepaliborole@gmail.com)  
[nam.mah@gmail.com](mailto:nam.mah@gmail.com)  
[rrdeshmukh.csit@bamu.ac.in](mailto:rrdeshmukh.csit@bamu.ac.in)

Snehal S. Datwase, Ratnadeep R. Deshmukh, Rohit S. Gupta

## **AVAILABLE PALMPRINT DATABASES: A REVIEW**

*Palmprint is a one-of-a-kind and highly usable biometric trait. Several studies have been conducted in this topic during the last few decades. Various algorithms and systems have been developed and successfully implemented. Because it can obtain more discriminative information for personal identification recognition, multispectral or hyperspectral palmprint imaging and recognition could be a potential answer to these systems. Biometric technology has been widely employed in security to produce authentication and identification during the last few years. An improved recognition system is required for increased accuracy and speed. We reviewed all of the palmprint databases available, as well as the various approaches used and their accuracy, in this paper.*

*Biometric, palmprint, Database, Hyperspectral, Multispectral.*

### **Introduction**

In today's generation, there is a rapid and widespread adoption of technology and devices such as mobile phones and the Internet, where some personal data of the user is stored and protected by passwords and patterns that are easily cracked, and where biological features can be used for all security and privacy concerns. Biometric technology has been increasingly used in security to produce authentication and identification during the last few years. Physiological and behavioural biometrics are the two forms of biometrics [1]. Face, fingerprint, iris, palmprint, hand etc. are physiological biometrics; behavioural biometrics include gait, keystroke, and signature. All the biometrics, physiological biometrics offer the most advantages [2]. Identification and verification are the two most common recognition modes for biometrics systems. The term "identification" refers to a one-to-many comparison that answers the query, "Who is this person?" Verification is a one-to-one comparison that answers the question "is the person who claims to be who he says he is?" Palmprint recognition has gotten a lot of interest from researchers as one of the new biometrics techniques

[3]. There are various biometric qualities, each with its own set of characteristics. Palmprint has a big area to get more features, the palm print is more reliable, and the palm print may be used with images of poor quality [4] [5]. Palm-related features, as well as major features like ridges, valleys, and minutiae point primary lines, exhibit great accuracy in all biometric features. Where the palmprint has a large ROI, it can be taken at a lesser resolution and from a larger distance with a less costly sensor or DSLR camera, making it less expensive [6]. Palmprint have low distortion, good stability, and high uniqueness when compared to other biometrics. Previously, classic natural light imaging systems could only gather palmprint images in grayscale forms. Hyperspectral and multispectral palmprint imaging are novel approaches that have recently been applied to improve the performance and accuracy of classic natural light imaging systems. The palmprint technique may record the palm in a range of spectrums, ranging from 3 to 10, with the most common being red, green, blue, and near-infrared (NIR) spectral bands. As a result, each spectral band highlights various aspects in comparison to the natural light image, allowing for more information to be obtained in order to improve a palmprint identification system [7]. Several internet palmprint databases are available, according to the research. Which the researcher collects according to their research requirements, with varying illumination, size, and pixels Contactless contact based devices with various age groups were used to acquire some information.

#### **Database Review**

##### **PolyU-IITD Contactless Palmprint Images Database (Version 3.0)**

PolyU-IITD Contactless Palmprint Images Database is acquired from people of India and china from the various locations with help of hand-held camera. This database is acquired from 600 different subjects which is the largest until August 2020 literature. The database is collected from the age group of 5 to 72 years from different population group that includes non-officer works, farmers, countryside laborers, injured palms and hands with special capabilities or injuries. The database provides each 10 images of left and right hand it means 20 images of each person. The images in this database have high scale variations. This database contains fingerprint images taken over 15 years and is one of the unique contributions of this database. This database is available to researchers from December 2018 [8].

##### **IIT Delhi Touchless Palmprint Database (Version 1.0)**

The IIT Touchless Palmprint Database is acquired from the students and the teachers of IIT Delhi India the database consist of full hand images. The da-

tabase collected in the year of July 2006 to June 2007 by using simple and touchless imaging setup. The database acquired in the indoor climate and enroll circular fluorescent illumination on all side of the camera lens. The all the images are in bitmap format (\*.bmp) collected from 230 peoples from the age group of 12 to 57 years old the resolution of each image is 800 x 600 pixels. Seven images are taken of each left and right hand from different position. The all images have sequentially numbered in integer number. This database is available to the researcher from October 2007 [9].

#### HYPHERSPECTRAL PALMPRINT DATABASE

In the Hong kong polytechnic university the big hyperspectral palmprint database was collected in their department of biometric research lab with the help of liquid crystal tunable filter system which is made by meadowlark some charge couple device was used made by cooke corporation with help of Osram halogen light of 500 W. The central wavelength is 550 nm. The palm image is taken at 69 spectral band at length of 10 nm with spectral at 420-1100 nm. The database collected from 190 individual in between the age group of 20 to 60 year old. The database is collected in two session with average time gap at 1 month. The seven image is taken of each left and right palm of each person so total database contain 5240 images. The first ten and last ten spectra are removed because of low quality. The size of each image is 128\*128 Pixel [10] [11] [12].

#### Multispectral palmprint Database

Zhang et. al., [13] they developed the multispectral palmprint database from the 250 different people in that 195 males are included. The database is collected with the help of data acquisition device which is the touchless palmprint device. The database is collected from 20 to 60 years old. The data is collected in two different session with time interval of 9 days. On each collection session the six samples of each palm is taken. From the total 500 different palm total 6000 images are collected in the database. Each time device collected the four different band (Red, Green, Blue, NIR) it means four images each time in 1 sec. The resolution of each image is 352\*288 pixel.

#### Hyperspectral database

Zhao et. al., [14] [15] developed their own huge database of hyperspectral imaging device in visible light and NIR in the University of Macau, china. There is 209 subjects are taken to establish a dataset. In the spectral device the light source covers a spectral wavelength from 520 nm to 1040 nm with 10 nm intervals so total 53 spectral bands are used. The size of each image captured is

501\*501 at 96 dpi. These images are stored in bitmap (\*.bmp) with 8 bit per pixel format. And five samples were collected from each palm it means total 55,385 image dataset is collected.

#### The polyU palmprint Database (version 2)

The polyU palmprint database is collected from the 193 people from the total 386 palm. The samples were collected in the two sessions. The average time between two sessions is two months. In each session 10 samples are collected from each hand but in the second session not all 10 samples are collected from each palm only few samples are captured. In this database total 7752 palmprint images were captured and large dataset is collected. Where in the second session only few samples were collected for evaluation of that total collected database, they choose 3740 image sample of 187 subjects in that each individual person give 10 sample at each right and left palm [16].

#### CASIA

The Chinese academy of science developed the palmprint database with their self-developed palmprint recognition device. In the database the images were captured using the CMOS camera which is mounted on the top. In this device person have to just insert palm into the device and place it on to a uniform-coloured background. The database is developed from the 312 people with 16 samples from both right and left hand. Contain total 5502 palmprint images. All the images are 8-bit grey level in the JPEG format [17] [18].

#### COEP

The COEP devolved the palmprint database in the project funded by the Rajiv Gandhi Science and Technology commission. The database consists of total 1344 images collected from the 168 people. The images are captured using digital camera 8 samples at each subject. The resolution of the images is 1600\*1200. The database collected in period of 1 year. The images are available in .jpg format [19].

#### XJTU palmprint database

The XJTU palmprint database is captured in an unrestricted environment. XJTU database is collected from iPhone 6S, HUAWEI mate8, LG G4, Samsung Galaxy Note5 and MI8. The database is collected in two environments with natural indoor light and flashing light from mobile phones. From 100 people in the age group of 19 to 35 years, the samples of each person give 10 to 15 samples of the left and right hands in different environments. The poses and background of the picture are always changing. The pixel size and image size of each mobile phone is different. A total of 20,000 images are captured. (100\*2\*10\*5\*2) [20].

## LITERATURE REVIEW

Shashi Balaa, et. al., [21] the proposed method of palm print detection is strengthened applied on CASIA database in this study by the use of the Maximum Curvature approach and the Repeated Line Tracking method to identify broken and repeated lines. In this method, CLAHE is used to improve contrast, and a thresholding scheme is used to apply segmentation. The approach also employs a Log Gabor filter to effectively remove noise. The technique employs the greatest curvature method, which is quite useful for obtaining fine information from the palm. The method of repeated line tracking has a faster response time. In this procedure, a 100 percent matching score is achieved.

MUSTAFA S. KADHM et. al., [17] they proposed methods for extracting characteristics and classifying them based on direction, Local Binary Pattern (LBP) features, C5.0, and K-Nearest Neighbour (KNN). The system used two palmprint image datasets from the College of Engineering Pune (COEP) and the Chinese Academy of Sciences (CASIA) and achieved a high recognition rate of 99.7% with a low error rate of 0.009%.

Zohaib Khan, et. al., [22] Contour Code, a unique multidirectional representation and binary hash table encoding for robust and efficient multispectral palmprint detection, was introduced in this study. For the extraction of a region of interest from palm images collected using noncontact sensors, an automatic technique was developed. They report quantitative ROI extraction findings by comparing automatically derived ROIs to humanly extracted ground truth, unlike existing approaches. In numerous experimental configurations employing two standard databases, PolyU and CASIA, the Contour Code consistently outperformed existing state-of-the-art procedures and consistently outperformed existing state-of-the-art techniques. The Contour Code's binary encoding in a hash table allows for simultaneous database matching and score level fusion of the multispectral bands in a single step. Score normalization is not required before fusion, unlike other methods. The Contour Code is a generic orientation code for line-like features that can be applied to fingerprints and finger-knuckle prints, among other biometric attributes. On both datasets, the error rates produced by their technique 0.003 percent on PolyU and 0.2 percent on CASIA are the lowest in the literature.

Hui Li et. al., [23] in the three stages of palmprint recognition in this paper, four different quantum algorithms are used. In palmprint filtering processing, the quantum adaptive median filtering algorithm is introduced first. Through comparison, the quantum filtering algorithm can achieve a superior filtering result

than the classical algorithm. Due to quantum parallelism, the quantum Fourier transform (QFT) is then employed to extract pattern features with only one operation. In the feature extraction, the suggested technique outperforms the discrete Fourier transform by an exponential factor. Finally, palmprint matching employs quantum set operations and the Grover method. The quantum approach only needs to use square of  $N$  operations to discover the target palmprint, according to the experimental results, whereas the regular method requires  $N$  times of calculation. At the same time, the quantum algorithm's matching accuracy is nearly 100 percent. Experimental results show that the quantum algorithm only needs to do square of  $N$  operations to discover the target palmprint, whereas the classical method requires  $N$  times of calculation. At the same time, the quantum algorithm's matching accuracy is nearly 100 %.

Junwen Sun et. al., [24] in this study, a band selection strategy on PolyU hyperspectral palmprint database is proposed. Low-quality bands are eliminated directly using picture entropy and the EER metric. After that, a clustering method is utilized to choose the best band combination, and the clustering method is finally validated by the band fusion method. The EER on the proposed approach is EER 0.17325%. Furthermore, in this study they told the biometrics system should have an only a high recognition rate as well as be resistant to spoof assaults. Hyperspectral images can provide a lot of information about a real human hand, rather than a printed palmprint paper or a rubber hand.

Akila P, et. al., [16] the left and right palmprint samples of the identical subject are shown to be substantially comparable in this paper. They proposed the methods on two databases Poly U (version 2) and IITD palmprint database. This research investigates the usage of this type of similarity for palmprint identification performance improvement. The proposed method thoroughly considers the characteristics of the left and right palmprint before designing an algorithm to compare their similarity. Furthermore, the suggested weighted fusion approach use this Similarity to merge the three types of scores derived from the left and right palmprint pictures. Extensive tests show that the proposed framework achieves very high accuracy, and that using the similarity score between the left and right palmprints improves accuracy significantly. The result of proposed method on polyU database is 0.06% to 0.2% which is less than conventional fusion method.

Wei Nie, et. al., [15] in this work by modifying image acutance, this research proposes a method for improving hyperspectral hand recognition. For the first time, a thresholded pixel-wise acutance value (TPAV) was developed for

analyzing image acutance. Then, using Gaussian filters, image convolution was used to modify the picture acutance, which served as a pre-processing step for discriminative local feature extraction. Finally, using TPAV, the ideal acutance range for each band in a hyperspectral hand database may be calculated. Experiments on HDHV and HPV databases were carried very extensively. The findings backed up the theory that there is an optimal acutance range for hyperspectral hand biometrics to work at their best. The PolyU multispectral palmprint database was used to test the generalization capabilities of their method and supported the hypothesis. Even though acutance correction takes on average 0.0229 seconds for a single image from the three datasets the end result is much better than the original with no acutance adjustment.

Jinyu Guo, et. al., [25] they present a unique palmprint identification on the polyU (version 1) palmprint database they approach that combines phase congruency (PC) with two-dimensional principal component analysis (2DPCA) in this study. Extensive tests have been carried out to assess the algorithm's performance. They demonstrate that the phase congruency image can eliminate the effects of lighting conditions. Simultaneously, increase the recognition validity using 2DPCA, which does not damage the image structure. When the dimension is set to 46, the proposed technique gets a recognition rate of 99.44 percent matching time is 0.311s. The performance of the PCA, 2DPCA, MPCA, ICA, MICA, and LPP techniques is much superior. The fusion scheme, on the other hand, places a significant computational burden on the system.

Sen Lin, et. al., [26] they suggested a palmprint recognition method based on block mean gray values in this work, which they dubbed the non-contact palmprint identification simulation system. The simulation system described in this article provides a number of advantages over previous approaches, including ease of image acquisition, ease of operation, and high speed of operation. To test the method, they created their own non-contact palmprint database which contain 100 right palm with 10 samples each in that 5 samples for registration 5 for test. The results of the experiments reveal that this technology can achieve a decent palmprint recognition effect, and that it is simple, feasible, and successful, with a wide range of applications. This experiment has a 97.48 percent recognition rate.

Shuping Zhao et al. [14] they introduced a multiple features fusion representation approach for hyperspectral palmprint recognition at the score level in this paper. In that they create their own hyperspectral dataset of 55,385 images. In the first phase, they used LBP, LDP, and DCNN to extract features from hy-

perspectival palmprint images from a single person using all bands, resulting in three feature matrices comprising local texture features, local direction features, and global deep convolutional features, respectively. The 2D-PCA was then used to reduce the dimensionality of the feature matrices and generate a uniform feature vector. Finally, they suggested that collaborative residual feature fusion be used in recognition. The feature matrix's dimensionality was lowered with this new format. Then, using a dataset of 53 spectral bands, recognition experiments were carried out. When compared to feature combinations, the suggested feature representation approach had the best results, with an EER of 0.11 percent and an accuracy of 99.76 percent.

Anita G. Khandizod et. al., [27] in this paper, 13 image enhancement techniques were used to improve the quality of a hyperspectral palmprint image. These methods applied on PolyU Hyperspectral palmprint database. To determine the quality, subjective and objective image quality measures were used. Because subjective analysis can't be relied on because it varies from person to person based on their image perception and visual assessments, as well as being time consuming, the enhanced image was subjected to objective quality measures such as MSE and PSNR. According to their findings, the 2D median filter is the best image enhancing strategy for hyperspectral palmprint images when compared to the other techniques.

Anita Gautam Khandizod et. al., [12] in this research, palmprint line features are recovered using the phase congruency approach on a total of 600 palmprint images, and limited adaptive histogram equalization (CLAHE) is utilized to increase image quality and contrast. The phase congruency feature vector is compared to other database feature vectors using a k-NN classifier, and the system determines how many people are admitted and denied. The experimental results reveal that as the database recognition accuracy improved, so did the database recognition accuracy. The proposed method obtains a recognition accuracy of 95.31 percent.

Ajay Kumar et. al., [28] in this study, they looked at how to improve performance by combining numerous palmprint matchers at the rank level. They looked at rank level combination for palmprint matchers utilizing four distinct ways, including Borda count, weighted Borda count, highest and product of ranks, and Bucklin majority voting, as well as proposing a new nonlinear approach for combining the ranks. The experimental results are shown on two palmprint databases, from 234 and 100 participants palmprint image databases, and they consistently show that rank level combination can be used to increase

performance from a combination of matchers. Second, as demonstrated by the experimental result of 98.75%, their suggested nonlinear rank level fusion approach consistently outperforms existing popular rank level fusion approaches.

Xingpeng Xu et. al., [29] to the best of their knowledge, a quaternion model is used for multispectral biometrics for the first time in this study to completely exploit the information in multispectral palmprint images. QPCA is designed to represent global features, while QDWT is intended to extract local characteristics. For 500 palms, their fusion could obtain a recognition accuracy of 98.83 percent. The experimental results suggest that the proposed method is suitable for real-world applications, and that the quaternion model is a useful and efficient multispectral biometric tool. In the case of less than four illuminations, the quaternion matrix has been demonstrated to be still effective for multispectral palm print.

Huikai Shao et. al., [20] they undertake a thorough investigation for efficient deep palmprint identification using distilled hashing coding in this paper. Using five mobile phones, they created an unconstrained palmprint image database. This database has more palmprint photos and modalities with less acquisition constraints than comparable public databases. Each image has 14 important locations specifically annotated for ROI extraction, which will be made public to the scientific community. They were able to identify important spots and generate relatively consistent ROIs using the regression tree approach. They achieved efficient palmprint verification and identification using a deep hashing network, with an average accuracy of 97.49 percent and an average EER of 0.607 percent. On light networks, the knowledge distillation technique is utilized to improve recognition performance. The average classification accuracy has increased by 40.61 percent, while the average EER has decreased by 1.64 percent, according to the findings. The results of the experiments suggest that the database they created has a number of advantages and may be utilized successfully in the research of a variety of tasks.

Dexing Zhong et. al., [30] in this study, they proposed a palmprint recognition method based on a Siamese network that can calculate the similarity index of two input palmprints directly. Their technology also included end-to-end recognition. Two parameter-sharing VGG-16 networks were used to extract the convolutional characteristics of two input palmprints, with the top network identifying the similarity of two input palmprint based on their convolutional features. This method had an EER of 0.2819 percent on the PolyU test set. In addition, using their realistic dataset XJTU, the EER was 4.559 percent.

Midhuna Naveen et. al., [31] in this study, they concentrated on palmprint identification utilizing deep learning methodology; deep learning is the most powerful technology, and RFCNN has effectively applied it to biometric and computer vision problems. The palmprint recognition system based on RFCNN offers a high level of accuracy when compared to existing identification systems and is expected to bring in a new age in biometric identification technologies. When compared to other CNN algorithms, RFCN has the highest accuracy of 98.36%. Alex Net has a 98.21 percent accuracy, 92.56 percent LBP, and 89.50 percent SVM. The accuracy of SVM is the lowest. The accuracy rate is increased by combining CNN-based algorithms. The greater the accuracy and test data rate, the larger the dataset utilized to train the model.

Xueqiu Dong et. al., [32] they propose a palmprint recognition algorithm based on Convolutional Neural Networks (CNN), a palmprint recognition method that can directly act on grayscale images, the proposed approach is applied on the palmprint database of Hong Kong University of science and technology the ability to learn palmprint database and get palmprint features using network automatic feature extraction, and the network can adapt to the diversity of palmprint through the design of training data. The palmprint feature can be recovered from the palmprint original without image pre-processing or other special extraction through effective network and training data design, resulting in effective identification. The results of the experiments reveal that the method is effective and trustworthy in recognizing palmprint, with an accuracy of 99.95 percent.

Abdallah Meraoumia et. al., [33] proposed the design and development of multiple multimodal biometric systems for person identification that make use of features retrieved from a variety of palmprint image representations. They employed two methods for feature extraction: the method of feature extraction vector and the method of features model. The trial findings on a database of 400 users reveal that the identification accuracy is very high. They employ multiple common databases from PolyU to evaluate the proposed systems' identification accuracy. The databases include palm pictures with various representations, PLP, PVP, CLP, MSP, and 3DP. They employed their approach to generate a fused matching score that was used in the recognition step. The ROR for the hybrid system was 100%.

Anita G. Khandizod et. al., [34] in this paper, they used the Polytechnique Hong Kong University database of multispectral palmprint images, which has 6000 samples with four distinct illuminations, for a total of 24000 images. However, they only used two samples from each session, total 800 images. In that

study, they first proposed database pre-processing, in which the Gaussian filter provided the best results, and then they did image fusion of all four illuminations using the DWT technique to decrease the large dimensionality 2nd order derivative. The Euclidian distance of two image was then determined. When the threshold value is 0.33 percent, it yields a recognition rate of 90%.

Poonam Pooniaa, et. al., [35] in this paper, they proposed a new palmprint template based on three standard databases and a multispectral palmprint database. They performed Delaunay triangulation on that database, which is mathematically proven to produce a robust local distribution, and the proposed template uses the minutiae transform algorithm to generate minutiae triplets. After that, the proposed template is resistant to the reconstruction procedure, and it is rotation, translation, and distortion invariant throughout. The recognition rate on the CRR and EER is 95.4 percent and 0.37 percent, respectively. PolyU has a 0.39 percent recognition rate while IIT Delhi has a 0.4 percent recognition rate.

In this survey of all research papers various feature extraction and classification methods on the palmprint database were used. Maximum curvature, repeated line tracking, KNN (K-Nearest Neighbour), Quantum algorithm, Deep convolution neural network, CLAHE, Contour Code, quantum Fourier transform (QFT): this method was shown to be the most accurate and fastest. Resistance against spoof assault is just as vital as accuracy and quickness. There are two types of imaging that achieved the best results in the research survey: hyperspectral and multispectral images. While multispectral images can be readily spoof, hyperspectral images are very difficult to spoof.

### **Hyperspectral Image**

Hyperspectral imaging is another name for imaging spectroscopy [36]. Instead of assigning main colours (red, green, and blue) to each pixel, hyperspectral imaging analyses a wide spectrum of light [37]. In the wavelength range of 500 to 2500 nm, hyperspectral sensors acquire more than 100 contiguous spectral bands with a narrow bandwidth (5–10 nm) [38]. Hyperspectral sensors are designed to collect data from the reflecting region of the electromagnetic spectrum. The entire inspection spectrum is organized into hundreds of discrete contiguous bands and runs from visible to near infrared. Hyperspectral imaging is a popular remote sensing technique [39]. Hyperspectral images gather more spectral information, reducing processing time and speeding up the process. Hyperspectral bands have a 0.01m gap between them. Data for hyperspectral imaging is collected in three dimensions: two spatial and one spectral [40]. The resulting hyperspectral images not only contain a lot of spectral information about the

ground features' unique physical attributes, but they also have a lot of spatial information about them. As a result, Hyperspectral can be used to tackle problems that are difficult to answer in multispectral or natural photos, such as pixel identification [41].

### **Multispectral Image**

Multispectral images are becoming increasingly common in research domains such as remote sensing, fluorescence microscopy, astronomical imaging, and geo-tracking [42]. A multispectral image is grey scale image. A grayscale image has one wavelength or colour channel, a Red–Green–Blue image has three wavelengths for each pixel, and CYMK has four colour channels. Multispectral imaging has between four and twenty colour channels [43]. Image data is captured via multispectral imaging in specified wavelength ranges across the electromagnetic spectrum. The wavelengths can be separated using filters or detected using devices that are sensitive to certain wavelengths, such as light from outside the visible light spectrum, such as infrared and ultra-violet light. Spectral imaging can extract information that the human eye's visible receptors for red, green, and blue are unable to acquire [44]. Using multispectral illuminators based on electromagnetic theory, multispectral images are produced. In order to make a better choice, multispectral approaches necessitate many samples of the same item. Multispectral images avoid the RGB image's metamerism problem while also providing more information than just colour and increasing colour accuracy. It makes use of a variety of electromagnetic spectrums in the visual range. 460nm, 630nm, 700nm, 850nm, 940nm, and white light are the wavelengths of the illuminator that correspond to the six spectrums [45].

### **Conclusion**

The Biometric based on palmprint identification has improved day by day. In this paper we reviewed the palmprint available databases. We have studied the database how it was created with which devices and in which environment, database size, format and type, the database was created with contact based or contact-less device. In all the study we have reviewed the methods and different techniques applied on the available database and their recognition rate and speed. There are two types of imaging that achieved the best results in the research survey: hyperspectral and multispectral images. While multispectral images can be readily spoof, hyperspectral images are very difficult to spoof.

### **Acknowledgment**

This work is supported by Department of Science and Technology under the Funds for Infrastructure under Science and Technology (DST-FIST) with

sanction no. SR/FST/ETI-340/2013 to Department of Computer Science and Information Technology, Dr. Babasaheb Ambedkar Marathwada University, Aurangabad, Maharashtra, India. The authors would like to thank Department and University Authorities for providing the infrastructure and necessary support for carryout the research. The authors would like to thank Chhatrapati Shahu Maharaj Research Training & Human Development Institute (SARTHI) for the financial support in this work.

## REFERENCES

1. Khandizod AG, Deshmukh RR. Multispectral Palm print Image Fusion-A Review. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, ISSN. 2014.
2. Gautam KA, Balakishi AI, Namrta MC. Development of non-imaging palmprint spectral library via asd field spec4 spectroradiometer. *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2019(3 (205)):62-71.
3. Shao H, Zhong D, Du X. Towards efficient unconstrained palmprint recognition via deep distillation hashing. *arXiv preprint arXiv:2004.03303*. 2020 Apr 7.
4. R.Nirmal joshua, 2Mr.C.Nelson kenedy babu “*PALM PRINT RECOGNITION USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS*” ISSN- 2394-5125 VOL 7, ISSUE 14, 2020.
5. Prasanna, Yerra Satya Dhana Lakshmi, and R. Mani Deepika. “*PALM PRINT RECOGNITION USING INNER FINGER DEEP LEARNING USING NEURAL NETWORK.*” *INTERNATIONAL JOURNAL* 5.12 (2020).
6. Brown D, Bradshaw K. Deep Palmprint Recognition with Alignment and Augmentation of Limited Training Samples. *SN Computer Science*. 2022 Jan;3(1):1-7.
7. Gumaei A, Sammouda R, Al-Salman AM, Alsanad A. An effective palmprint recognition approach for visible and multispectral sensor images. *Sensors*. 2018 May;18(5):1575.
8. <https://www4.comp.polyu.edu.hk/~csajaykr/palmprint3.htm>
9. [http://www4.comp.polyu.edu.hk/~csajaykr/IITD/Database\\_Palm.htm](http://www4.comp.polyu.edu.hk/~csajaykr/IITD/Database_Palm.htm)
10. Department of Computing, the Hong Kong Polytechnic University (PolyU), Hyperspectral Palmprint database, PolyU, accessed on Aug. 22, 2013, available at: [http://www4.comp.polyu.edu.hk/~biometrics/Hyperspectral\\_Palmprint/HSP.htm](http://www4.comp.polyu.edu.hk/~biometrics/Hyperspectral_Palmprint/HSP.htm). K. Elissa, “Title of paper if known,” unpublished.

11. Zhang D, Guo Z, Gong Y. Feature Band Selection for Online Multispectral Palmprint Recognition. *In Multispectral Biometrics 2016 (pp. 153-162). Springer, Cham.*
12. Khandizod, Anita & Deshmukh, Ratnadeep. (2018). *Hyperspectral Palmprint Recognition System using Phase Congruency and KNN Classifier.*
13. Zhang D, Guo Z, Lu G, Zhang L, Zuo W. An online system of multispectral palmprint verification. *IEEE transactions on instrumentation and measurement.* 2009 Oct 16;59(2):480-90.
14. Zhao S, Nie W, Zhang B. Multi-feature fusion using collaborative residual for hyperspectral palmprint recognition. *In 2018 IEEE 4th International Conference on Computer and Communications (ICCC) 2018 Dec 7 (pp. 1402-1406). IEEE.*
15. Nie W, Zhang B, Zhao S. Discriminative local feature for hyperspectral hand biometrics by adjusting image acutance. *Applied Sciences.* 2019 Jan;9(19):4178.
16. Akila P, Gayathri R, Meenatchi R, Ramya M, Dharini D, 2016, Analysis of Multibiometric Palmprint Recognition System for Authentication, *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH & TECHNOLOGY (IJERT) NCICCT – 2016 (Volume 4 – Issue 19).*
17. Kadhm MS, Ayad H, Mohammed MJ. PALMPRINT RECOGNITION SYSTEM BASED ON PROPOSED FEATURES EXTRACTION AND (C5. 0) DECISION TREE, K-NEAREST NEIGHBOUR (KNN) CLASSIFICATION APPROACHES. *J. Eng. Sci. Technol.* 2021 Feb;16(1):816-31.
18. <http://biometrics.idealtest.org/dbDetailForUser.do?id=5> CASIA Palmprint Database. Available from: [Accessed: 29 May 2020]
19. <https://www.coep.org.in/resources/coeppalmprintdatabase>
20. Shao H, Zhong D, Du X. Efficient deep palmprint recognition via distilled hashing coding. *In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops 2019 (pp. 0-0).*
21. Bala S. Comparative analysis of palm print recognition system with Repeated Line Tracking method. *Procedia Computer Science.* 2016 Jan 1;92:578-82.
22. Khan Z, Shafait F, Hu Y, Mian A. Multispectral palmprint encoding and recognition. *arXiv preprint arXiv:1402.2941.* 2014 Feb 6.
23. Li H, Zhang Z. Research on palmprint identification method based on quantum algorithms. *The Scientific World Journal.* 2014 Jan 1;2014.

24. Sun J, Abdulla W, Wang W, Wang Q, Zhang H. Band Selection for Palmprint Recognition. *Journal of Advances in Information Technology Vol. 2016 Nov*;7(4).
25. Guo J, Liu Y, Yuan W. Palmprint recognition based on phase congruency and two-dimensional principal component analysis. In 2011 *4th International Congress on Image and Signal Processing 2011 Oct 15 (Vol. 3, pp. 1527-1530)*. IEEE.
26. Lin S, Bai Y, Tang Y. Design of online non-contact palmprint recognition simulation system. In 2016 *9th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI) 2016 Oct 15 (pp. 686-690)*. IEEE.
27. Khandizod AG, Deshmukh RR. Comparative analysis of image enhancement technique for hyperspectral palmprint images. *International Journal of Computer Applications. 2015 Jul*;121(23):30-5.
28. Kumar A, Shekhar S. Palmprint recognition using rank level fusion. In 2010 *IEEE International Conference on Image Processing 2010 Sep 26 (pp. 3121-3124)*. IEEE.
29. Xu X, Guo Z, Song C, Li Y. Multispectral palmprint recognition using a quaternion matrix. *Sensors. 2012 Apr*;12(4):4633-47.
30. Zhong D, Yang Y, Du X. Palmprint recognition using siamese network. In *Chinese conference on biometric recognition 2018 Aug 11 (pp. 48-55)*. Springer, Cham.
31. Midhuna Naveen, Neethumol K J, Pritty Mary Mathew, Sherin Joseph, Sujitha M, 2021, Machine Learning Algorithms based Palmprint Biometric Identification, *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH & TECHNOLOGY (IJERT) ICCIDT – 2021 (Volume 09 – Issue 07)*,
32. Dong X, Mei L, Zhang J. Palmprint recognition based on deep convolutional neural networks. In 2018 *2nd International Conference on Computer Science and Intelligent Communication (CSIC 2018) 2018 (pp. 82-88)*.
33. Meraoumia A, Bendjenna H, Chitroub S. Towards a robust palmprint representation for person identification. *International Journal of Information and Communication Technology. 2019*;14(1):89-109.
34. Khandizod AG, Deshmukh RR. Analysis and Feature Extraction using Wavelet based Image Fusion for Multispectral Palmprint Recognition. *International J Enhanced Research in Management & Computer Applications, ISSN. 2014*:2319-7471.

35. Poonia P, Ajmera PK, Shende V. Palmprint recognition using robust template matching. *Procedia Computer Science*. 2020 Jan 1167:727-36.
36. Paoletti ME, Haut JM, Plaza J, Plaza A. Deep learning classifiers for hyperspectral imaging: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2019 Dec 1158:279-317.
37. Schneider, Armin, and Hubertus Feussner. Biomedical engineering in gastrointestinal surgery. Academic Press, 2017.
38. Garg PK. Effect of contamination and adjacency factors on snow using spectroradiometer and hyperspectral images. *In Hyperspectral Remote Sensing 2020 Jan 1 (pp. 167-196)*. Elsevier.
39. Khandizod AG, Deshmukh RR. Hyperspectral palmprint recognition: a review. *In International Conference on Recent Trends and Challenges in Science and Technology (RTCST 2014)*. Organized by Pravara Rural Education Society, Padmashri Vikhe Patil College of Arts, Science, and Commerce, Pravaranagar 2014 Aug (pp. 20-23).
40. Thamri E, Aloui K, Naceur MS. Selection of hyperspectral bands by adopting a dimension reduction strategy for recognition of multispectral palmprint. *In 2017 International Conference on Advanced Systems and Electric Technologies (IC\_ASET) 2017 Jan 14 (pp. 91-96)*. IEEE.
41. Jia S, Jiang S, Lin Z, Li N, Xu M, Yu S. A survey: Deep learning for hyperspectral image classification with few labeled samples. *Neurocomputing*. 2021 Aug 11448:179-204.
42. Reddy PL, Pawar S. Multispectral image denoising methods: A literature review. *Materials Today: Proceedings*. 2020 Jan 1;33:4666-70. Lewis JA. *Forensic document examination: fundamentals and current trends*. Elsevier; 2014 Jan 31.
43. [https://en.wikipedia.org/wiki/Multispectral\\_image](https://en.wikipedia.org/wiki/Multispectral_image)
44. Mrs.Maheswari.M1, Ancy.S2, Dr. G. R. Suresh “SURVEY ON MULTISPECTRAL BIOMETRIC IMAGES” *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering Vol. 1, Issue 4, June 2013 ISSN (Print): 2320 – 9798 ISSN (Online): 2320 – 9801*.

**Snehal S. Datwase**, M. Phil Research Fellow, Department of Computer Science and Information Technology, Dr. B. A. M. U. Aurangabad [snehaldatwase@gmail.com](mailto:snehaldatwase@gmail.com).

**Dr. R. R. Deshmukh**, Professor and Former Head of Department of Computer Science and IT, Dr. Babasaheb Ambedkar Marathwada University, Aurangabad (MS)

431001 India. His research interests are Human computer Interaction, Digital Speech Signal processing, Data Mining, Image Processing, Pattern Recognition, artificial Intelligence, Computational Auditory Scene Analysis (CASA), Neural Networks, GIS and Remote Sensing, Sentiment Analysis etc. He is Fellow member and Chairman of IETE Aurangabad Centre, The Institutions of Electronic and Telecommunication Engineers (FIETE). Senior Member of Association of Computer Electronics and Electrical Engineers (ACEEE). Life member of CSI (Computer Society of India), The Indian Society for Technical Education (ISTE), Indian Science Congress Association (ISCA), Institute of Doctors Engineers and Scientists (IDES). Member of International Association of Engineers (IAEng), computer science Teachers Association. (CSTA), IEEE. DST-FIST Program Coordinator, Coordinator of Global Initiative on Academic Networks (GIAN) Coordinator of Maharashtra. State Marathi World Dictionary Development Committee, Govt. of Maharashtra in the subject of Information Technology and Computer Science. Edited ten books and published more than 165 research paper [rrdeshmukh.csit@bamu.ac.in](mailto:rrdeshmukh.csit@bamu.ac.in).

**Rohit S. Gupta**, Ph.D Research Fellow, Department of Computer Science and Information Technology, Dr. B. A. M. U. Aurangabad, [rohitgupta8844@gmail.com](mailto:rohitgupta8844@gmail.com).

Зарайченков Станислав Максимович, Зарайченков Марк Максимович  
**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ**

*Доклад посвящен развитию такой перспективной технологии, как VR. Статья содержит информацию о структуре Виртуальной реальности, принципе работы, ее преимуществах и некоторых технологических проблемах.*

*Виртуальная реальность , VR технологии, Шлем.*

Zaraichenkov Stanislav Maksimovich, Zaraichenkov Mark Maksimovich  
**PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF VIRTUAL REALITY**

*The article is devoted to the development of such a promising technology as VR. The article contains information about the structure of Virtual Reality, the principle of operation, its advantages and some technological problems.*

*Virtual reality, VR technologies, Helmet.*

Впервые термин "виртуальный" встречается в средневековых философских текстах. Тогда это слово обозначало потенциально возможное существование, недоступное глазу. Например, дерево всегда существует практически в семени - не в будущем, а в самом настоящем времени. Прадедом современного шлема виртуальной реальности можно считать изобретение английского физика Чарльза Уинстона. В 1837 году он создал стереоскопические очки, в которых два изображения помещались под разными углами. Мозг объединил изображение и сделал его трехмерным. Технические ученые называют 1929 год отправной точкой в истории создания виртуальной реальности. Затем для обучения пилотов был создан авиасимулятор link trainer. Макет фюзеляжа с сиденьем и приборной панелью крепился на нескольких шарнирах, а перед тренажером размещалась панель с нарисованным небом. Во время тренировки тренажер link воспроизводил поведение самолета в воздухе, создавая у пилота ощущение полета [5]

Ключевым этапом в истории развития виртуальной реальности является сенсор и устройство профессора Мортон Хейлига, которого называют отцом-основателем технологии виртуальной реальности. В 1956 году он создал устройство, которое использовало трехмерный дисплей, подвижное кресло, стереозвук и даже генераторы воздушного потока и запахов для полного погружения в виртуальный мир. Вот что увидел человек с помощью "Сенсорамы" более 60 лет назад:

Хейлиг мечтал создать кино будущего, когда зритель не только смотрит на картину перед собой, но и сам становится частью сцены. Для "Сенсорамы" изобретатель снял несколько короткометражных фильмов, в которых зритель мог почувствовать себя, например, пилотом гоночного автомобиля.

В парках развлечений было установлено несколько устройств, но детище Мортон Хейлига в то время не получило широкого распространения. Инвесторы не оценили инновационный подход к развлечениям и отказались финансировать профессора, поэтому проект был заморожен.

В 1960 году Хейлиг запатентовал прототип первого полноценного VR-шлема с углами обзора под 140 градусов, однако из-за отсутствия инвестиций проект так и остался в виде чертежей.

Принципы виртуальной реальности основаны на взаимодействии трех компонентов с виртуальным пространством: [2]

1. Система в шлеме отслеживает положение головы пользователя и поворачивает изображение в нужном направлении.

2. Если шлем дополнен специальными джойстиком, пользователь может перемещаться в виртуальном мире, поднимая и перемещая предметы.

3. Датчики в шлеме определяют направление обзора, делая процесс пребывания в виртуальном мире более естественным.

Шлем виртуальной реальности имеет линзы, разделенные перегородкой. Им даются две картинки с разных ракурсов, которые наш мозг объединяет в одну. Современные модели позволяют передавать изображение с разрешением 1080 на 1200 пикселей. А стереозвук обеспечивается встроенными наушниками.

Существует два основных типа шлемов виртуальной реальности:

1. Полноценные гарнитуры. Такие шлемы оснащены собственным программным обеспечением и подключены к компьютеру или игровой консоли.

2. Мобильные гарнитуры. Они оснащены разъемом для смартфона, на котором установлено специальное приложение. С его помощью в очках можно запускать игры и смотреть фильмы.[\[1\]](#)

Есть много сильных сторон у виртуальной реальности. Среди них широкая сфера применения. Погружение в виртуальную реальность применяется не только для развлечения. К примеру, в медицине при использовании VR-очков пациентом удается уменьшить до 50% болевых ощущений. Это несомненная польза и плюс для пациентов, ведь в будущем можно уменьшить количество обезболивающих наркотических препаратов.

Несомненный плюс — возможность применения VR-технологии в образовании. Так, компания Гугл активно внедряет устройства виртуальной реальности в научных учреждениях. Благодаря этому, ученики могут погрузиться в новые миры и тем самым лучше усвоить новый материал. Плюс в том, что подобный способ обучения способен заинтересовать даже наиболее невнимательных студентов.

Один из плюсов погружения в виртуальную реальность во время игры — необходимость быстро реагировать на непривычные ситуации. Человек вынужден принимать быстрые решения, а иногда и нестандартно мыслить. Подобная практика может оказать позитивное влияние на человека в реальной жизни. К примеру, в опасной ситуации он сможет быстрее ориен-



**Зарайченков Марк Максимович**, Политехнический институт (филиал ДГТУ,) г. Таганрог, Россия.

**Zaraichenkov Stanislav Maksimovich**, Polytechnic Institute (branch of DSTU), Taganrog, Russia.

**Zaraichenkov Mark Maksimovich**, Polytechnic Institute (branch of DSTU), Taganrog, Russia.

УДК 517.958:57

Куприянова Яна Анатольевна, Жихарева Галина Владимировна,  
Андреев Игорь Владимирович, Изюмцев Даниил Олегович,  
Луценко Данила Олегович

### **ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРДЦА**

*Целью работы является разработка программы моделирования электрической активности сердца, позволяющей наблюдать динамику возбуждения миокарда и рассчитывать электрическое поле сердца в различных точках пространства вне источника, включая формирование сигналов 12 общепринятых отведений. Программа будет полезна при подготовке специалистов по медицинской электронике в рамках освоения дисциплин «Технические методы диагностических исследований и лечебных воздействий» (раздел «Электрокардиография») и «Математическое моделирование биологических процессов и систем» (раздел «Автоволны в активных средах»), а также при проведении научно-исследовательских работ по разработке алгоритмов решения обратной задачи электрокардиографии.*

*Автоволновой процесс, клеточный автомат, ЭКГ-сигнал, нарушение проведения возбуждения.*

Kupriyanova Yana Anatolyevna, Zhikhareva Galina Vladimirovna,  
Andreev Igor Vladimirovich, Izyumtsev Daniil Olegovich,  
Lutsenko Danila Olegovich

### **HEART ELECTRICAL ACTIVITY SIMULATION PROGRAM**

*The aim of the work is to develop models for detecting heart activity, which makes it possible to observe the dynamics of cardiac excitation and the detection of the*

*electric field of the heart at various points outside the source, including the formation of 12 generally accepted tapped signals. The program will be useful in training specialists in medical electronics within the framework of mastering the disciplines "Technical methods of diagnostic studies and therapeutic effects" (section "Electrocardiography") and "Mathematical modeling of biological processes and systems" (section "Autowaves in active media"), as well as in numerous research works on algorithms for solving the problem of developing electrocardiography.*

*Autowave process, cellular automaton, ECG signal, disturbance of excitation.*

## **Введение**

Электрокардиография является самым распространенным и доступным техническим методом исследования работы сердечно-сосудистой системы. Поэтому будущим специалистам по медицинской электронике важно знать основы электрической деятельности сердца и электрокардиографии. Представленная в настоящей работе программа призвана продемонстрировать связь особенностей электрического поля сердца, измеряемого на поверхности грудной клетки, с физиологическим состоянием сердечной мышцы и клеток проводящей системы [1].

## **Основная часть**

На рис. 1 представлена структурная схема программы. Ее можно разделить на две части: моделирование динамики возбуждения миокарда [2] и работы проводящей системы сердца [3] с помощью клеточных автоматов (КА), и расчет на ее основе потенциалов на поверхности грудной клетки, в том числе в точках наложения электродов 12 общепринятых отведений. Реализована программа в математическом пакете MatLab [4].

При моделировании сердце представляется сферической поверхностью (рабочий миокард) с внутренней перегородкой (здесь расположены элементы проводящей системы сердца). На рис. 2 представлена геометрия модели с разделением на области КА с различными свойствами, отражающими особенности проводящей системы сердца, элементы которой также представлены на рисунке. Математический аппарат клеточных автоматов позволяет задавать патологические области типа некроза или блокады (непроводящие КА) и ишемизированные области (КА с замедленным проведением возбуждения) [5].



Рис. 1. Структурная схема программы

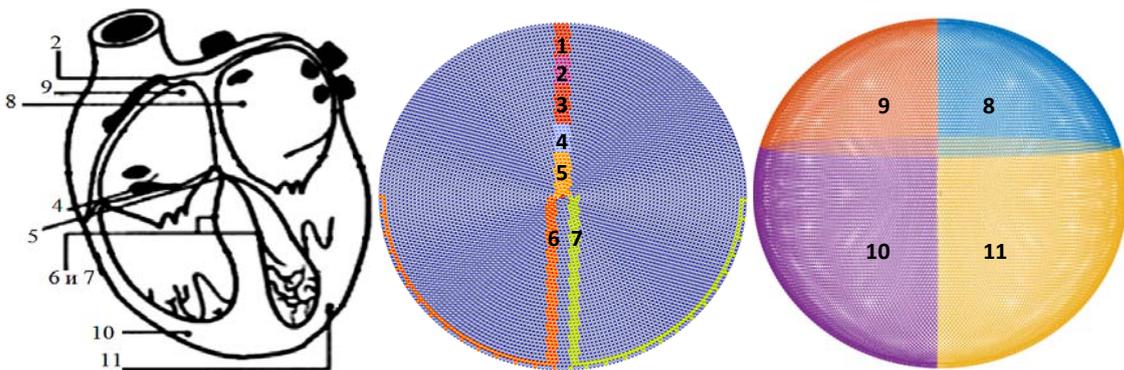


Рис. 2. Модель миокарда и проводящей системы сердца: 1, 3 – внутренний миокард вокруг СА-узла; 2 – СА-узел; 4 – клетки АВ-узла; 5 – пучок Гиса; 6, 7 – правая и левая ножки пучка Гиса; 8, 9 – левое и правое предсердия; 10, 11 – правый и левый желудочки

Расчет электрического поля сердца возможен в трех вариантах: в однородной среде [6], с учетом границы «тело-воздух» [7] и с учетом электродинамических свойств различных тканей грудной клетки [8].

Результаты моделирования динамики возбуждения миокарда в фиксированный момент времени на R-зубце, а также ЭКГ во II стандартном отведении представлены на рис. 3. Желтым цветом отражены КА в стадии деполяризации, голубым – плато, синим – реполяризации. Перемещением «бегунка» под ЭКГ можно посмотреть состояния КА в любой момент времени.

В программе предусмотрена возможность изменять ракурсы обзора модели сердца, а также визуализировать аналогичным образом все рассчитываемые распределения и сохранять в файлы для последующего применения при разработке алгоритмов диагностики сердца по ЭКГ-сигналам.

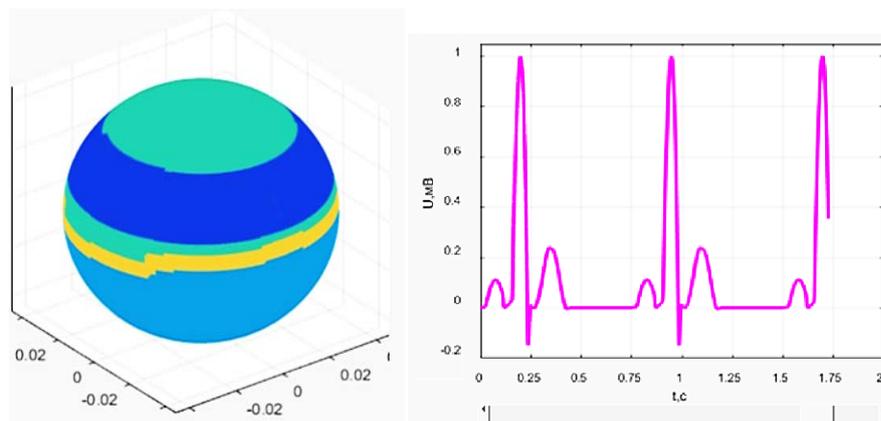


Рис. 3. Состояния КА и ЭКГ-сигнал во II стандартном отведении

## Выводы

Разработанная программа полезна в учебном процессе, поскольку она позволяет изучать влияние геометрических и физиологических параметров сердца и грудной клетки на характеристики ЭКГ-сигналов. Кроме того, она позволяет получать данные для апробации алгоритмов ранней диагностики заболеваний миокарда по сигналам многоэлектродных ЭКГ-отведений [9, 10].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мурашко В.В., Струтынский А.В. Электрокардиография. – М.: «МЕД-пресс», 1998. – 313 с.
2. Жихарева Г.В., Куприянова Я.А., Батенин В.В., Изюмцев Д.О. Математическое моделирование электрической активности миокарда // Агаджаня-

- новские чтения: матер. III Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Москва: РУДН, 2020. С. 87-89.
3. *Андреев И.В., Жихарева Г.В.* Моделирование проводящей системы сердца с помощью клеточных автоматов. // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тезисы докл. XXVIII Междунар. научно-техн. конф. студ. и асп. М.: МЭИ, 2022. С. 119.
  4. Документация. MATLAB. The MathWorks. 1994-2021. URL: <https://docs.exponenta.ru/matlab/> (дата обращения: 1.06.2022).
  5. Афшар Э., Жихарева Г.В., Куприянова Я.А. Моделирование испытательных электрокардиографических сигналов при наличии ишемии миокарда. // Вестник МЭИ. 2015. № 4. – С. 86-91.
  6. *Изыумцев Д.О., Жихарева Г.В.* Разработка программы моделирования электрической активности миокарда. // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тезисы докл. XXVII Междунар. научно-техн. конф. студ. и асп. М.: МЭИ, 2021. С. 168.
  7. *Куприянова Ю.А., Жихарева Г.В., Маралкина Е.П., Стрелков Н.О.* Моделирование карт наружных потенциалов для исследования алгоритмов решения обратных задач электрокардиографии. // Вестник МЭИ. 2018. № 3. С. 132-140.
  8. *Куприянова Я.А., Жихарева Г.В., Стрелков Н.О., Глушенков П.В.* Моделирование электрической активности сердца с учетом неоднородного строения грудной клетки // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии. Труды XIII Междунар. научн. конф. 2018. С. 218-222.
  9. *Жихарева Г., Крамм М.* Реконструкция токовых источников сердца в обратной задаче ЭКГ. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012.
  10. *Zhikhareva G.V., Kramm M.N., Bodin O.N. et al.* Conversion from electrocardiosignals to equivalent electrical sources on heart surface. BMC Bioinformatics 21, 87 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12859-020-3354-8>.

**Куприянова Яна Анатольевна**, старший преподаватель кафедры Основ радиотехники ФГБОУВО «Национального исследовательского университета «МЭИ», Россия, город Москва, улица Красноказарменная, 14, 111250, телефон: +7 (495) 362-70-14, email: [KuprianovaYanA@mpei.ru](mailto:KuprianovaYanA@mpei.ru).

**Жихарева Галина Владимировна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Основ радиотехники ФГБОУВО «Национального исследовательского

университета «МЭИ», Россия, город Москва, улица Красноказарменная, 14, 111250, телефон: +7 (495) 362-70-14, email: [ZhikharevaGV@mpei.ru](mailto:ZhikharevaGV@mpei.ru).

**Андреев Игорь Владимирович**, аспирант кафедры Основ радиотехники ФГБОУВО «Национального исследовательского университета «МЭИ», Россия, город Москва, улица Красноказарменная, 14, 111250, телефон: +7 (495) 362-70-14, email: [AndreevIgV@mpei.ru](mailto:AndreevIgV@mpei.ru).

**Изыумцев Даниил Олегович**, студент кафедры Основ радиотехники ФГБОУВО «Национального исследовательского университета «МЭИ», Россия, город Москва, улица Красноказарменная, 14, 111250, телефон: +7 (495) 362-70-14, email: [IziومتsevDO@mpei.ru](mailto:IziومتsevDO@mpei.ru).

**Луценко Данила Олегович**, студент кафедры Основ радиотехники ФГБОУВО «Национального исследовательского университета «МЭИ», Россия, город Москва, улица Красноказарменная, 14, 111250, телефон: +7 (495) 362-70-14, email: [LutsenkoDO@mpei.ru](mailto:LutsenkoDO@mpei.ru).

**Kupriyanova Yana Anatolyevna**, senior lecturer of the Department of Basics of Radio Engineering FSBGEI «National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Krasnokazarmennaya Street,14,11250, phone: +7 (495) 362-70-14, email: [KupriyanovaYanA@mpei.ru](mailto:KupriyanovaYanA@mpei.ru).

**Zhikhareva Galina Vladimirovna**, Ph.D. (Techn.), associate professor, associate professor of the Department of Basics of Radio Engineering FSBGEI «National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Krasnokazarmennaya Street,14,11250, phone: +7 (495) 362-70-14, email: [ZhikharevaGV@mpei.ru](mailto:ZhikharevaGV@mpei.ru).

**Andreev Igor Vladimirovich**, graduate student of the Department of Basics of Radio Engineering FSBGEI «National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Krasnokazarmennaya Street,14,11250, phone: +7 (495) 362-70-14, email: [AndreevIgV@mpei.ru](mailto:AndreevIgV@mpei.ru).

**Izyumtsev Daniil Olegovich**, student of the Department of Basics of Radio Engineering FSBGEI «National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Krasnokazarmennaya Street,14,11250, phone: +7 (495) 362-70-14, email: [IziومتsevDO@mpei.ru](mailto:IziومتsevDO@mpei.ru).

**Lutsenko Danila Olegovich**, student of the Department of Basics of Radio Engineering FSBGEI «National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Krasnokazarmennaya Street,14,11250, phone: +7 (495) 362-70-14, email: [LutsenkoDO@mpei.ru](mailto:LutsenkoDO@mpei.ru).

УДК 621.548:621.31:004.94

Гисцов Владислав Геннадьевич, Волощенко Юрий Петрович

**МОДЕЛИРОВАНИЕ МРРТ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ФОТОГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ  
ПАНЕЛИ**

*В работе исследуется модель преобразователя электрической энергии с МРРТ контроллером фотогоальванической батареи, позволяющим получать максимально возможную мощность на выходе фотомодулей при изменении нагрузочной характеристики солнечных батарей. Приведена общая схема принципа работы устройства МРРТ, описан алгоритм работы контроллера и реализована модель преобразователя электрической энергии фотогоальванической панели в Simulink.*

*МРРТ, отслеживания точки максимальной мощности, солнечная батарея, фотогоальваническая панель, преобразователь электрической энергии, контроллер заряда, солнечная энергетика.*

Gistcov Vladislav Gennadevich, Voloshchenko Yuri Petrovich

**MODELING THE MPPT ELECTRIC ENERGY CONVERTER OF  
PHOTOVOLTAIC PANEL**

*The paper presents a model of an electric energy converter with an MPPT controller of a photovoltaic battery, which allows obtaining the maximum possible output power of photomodels when the load characteristics of solar cells change. The general scheme of the MPPT device operation principle is given, the controller operation algorithm is described and the model of the photovoltaic panel electric energy converter in Simulink is implemented.*

*MPPT, maximum power point tracking, solar battery, photovoltaic panel, electric energy converter, charge controller, solar energy.*

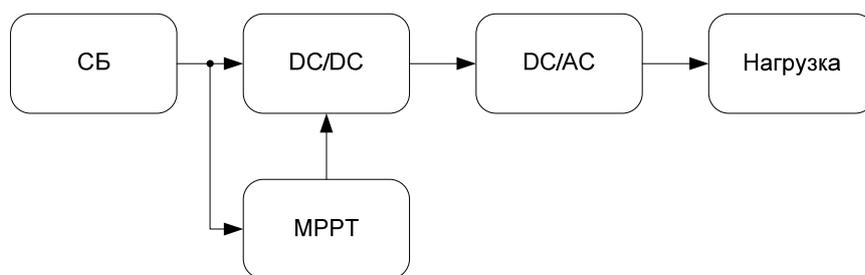
**Введение**

В настоящее время возможности для использования возобновляемых источников энергии для электроснабжения частных домов существенно расширились. При этом одной из основных задач является повышение эффективности ветровых и солнечных электроэнергетических установок, со-

знание возможностей для большей автономности и независимости систем электроснабжения с альтернативными источниками энергии от погодных условий и общей сети. Для этого, в частности, применяется гибридная установка, позволяющая комплексно использовать энергию ветра и солнца. Для преобразования энергии солнечного излучения в электрическую энергию используются фотогальванические панели или солнечные батареи. Особенностью установок на солнечных батареях является зависимость нагрузочных характеристик от внешних условий, таких как освещение и температура. Для повышения эффективности фотогальванических панелей применяются специальные алгоритмы, зашитые в контроллере, который управляет преобразователем мощности [1-5].

### Основная часть

Современные типы контроллера MPPT (Maximum Power Point Tracking) заряда батарей в составе источника электрической энергии на солнечных панелях используют различные алгоритмы для поиска наилучшей точки по напряжению для снятия наибольшей мощности с солнечной батареи. Общая схема преобразователя электрической энергии с MPPT контроллером фотогальванической батареи приведена на рис. 1. Здесь СБ – солнечная батарея, DC/DC – преобразователь постоянного тока в постоянный ток, DC/AC – преобразователь постоянного тока в переменный ток, MPPT – MPPT контроллер.



*Рис.1. Структурная схема преобразователя электрической энергии с MPPT контроллером фотогальванической батареи*

Модель солнечной электростанции, приведенную на рис. 2, можно использовать для отработки алгоритмов управления, что позволяет обойтись без сборки на реальных элементах [6-8]. Для моделирования контроллера солнечной батареи были выбраны: 4 фотогальванические панели по 220 Вт на 24-35 В – Aavid Solar ASMS -220p, аккумуляторная батарея 24 В на 200 А·ч, начальный заряд 20%. В модели имеется функция отключения солнечных фотогальванических элементов при перезаряде аккумуляторной

батареи, но основное предназначение модели – реализация алгоритмов MPPT.

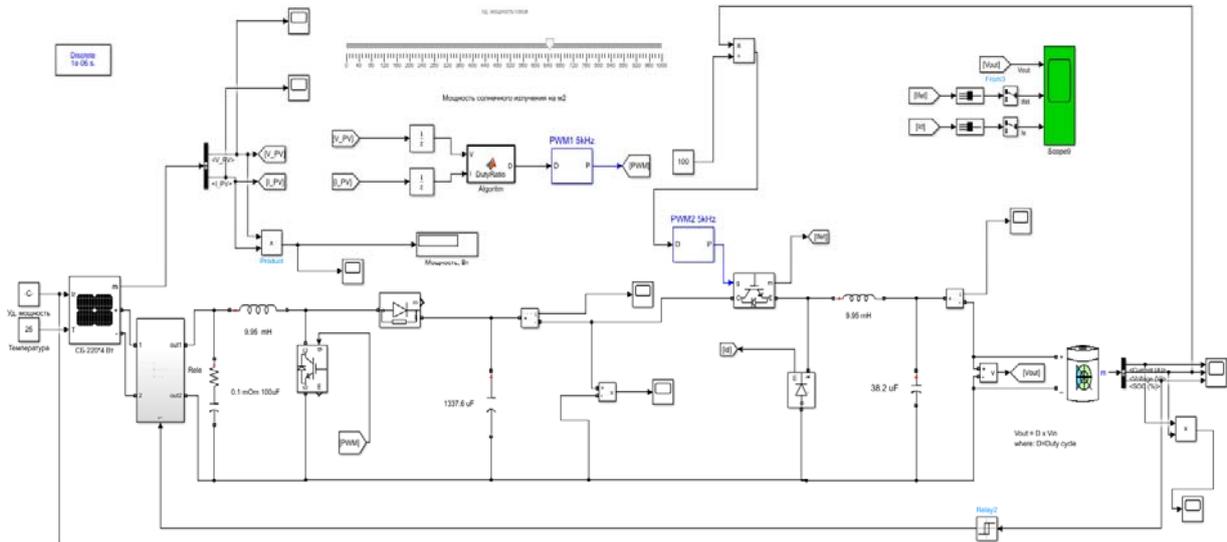


Рис. 2. Модель солнечной электростанции с MPPT контроллером

MPPT контроллер выполняет функции управляемого DC/DC преобразователя и включает два последовательно соединенных преобразователя: повышающего (boost) и понижающего (buck) [9-10]. Управление контроллером осуществляется на основе метода возмущения и наблюдения P&O (perturb and observe). MPPT контроллер считывает все параметры подключенного к нему солнечного модуля и рассчитывает текущее положение точки максимальной мощности. Далее контроллер отклоняется от рассчитанной точки и фиксирует, как меняется выходная мощность фотогальванической панели, и сдвигает положение рабочей точки в сторону наибольшей мощности. Для достижения целей моделирования, ввиду небольшого рассматриваемого временного диапазона, алгоритм работает по изменению извлекаемой мощности из солнечной батареи и не содержит временной паузы для деактивации поиска точки максимальной мощности [11-12].

На рис. 4 приведены осциллограммы мощности, вырабатываемой солнечной батареей при использовании режима MPPT и без него. При солнечном излучении  $1000 \text{ Вт/м}^2$  в режиме MPPT солнечная батарея вырабатывает около 865 Вт, без – 789 Вт. При моделировании в режиме MPPT вначале графика наблюдаются колебания уровня мощности, что является следствием переходных процессов и погрешностей, но не мешает сравнить уровни мощности с использованием режима MPPT и без.

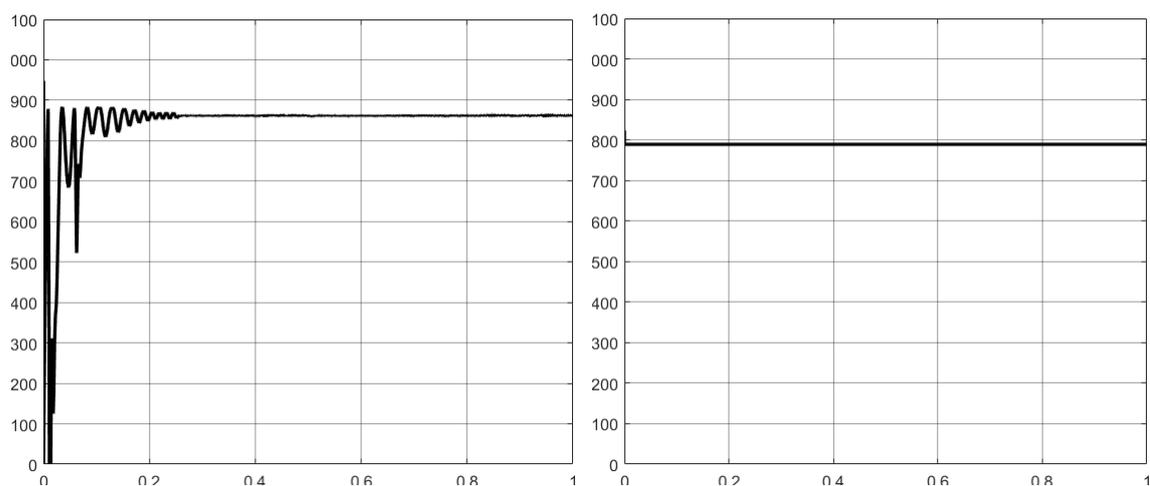


Рис. 4. Осциллограммы вырабатываемой мощности СБ, слева – с МРРТ, справа – без

### Выводы

В работе приведены результаты моделирования МРРТ контроллера с Р&О алгоритмом с использованием программы Simulink, продемонстрирована работоспособность модели и алгоритма при моделировании с использованием реальных параметров солнечной батареи. Модель составлена и использованием наборов функциональных блоков из различных библиотек, которые позволяют реализовывать моделирование как логических, так и силовых частей электротехнического устройства. Также принимаются во внимание переходные процессы и погрешности, обусловленные особенностями применяемых методов расчета в составе программного комплекса.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Международные тенденции в области возобновляемых источников энергии // Deloitte: [сайт]. – 2018. –URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/energy-resources/Russian/global-renewable-energy-trends.pdf>. (дата обращения 15.11.2021)
2. Гусцов В.Г., Батагов К.А., Волощенко Ю.П. Моделирование горизонтально-осевой ветроэнергетической установки малой мощности в программном пакете Matlab//Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2020»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: в 2 т. – Ростов-на-Дону; Таганрог: ЮФУ, 2020. – Том 2. С. 56 – 62. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44307361>
3. Гусцов В.Г., Батагов К.А., Волощенко Ю.П. Исследование характеристик модели автономной электрической системы с маломощной ветроэнергети-

- ческой установкой// Всероссийская научная конференция «Теоретические и методические проблемы эффективного функционирования радиотехнических систем» («Системотехника-2020»). Проблемы современной системотехники: сборник научных статей. – Таганрог: Изд-ль ИП Ступин С.А, 2020. -вып.XIV. С.63-69 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44404561>
4. *Гисцов В.Г., Волощенко Ю.П.* Расчёт и выбор электрооборудования ветроэнергетической установки малой мощности для электроснабжения жилого загородного дома// Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2021»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: в 2 т.– Ростов-на-Дону; Таганрог: ЮФУ, 2021. с. 49-56. <https://elibrary.ru/item.asp?id=47362521>
  5. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Моделирование нелинейных электрических процессов в элементах электронной волновой цепи: учебное пособие.– Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2018. – 116 с. <https://elibrary.ru/item.asp?id=36762792>
  6. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Основы теории одномерной нелинейной электрической и электронной волновой цепи: учебное пособие.– Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2015. – 100 с. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25268847>
  7. *Бурьков Д.В., Волощенко Ю.П.* Математическое и имитационное моделирование электротехнических и робототехнических систем: учебное пособие. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2020. – 159 с. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44465229>
  8. *Харитонов В.П.* Автономные ветроэлектрические установки. -М.:ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 208 с.
  9. *Черных И.В.* Моделирование электротехнических устройств в Matlab. SimPowerSystems и Simulink. – Саратов: Профобразование, 2017. – 288 с.
  10. *Muhammad H. Rashid,* Power Electronics: Circuits, Devices & Applications, Pearson, 2013.
  11. *Muralidhar Killi, Susovon Samanta,* «Modified Perturb and Observe MPPT Algorithm for Drift Avoidance in Photovoltaic Systems» IEEE Transactions on Industrial Electronics , т. 62, № 9, pp. 5549-5559, 2015.
  12. *Acharya Parash, Papadakis Antonis, Shaikh Muhammad Naveed.* Modelling and Design of a 3 kW Permanent Magnet Synchronous Generator suitable for Variable Speed Small Wind Turbines// MATEC Web of Conferences 55, 04001 (2016), ACPEE 2016. DOI: 10.1051/mateconf/20165504001.

**Волощенко Юрий Петрович**, канд. техн. наук; доцент кафедры электротехники и мехатроники Южного федерального университета, город Таганрог, переулок Некрасовский 44; 347928, телефон: +78634371694; e-mail: voloschenkoyp@sfedu.ru.

**Гисцов Владислав Геннадьевич**, студент гр. РТмо1-31, кафедра электротехники и мехатроники, Южный федеральный университет, 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371694; e-mail: giscov@sfedu.ru.

**Voloshchenko Yuri Petrovich**, Ph.D. in Technology, Associate Professor Department of Electrical Engineering and Mechatronics, Southern Federal University, 44, Nekrasovskiy street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371694; e-mail: voloschenkoyp@sfedu.ru.

**Gistcov Vladislav Gennadevich**, student gr. RTmo1-31, Department of Electrical Engineering and Mechatronics, Southern Federal University, 44, Nekrasovskiy street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371694; e-mail: giscov@sfedu.ru.

УДК 681.11.031.1:621.31

Воротынцев Владислав Сергеевич, Волощенко Юрий Петрович

## **СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ВЫБОР НАКОПИТЕЛЯ ДЛЯ ЖИЛОГО ДОМА**

*В работе рассматриваются различные реализованные проекты систем накопления энергии для энергосистем, их особенности, принцип работы, классификация, области применения и климатическое исполнение. Приведены сведения об эффективности систем накопления электроэнергии. На основе обзора осуществлен выбор и расчет накопителя для системы автономного энергообеспечения жилого дома, оснащенного солнечными батареями.*

*Системы накопления электроэнергии, возобновляемые источники электроэнергии, электрохимические накопители, электрические накопители, механические накопители, солнечная батарея, автономная система энергоснабжения жилого дома.*

Vorotyncev Vladislav Sergeevich, Voloshchenko Yuri Petrovich

## **POWER STORAGE SYSTEMS AND THE CHOICE OF A STORAGE DEVICE FOR A RESIDENTIAL BUILDING**

*The paper discusses various implemented projects of energy storage systems for power systems, their features, operating principle, classification, application areas and climatic design. Information on the efficiency of energy storage systems is provided. Based on the review, the selection and calculation of a storage device for an autonomous power supply system of a residential building equipped with solar panels was carried out.*

*Energy storage systems, renewable energy sources, electrochemical energy storage systems, electrical energy storage systems, mechanical storage, solar battery, autonomous power supply system of a residential building.*

### **Введение**

В связи с постепенным исчерпанием запасов ископаемого топлива все более актуальной становится задача более широкого внедрения, отработки технологий применения и использования источников электроэнергии, получающих энергию от возобновляемых ресурсов, которые естественным образом пополняются в человеческом масштабе времени. По данным международного энергетического агентства, доля энергии, генерируемой солнечными и ветровыми установками в суммарной электрогенерации стран Европейского союза в 2020 году возросла до 20 процентов, что объясняется существенным прогрессом технологий возобновляемой энергетики. Существенным недостатком наиболее распространенных систем генерации, использующих возобновляемые источники энергии – солнечные и ветровые, является зависимость их генерации от погодных условий. Поэтому системы накопления электроэнергии – важная составляющая любой автономной электростанции на возобновляемых источниках энергии [1-5].

### **Основная часть**

Целью работы является обзор основных типов накопителей электроэнергии, существующих и разрабатываемых в данный момент. Актуальность работы подтверждается возрастанием популярности возобновляемой энергетики в крупных системах автономного энергоснабжения населения и в небольших энергосистемах частных домов. Связано это с тем, что возоб-

новляемая энергетика является экологически чистой и не зависит от традиционных энергоресурсов. Использование накопителей электроэнергии для компенсации нелинейности выработки электричества на возобновляемых источниках представляют огромный интерес с точки зрения внедрения различных инноваций для повышения эффективности энергосистем.

В данной работе осуществлен обзор основных видов накопителей электроэнергии, рассмотрен конструктив накопителей электроэнергии, оценена эффективность использования накопителей, проведен расчёт и выбор накопителя автономной электростанции для частного дома.

Накопители электроэнергии делятся на три группы: электрохимические накопители, электрические накопители и механические накопители. Основное различие заключается в способе хранения электрической энергии [6-7].

Электрохимический накопитель - вторичный химический источник тока многоразового действия. Предназначен для циклического накопления энергии и автономного электропитания электрических установок.

Электрохимические накопители разделяются на два класса: тяговые и стартовые. Тяговые накопители позволяют выдавать равномерный ток на протяжении длительного времени, при этом ток разряда примерно равен току заряда батареи. Стартовые аккумуляторы позволяют выдавать большой ток в течение короткого времени. Конструктивно аккумуляторные батареи различаются по конструкции блока электродов. Блок электродов изготавливается в двух вариантах: рулонный блок электродов или набор отдельных электродов. Рулонная конструкция электродов используется в аккумуляторах небольшой ёмкости и в компактных батареях. Рулонные электроды закручиваются вокруг воображаемого цилиндра или пластины. Призматические аккумуляторы выполняются в виде блока отдельных электродов в пластиковом или металлическом корпусе с возможностью добавления электролита внутрь аккумулятора.

Электрические накопители хранят электрическую энергию в первоначальном виде. Разделяются накопители на два вида: суперконденсаторы и индуктивные накопители со сверхпроводящим проводником. Суперконденсатор - пассивный электрический элемент, используемый для статического накопления электроэнергии. Суперконденсатор, состоит из двух электродов, между которым находится диэлектрик. В отличие от конденсаторов, в данном электрическом устройстве используются электроды с разной проводимостью, образуя дополнительный диэлектрик [8]. Сверхпро-

водящий индуктивный накопитель (СПИН)- электрический аппарат, запа- сающий электроэнергию в виде постоянного магнитного поля, создаваемо- го постоянным током. Конструктивно СПИН представляет собой катушку индуктивности из сверхпроводящего материала, систему охлаждения и преобразователь.

Механические накопители электроэнергии- электрические устройства, позволяющие сохранять электроэнергию в виде механической энергии. Эффективные механические накопители разделяются на гравитационные и механические. Гравитационный накопитель хранит электроэнергию в виде потенциальной энергии. Маховичный накопитель- энергетическая уста- новка, накапливающая электроэнергию с помощью кинетической энергии вращающегося тела. Перспективным маховичным накопителем является супермаховик, в котором вместо массивного металлического диска ис- пользуются высокопрочные металлические ленты либо канаты [9].

Оценим эффективность накопителей электроэнергии. Каждый вид накопителя электроэнергии имеет свои преимущества и недостатки. При- ведённая ниже таблица содержит возможные сценарии использования каждого вида накопителя.

Таблица 1

Типичное использование накопителей электроэнергии

Вид	Подвид	Применение	Климатическое ис- полнение	КПД
Электрохи- мический накопитель	Тяговые аккумуляторы	Для питания потребителя в течение длительного срока, например, в ночное время.	УЗ, ХЛЗ, УХЛЗ (-10 <sup>0</sup> до 40 <sup>0</sup> С); Т, ТС (-10 <sup>0</sup> до 45 <sup>0</sup> С).	80%
	Стартовые аккумуляторы	Для компенсации пиковой электрической нагрузки в течение короткого времени (во время запуска мощных электродвигателей).		
Электриче- ский накопи- тель	Суперконденсатор	Для компенсации пиковых нагрузок в электрических сетях	УЗ, ХЛЗ, УХЛЗ (-10 <sup>0</sup> до 40 <sup>0</sup> С); Т, ТС (-10 <sup>0</sup> до 45 <sup>0</sup> С).	90-96%
	СПИН	Для компенсации пиковых нагрузок и длительного хранения электроэнергии (при длительном хранении КПД снижается)	ХЛ1, УХЛ1 (-60 <sup>0</sup> до 40 <sup>0</sup> С)	96-99%
Механиче- ский накопи- тель	Гравитационный накопитель	Для питания мощного потребителя в течение длительного времени (лучше всего для крупных городов)	О (-65 <sup>0</sup> до 45 <sup>0</sup> )	80%

	Супермаркет	Для питания мощного потребителя в течение длительного времени (лучше всего для крупных городов)	О (-65 <sup>0</sup> до 45 <sup>0</sup> )	80%
--	-------------	---	---	-----

Рассчитаем накопитель электроэнергии для частного дома, чтобы показать, какие затраты ожидают пользователя при решении перевести дом на автономное электропитание от солнечных батарей. Для этого по исходным данным проведем расчёт энергопотребления дома в сутки. Выясним, сколько времени в сутки фотопанели могут вырабатывать электроэнергию. найдем, сколько аккумуляторных батарей и какой ёмкости потребуется для удовлетворения потребности в электроэнергии. Рассчитаем стоимость системы электроснабжения дома на солнечных батареях. Исходные данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

Потребители электроэнергии частного дома

№	Электроприборы	Потребляемая мощность, Вт в час	Длительность работы в сут-ки	Суммарное потребление, Вт/сут.
1	Телевизор	100	5 ч	500
2	Холодильник	150	8 ч	1200
3	Компьютер	400	7 ч	2800
4	Ноутбук	40	6 ч	240
5	Светодиодные лампы	9×11	7 ч	700
6	Модем	15	24 ч	360
7	Кондиционер	800	5 ч	4000
8	Эл. чайник	1000	7 мин	120
9	Микроволновка	600	10 мин	102
10	Стиральная машина	600	1.5 ч	900
Всего				6922 ≈ 7 кВт/сут.

Солнечные панели обладают мощностью 350 Вт в час каждая [10-11]. Чтобы удовлетворить энергопотребление данного частного дома необходимо произвести расчёт количества панелей. Известно, что средняя длинна светового дня составляет 7 часов. Также нужно учитывать пасмурную погоду, во время которой выработка будет идти не на полную мощность.

Принято вводить поправочный коэффициент  $K = 0,7$ . Расчётная формула для количества солнечных панелей

$$N = \frac{P_{\text{Д}}}{P_{\text{П}} * K * t},$$

где  $N$ - количество панелей,  $P_{\text{Д}}$ - потребление дома в сутки (Вт/сут),  $P_{\text{П}}$ - вырабатываемая мощность одной панели (Вт),  $K$ - поправочный погодный коэффициент (0,7),  $t$  - время выработки электроэнергии (час/сут).

Рассчитаем количество панелей [12]

$$N = \frac{7000}{350 * 0,7 * 7} = 4,1.$$

Для комфортного использования выбираем пять солнечных панелей мощностью по 350 Вт каждая. Количество электроэнергии, которое вырабатывают панели за сутки, составит 8575 Вт/сут. Данное количество электроэнергии полностью перекрывает потребности дома и даже позволит подключить больше потребителей в электросеть.

В качестве накопителя электроэнергии выбран свинцово-кислотный аккумулятор. Использование данного типа аккумулятора обусловлено их доступностью в продаже, простотой обслуживания, долговечностью. Аккумуляторы данного типа активно используются в системах накопления частных домов, поэтому на рынке существует большой выбор зарядных устройств и инверторов, предназначенных для работы со свинцово-кислотными аккумуляторами.

Расчёт аккумуляторных батарей для солнечной электростанции. Примем, что во время отсутствия выработки потребляется 3 кВт электроэнергии. Возьмём 3 аккумулятора по 150 А.ч(12 В). Полная ёмкость аккумуляторов составит 5400 Вт. Нужно иметь в виду, что полностью разряжать аккумуляторы не рекомендуется, так как это сильно снижает их ресурс и ёмкость. Рекомендуют использовать 70 % заряда аккумулятора. В данном случае эффективная мощность составит 3780 Вт, что покрывает расходы в отсутствие поступления электроэнергии с батарей.

Стоимость системы для энергоснабжения дома. Солнечные панели TopRay Solar 370М- 5 шт. = 83 500 рублей. Аккумуляторы AGM Delta 12150L 3шт. = 96 000 рублей. Инвертор ИС-12-3000У = 31 400 рублей. Итого 210 900 рублей.

### **Выводы**

Системы накопления электроэнергии- перспективное направление для разработки новых технологий. Правильное использование систем накопления позволит сократить выработку электроэнергии до 50 %, что позволят

экономить ресурсы и сократить мощности электростанций. Снижение ресурсов сказывается положительно не только на глобальном, но и на местном уровне.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Международные тенденции в области возобновляемых источников энергии//Deloitte: [сайт]. – 2018. –URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/energy-resources/Russian/global-renewable-energy-trends.pdf>. (дата обращения 15.11.2021)
2. *Гисцов В.Г., Батагов К.А., Волощенко Ю.П.* Моделирование горизонтально-осевой ветроэнергетической установки малой мощности в программном пакете Matlab//Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2020»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием : в 2 т . – Ростов-на-Дону; Таганрог: ЮФУ, 2020. – Том 2. С. 56 – 62. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44307361>
3. *Гисцов В.Г., Волощенко Ю.П.* Расчёт и выбор электрооборудования ветроэнергетической установки малой мощности для электроснабжения жилого загородного дома// Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2021»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: в 2 т. – Ростов-на-Дону; Таганрог: ЮФУ, 2021. С. 49-56. <https://elibrary.ru/item.asp?id=47362521>
4. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Моделирование нелинейных электрических процессов в элементах электронной волновой цепи: учебное пособие.– Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2018. – 116 с. <https://elibrary.ru/item.asp?id=36762792>
5. *Гисцов В.Г., Батагов К.А., Волощенко Ю.П.* Исследование характеристик модели автономной электрической системы с маломощной ветроэнергетической установкой// Всероссийская научная конференция «Теоретические и методические проблемы эффективного функционирования радиотехнических систем» («Системотехника-2020»). Проблемы современной системотехники: сборник научных статей. – Таганрог: Изд-ль ИП Ступин С.А, 2020. -вып.XIV. С.63-69 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44404561>
6. *Robert A. Huggins.* Energy Storage. – Springer Science & Business Media, – 2010. – 424 с. DOI 10.1007/978-1-4419-1024-0
7. *Куликов Ю.А.* Накопители электроэнергии - эффективный инструмент

- управления режимами электроэнергетических систем// Электроэнергетика глазами молодежи - 2018: Материалы IX Международной молодежной научно-технической конференции: в 3 т. – Казань:КГЭУ, 2018. С. 38-43 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41234595>.
8. Суперконденсаторы. Устройство и применение. Электросам.ру [сайт].– URL: <https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/superkondensatory/> (дата обращения 20.05.2022).
  9. Маховичный накопитель энергии // Savenergy.info [сайт]. –URL: <http://savenergy.info/page/mahovichniy-nakopitel-energy/> (дата обращения 20.05.2022).
  10. Shenzhen Topray Solar Co.,Ltd:[сайт]. –2018.–URL: <https://www.topraysolar.com/> (дата обращения 15.05.2022)
  11. Торговый дом «Солнечная корона» [сайт]. –URL: <https://solarcrown.ru/> (дата обращения 20.05.2022).
  12. Расчет солнечной батареи и аккумуляторов, комплекта солнечной электростанции // Энергопартнер [сайт]. –2020 г. –URL: <https://enpartner.ru/novosti/raschet-solnechnoj-batarei-i-akkumulyatora-solnechnoj-elektrostantsii> (дата обращения 15.05.2022).

**Воротынцев Владислав Сергеевич**, студент гр. РТб03-39, кафедра электротехники и мехатроники, Южный федеральный университет, 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371694; e-mail: vorotyntsev@sfedu.ru.

**Волощенко Юрий Петрович**, канд. техн. наук; доцент кафедры электротехники и мехатроники Южного федерального университета, город Таганрог, переулок Некрасовский 44; 347928, телефон: +78634371694; e-mail: voloschenkoyp@sfedu.ru.

**Vorotyntsev Vladislav Sergeevich**, student gr. RTb03-39, Department of Electrical Engineering and Mechatronics, Southern Federal University, 44, Nekrasovskiy street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371694; e-mail: vorotyntsev@sfedu.ru.

**Voloshchenko Yuri Petrovich**, Ph.D. in Technology, Associate Professor Department of Electrical Engineering and Mechatronics, Southern Federal University, 44, Nekrasovskiy street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371694; e-mail: voloschenkoyp@sfedu.ru.

УДК 681.5: 623.746

Лазарев Владимир Сергеевич

## **МЕТОДЫ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ БПЛА В НЕОПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЕ**

*Работа посвящена разработке и анализу методов группового управления подвижными объектами в неопределенных двух и трехмерной средах. В качестве подвижного объекта используются беспилотные летательные аппараты квадрокоптерного типа. Цель работы – создание методов группового управления, увеличивающих качество функционирования движения роботов в неопределенной среде. Для этого был разработан метод планирования траекторий группы подвижных объектов в двумерной и трехмерной среде вместе с алгоритмом распределения целей в группе, позволяющей минимизировать суммарно пройденное расстояние. Развитием данных методов стали гибридный метод группового управления БПЛА в трехмерной среде с использованием кластеризации на основе триангуляции Делоне, а также его модификации, с использованием динамических отталкивающих сил, и минимаксной процедуры оптимизации определения положения объекта в кластере. Сравнение результатов работы представленных методов подтверждает их эффективность.*

*Групповое управление, неопределенная среда, подвижный объект, репеллер, кластеризация, препятствие, беспилотный летательный аппарат.*

Lazarev Vladimir Sergeevich

## **UAV GROUP CONTROL IN UNCERTAIN ENVIRONMENT**

*The work is devoted to the development and analysis of methods for group control of moving objects in uncertain two- and three-dimensional environments. Unmanned aerial vehicles of quadrocopter type are used as a moving object. The purpose of the work is to create methods of group control that increase the quality of the functioning of the robot movement in an uncertain environment. For this purpose, a method for planning the trajectories of a group of moving objects in a two- and three-dimensional environment was developed, together with an algorithm for distributing targets in the group, allowing to minimize the total distance traveled. The development of these methods was a hybrid method for group control of UAVs in a three-dimensional environment using clustering based on Delaunay triangulation, as well as its modifications, using dynamic repulsive forces, and a minimax optimization proce-*

*ture for determining the position of the object in the cluster. Comparison of the results of the presented methods confirms their effectiveness.*

*Group control, uncertain environment, repeller, clustering, obstacle, drone.*

## **Введение**

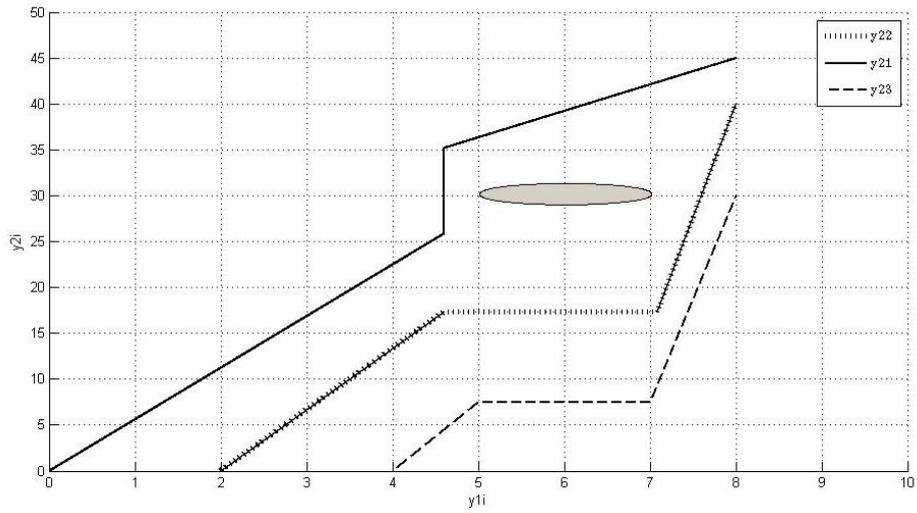
В настоящее время беспилотные летательные аппараты активно развиваются. Одна из наиболее актуальных задач при этом – групповое управление БПЛА [1]. Цель работы – создание методов группового управления, увеличивающих качество функционирования движения роботов в неопределенной среде. Под неопределенностью понимается отсутствие предварительной карты местности с препятствиями, которые могут встретиться на пути.

## **Основная часть**

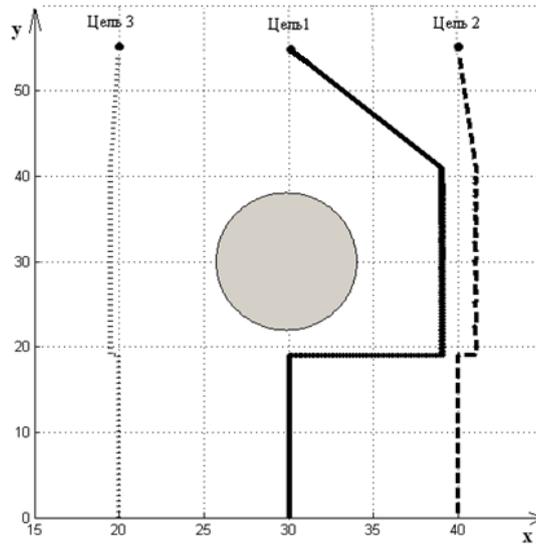
Для достижения цели сначала был разработан метод планирования траекторий группы подвижных объектов в двумерной [2] и трехмерной среде [3] вместе с алгоритмом распределения целей в группе [4], позволяющей минимизировать суммарно пройденное расстояние. Развитием данных методов стали гибридный метод группового управления БПЛА в трехмерной среде с использованием кластеризации на основе триангуляции Делоне [5], а также его модификации, с использованием динамических отталкивающих сил [6], и минимаксной процедуры оптимизации определения положения объекта в кластере [7].

Учитывая требования к краткости данного доклада, здесь не будет описан каждый метод, однако всю информацию по методам можно найти в списке литературы. На рис.1 показан результат работы метода группового управления в двумерной среде. Можно увидеть, что роботы успешно обходят препятствие, встречающееся на пути.

Данный метод был дополнен алгоритмом распределения целей согласно расстоянию до них. На рис. 2 можно увидеть, например, что подвижный объект 2 (ПО 2, на рис.2 сплошная линия) выбирает цель 1.



*Рис. 1. Результат работы метода в двумерной среде*



*Рис. 2. Результат работы алгоритма распределения целей для подвижных объектов*

Однако, для БПЛА более актуальным является движение в трехмерной среде. Постановка задачи в данном случае изменилась (рис.3), подробно она описана в работах [3, 7].

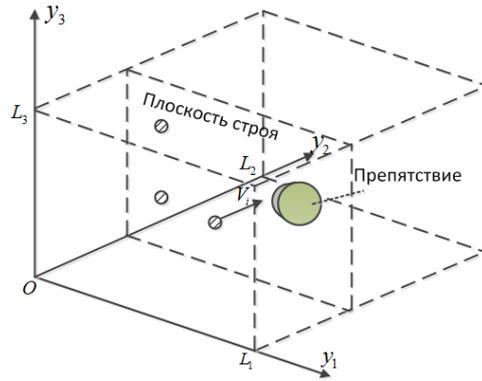


Рис. 3. Постановка задачи в трехмерной среде

Развитием методов [2,3] трехмерной стали гибридный метод группового управления БПЛА в трехмерной среде с использованием кластеризации на основе триангуляции Делоне [5], а также его модификации, с использованием динамических отталкивающих сил [6], и минимаксной процедуры оптимизации определения положения объекта в кластере [7]. На рис. 3 показана работа гибридного метода с использованием динамических отталкивающих сил.

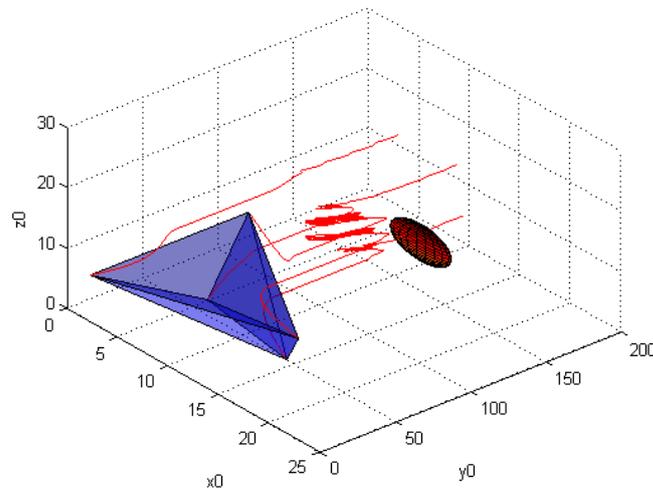
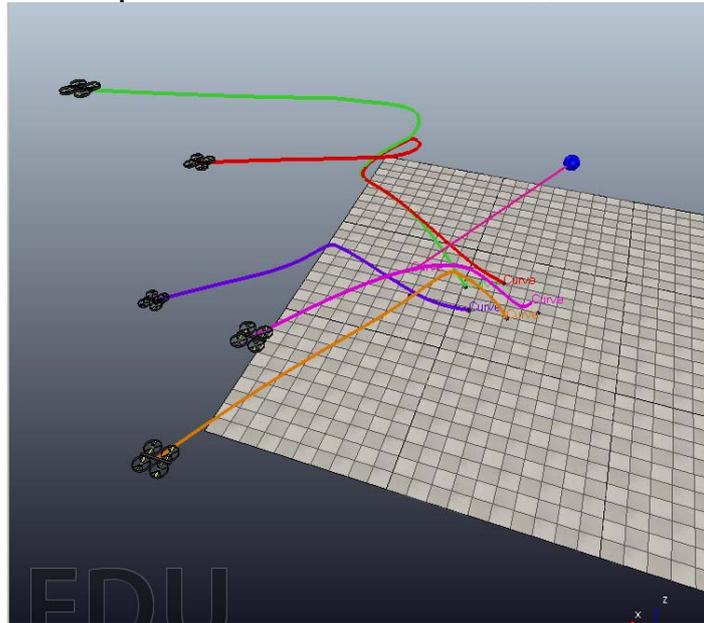


Рис. 4. Результат работы метода группового управления в трехмерной среде

В монографии [8] было проведено моделирование, по результатам которого интегральный коэффициент эффективности метода динамических отталкивающих сил увеличился на 9,36% по сравнению с методом потенциальных полей.

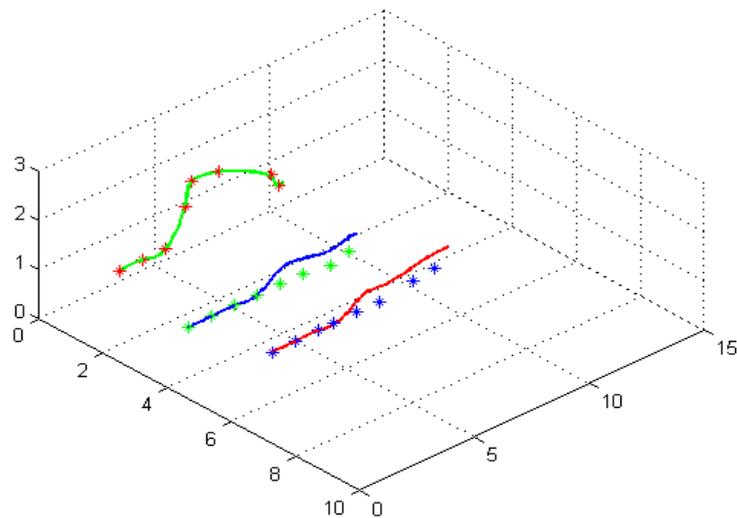
Модификации методов были промоделированы в робототехническом симуляторе V\_REP и описаны в работе [9]. Модификация метода с дина-

мическими отталкивающими силами на обеспечивает на 17,39% больше успешных миссий по сравнению с базовым методом.



*Рис. 5. Апробация методов в V\_REP*

В работе [10] проведено натурное моделирование модификации метода с минимаксной процедурой оптимизации [7].



*Рис. 6. Результат натурального эксперимента*

На рис 6 показан результат данного эксперимента, звездочками обозначена планируемая траектория, линиями – реальная траектория каждого из БПЛА. СКО расчетных значений от реальных значений в полете не пре-

вышает для первого подвижного объекта 0.81, для второго - 0.701, для третьего - 0.473.

### **Выводы**

Целью работы являлось создание методов группового управления, увеличивающих качество функционирования движения роботов в неопределенной среде. Для этого были разработаны методы и проведено их сравнение с аналогами. Сравнение результатов работы представленных методов подтверждает их эффективность, например, на 17,39% больше стало больше успешных миссий.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Пшихонов В. Х., Медведев М. Ю.* Групповое управление движением мобильных роботов в неопределенной среде с использованием неустойчивых режимов // Труды СПИИРАН, 60 – 2018 –, с 39–63
2. *Медведев М.Ю., Лазарев В.С.* Алгоритм формирования траектории группы подвижных объектов в двумерной среде с использованием неустойчивых режимов // Научный вестник НГТУ, Новосибирск, вып3(64). – 2016. – с. 17-29.
3. *Medvedev M., Lazarev V., Kulchenko A. and Zhakov A.* 3D Area Monitoring Using Group Control Technique and Dynamic Repellers // 2018 Global Smart Industry Conference (GloSIC), Chelyabinsk, Russia, 2018, pp. 1-6. doi: 10.1109/GloSIC.2018.8570106
4. *Медведев М.Ю., Лазарев В.С.* Метод планирования движения группы подвижных объектов с использованием динамических репеллеров и целераспределения - Научный вестник НГТУ, Новосибирск, вып1(66). 2017. С. 41-52.
5. *Лазарев В.С.* Обход препятствий группой БПЛА с использованием триангуляции трехмерной области и неустойчивых режимов // Образовательная робототехника в научно-техническом творчестве школьников и молодежи: опыт, проблемы, перспективы: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (25-26 апреля 2019 г.)/ науч. ред. А.Р. Галустов;-Армавир: РИО АГПУ, 2019. - 2016 с.- с. 29-32.
6. *Лазарев В.С.* Влияние отталкивающих сил на движение группы роботов в трехмерной среде// Образовательная робототехника в научно-техническом творчестве школьников и молодежи: опыт, проблемы, перспективы: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с междуна-

родным участием (25-26 апреля 2019 г.)/ науч. ред. А.Р. Галустов-Армавир: РИО АГПУ, 2019. - 2016 с. - с. 78-82.

7. *Медведев М.Ю., Лазарев В.С.* Метод формирования траектории для группы подвижных объектов с помощью кластеризации в двумерной среде // Научный вестник НГТУ, Новосибирск, вып. 4 (77). 2019. с. 45-54.
8. *Пшихопов В.Х. и др.* Интеллектуальные технологии планирования перемещений подвижных объектов в трехмерных недетерминированных средах: [монография] / под редакцией профессора В. Х. Пшихопова. - Москва: Наука, 2017. – 232 с.
9. *Лазарев В.С.* Исследование методов группового управления подвижными объектами в трехмерной среде с препятствиями // Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2021): сборник трудов XIX Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (Таганрог, 9–11 декабря 2021 г.). –Ростов-на-Дону, Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2021. – с. 411 - 413.
10. *Лазарев В.С.* Планирование траектории группы БПЛА в замкнутой среде с препятствиями // Сборник трудов XVIII Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Информационные технологии, системный анализ и управление» (ИТСАУ-2020), 03-05 декабря 2020 г., Издательство Южного Федерального Университета, 2020, – Т.2 – с. 145-148.

**Лазарев Владимир Сергеевич**, ассистент Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Шевченко 2, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-94, email: vlazarev@sfnedu.ru

**Lazarev Vladimir**, assistant professor, Institute of Radio Engineering Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 2 Shevchenko street, phone: +7 (8634) 37-16-94, email: vlazarev@sfnedu.ru.

Гарсия Бельо Ройлан, Диб Делшан, Меркурьев Игорь Владимирович

**ДИНАМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ  
ЭКЗОСКЕЛЕТА В МЕДИЦИНЕ**

*Доклад посвящён развитию робототехники, в сфере реабилитационной медицины. Приводится классификация робототехнических систем. Вследствие того, что современные модели экзоскелета недостаточно функцио-*

нальны, предлагается разработать высокоточную модель динамики движения экзоскелета.

*Робототехника, экзоскелет, электромеханическая система, модель движения.*

Garcia Bello Roilan, Deeb Delshan, Mercuryev Igor Vladimirovich

## **DYNAMICS, CONTROL AND STABILIZATION OF EXOSKELETON MOVEMENT IN MEDICINE**

*The report is devoted to the development of robotics in the field of rehabilitation medicine. A classification of robotic systems is given. Since current exoskeleton models are not efficient enough, a high precision model of exoskeleton movement dynamics is developed.*

*Robotics, exoskeleton, electromechanical system, motion model.*

### **Введение**

Разработки экзоскелетов различного применения активно продвигаются на мировом рынке. Среди лидеров – компании Indego (США), ReWalk (Израиль), Hybrid Assistive Limb Ekso Bionics (Япония), Össur и др.

По данным агентства ABI Research, объем мирового рынка экзоскелетов стремительно растет и к 2025 году достигнет 1,8 млрд. евро. Значительный прогресс в мире достигнут в области создания систем управления протезами человеческих органов. [1]

Существует весьма ограниченный ряд подходов, используемых при изучении динамики движения экзоскелетов и построении управления ими. Работы в этой области велись и ведутся российскими и зарубежными учеными и инженерами.

Практически все немногие известные результаты получены при рассмотрении экзоскелетов как электромеханических систем, когда модели динамики механической и электроприводной частей строятся отдельно, а затем объединяются в одну электромеханическую систему. Или, если строятся совместно, то при таких допущениях, которые практически сводят на нет взаимовлияние электрической и механической подсистем.

Соответственно, и управление приводами экзоскелетов строится с ограниченным учетом отмеченного взаимовлияния механического и электрического процессов.

Вышеотмеченные особенности приводят к необходимости совместного решения задач построения высокоточной математической модели динамики движения экзоскелета, учитывающей взаимовлияние электрической и механической подсистем, и синтеза управления электроприводами экзоскелета, основанными на адаптивном подходе.

### Робототехнические системы в медицине.

В последние годы в медицине интенсивно развиваются направления, связанные с применением робототехнических систем, в том числе роботов для восстановления утраченных двигательных функций человека, выполнения сервисных операций и других задач. Основные направления развития робототехнических систем в медицине представлены на рис. 1 [2,3]. (Источник: собственная разработка).

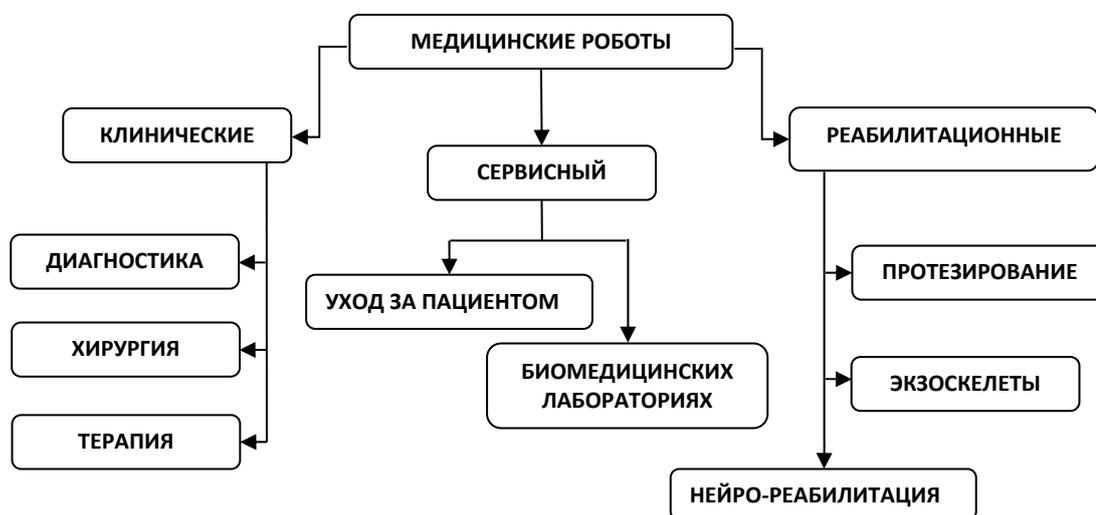


Рисунок 1. Пример классификации робототехнических систем в медицине

Можно разделить медицинские робототехнические системы на три крупные категории.

**Клинические:** к этой категории относятся диагностические мехатронные системы, хирургические и терапевтические роботы. Такие роботы управляются персоналом больницы или обученными специалистами.

**Сервисные:** В этот сегмент относят другие аспекты робототехники, применяемой в медицинской практике, когда первичным назначением робототехнических систем является обеспечение поддержки либо тому, кто оказывает медицинскую помощь, либо непосредственно пациенту, независимо от того, идет ли речь о больнице или о другом медицинском учреждении.

**Реабилитационные:** Такие роботы обеспечивают послеоперационную или посттравматическую помощь, когда прямое физическое взаимодействие с робототехнической системой будет либо ускорять процесс восстановления (выздоровления), либо обеспечивать замену утраченной функциональности. К примеру, Протезы, Нейро – реабилитации и Экзоскелеты. Это тема последних исследований.

Экзоскелет (от греч.  $\acute{\epsilon}\xi\omega$  — внешний и  $\sigma\kappa\epsilon\lambda\epsilon\tau\omicron\varsigma$  — скелет) — устройство, предназначенное для восполнения утраченных функций, увеличения силы мышц человека и расширения амплитуды движений за счёт внешнего каркаса и приводящих частей [4], а также для передачи нагрузки при переносе груза через внешний каркас в опорную площадку стопы экзоскелета.

Экзоскелет повторяет биомеханику человека для пропорционального увеличения усилий при движениях. Для определения этих пропорций следует пользоваться понятием анатомическая параметризация [5].



*Рис. 2. «EXOATLET»*

На пример, российский экзоскелет «ЕхоAtlet», на рис. 2 [1], в комплексной программе реабилитации позволяет восстановить моторику нижних конечностей, повысить физическую активность, улучшить качество жизни пациентов с последствиями детского церебрального паралича, сосудистых болезней (инсульт), спинальных травм и заболеваний. Устройство поддерживает тело в стабильном положении, что обеспечивает снижение болевого синдрома, разработку и укрепление мышц конечностей, спины и пресса. Общее повышение активности предотвращает застои крови и формирование тромбов, повышает эффективность реабилитационного периода, улучшает психоэмоциональное состояние пациента.

### **Ограничения существующих моделей движения экзоскелетов.**

В научной литературе можно найти работы с различными подходами к исследованию экзоскелетов, двуногого шагающего робота.

А. М. Формальский [6], исследовал пяти- и семизвенные механизмы. Пятизвенные механизмы состоят из весоных звеньев: туловище и двух одинаковых двухзвенных ног (бедро и голень). В случае семизвенного механизма он добавил стопы, которые считает невесомыми звеньями. Вопросы устойчивости он не касался. В его исследовании используются уравнения Лагранжа второго рода. Он обратил внимание на вопросы импульсного управления, при котором движение механизма синтезируется при помощи движений, происходящих по инерции. При этом двухопорная фаза ходьбы не исследуется.

В. В. Белецкий в работе коснулся модельных задач динамики и управления двуногой ходьбой с весоными ногами. Для построения уравнений движения он использует теорему о движении центра масс двуногого шагающего робота с требованием к точке подвеса ног во время движения находиться на постоянной высоте от горизонтальной поверхности, и рассматривает особую походку - опорную ходьбу, которая является чередованием одноопорных движений. В приложениях рассматриваются алгоритмы управления двуногого шагающего робота при импульсном управлении. Двухопорная фаза не изучается [7].

В работах М. Вукобратовича [8], исследуются двуногие шагающие аппараты: строится математическая модель двуногого шагающего робота, изучаются модели походок, локомоции аппарата, далее разрабатываются алгоритмы управления ходьбой, решаются проблемы устойчивости и стабилизации ходьбы, проводится энергетический анализ и предлагается реализация искусственной ходьбы на примере экзоскелета. Также в своих трудах М. Вукобратович приводит данные по результатам разработки и испытаний первого макета шагающего антропоморфного робота типа «экзоскелет».

В монографии В.Е. Бербюка [9], разработаны методы решения задач динамики и оптимизации управляемых роботов, шагающих аппаратов, и ряда других объектов. Модель, созданная Бербюком, отличается от других наличием многозвенных стоп. Математическая модель двуногого шагающего робота рассматривается с весоными инерционными звеньями. Звенья механизма считаются абсолютно твердыми. Туловище является балансиrom, а стопа состоит из пятки, плюсны и фаланги. Автор рассматривает

кинематику передвижения, кинематические связи и строит алгоритм решения задачи динамики с использованием полуобратного метода.

Ряд публикаций посвящен вопросам многоногой (двуногой - четырехногой - шестиногой) ходьбы механизмов. В работах И. В. Новожилова, М. Ф. Зацепина, Ш. Х. Тубеева освещаются проблемы моделирования движения и способы организации движения роботов в различных пространствах, в том числе, ограниченном пространстве. [10,11].

Следует отметить, применение активных экзоскелетов в ряде областей носит закрытый характер. Вследствие чего, особенности конструкции экзоскелетов, многие теоретические и практические вопросы разработки не опубликованы или опубликованы ограниченно.

До сих пор большие трудности вызывает такая важная проблема, как построение математической (компьютерной) модели динамики движения экзоскелетов.

Из приведенного анализа научно-технических публикаций можно сделать вывод, что при построении математических моделей двуногого шагающего робота и экзоскелетов рассмотрение взаимного влияния динамики электроприводов и механической конструкции не проводилось. В лучшем случае модель объекта собиралась из моделей механической конструкции и приводов. В области изучения экзоскелетов с современными электрическими двигателями, особенно высокомоментными с прямой передачей движения на механизм, проблема совместного рассмотрения механических и электромагнитных процессов требует своего исследования.

### **Выводы**

1. В настоящее время применение экзоскелетов в реабилитационной медицине открывает очень большие перспективы, однако создание эффективных экзоскелетов требует решения многих научных и технических проблем.

2. Существующие экзоскелеты для реабилитации пациентов с ограниченной подвижностью нижних конечностей не отвечают актуальным требованиям из-за недостаточной функциональности, обусловленной, в первую очередь, недостаточно адекватным воспроизведением ходьбы человека.

3. Для успешного решения задачи адекватного воспроизведения экзоскелетом ходьбы человека необходимо, в первую очередь, разработать высокоточную модель динамики движения экзоскелета.

4. Эффективность существующих моделей динамики движения экзоскелетов ограничена электромеханическим подходом, который не учитывает ряд факторов, таких, как динамическое взаимовлияние движений по степеням подвижности, взаимодействие электромагнитных и механических процессов, дискретность реализации управления.

5. Высокоточная модель динамики движения экзоскелета используется не только для анализа движений, но и при решении задачи построения эффективного управления экзоскелетом.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ExoAtlet // URL: <https://exoatlet.ru/novosti/vstat-na-nogi-istoriya-biznesa-po-proizvodstvu-mediczinskih-ekzoskeletov-ekzoatlet/>(дата обращения: 10.04.2022).
2. *Саврасов Г.В., Ющенко А.С.* Основные направления развития медицинской робототехники. // Мехатроника. -2000. -№ 4. - С.34-49.
3. *Разумов А. Н., Головин В. Ф., Архиллов М. В., Журавлев В. В.* Обзор состояния робототехники в восстановительной медицине. // Вестник восстановительной медицины . -2011. - № 4. - С. 31-38.
4. Экзоскелет - военное и мирное применение // Главный механик. - 2011. - № 11. - С. 50-54.
5. Экзоскелет // Википедия. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения: 23.03.2022).
6. *Формальский А. М.* Перемещение антропоморфных механизмов. - М.: Наука. - 1982. - 368с.
7. *Белецкий В.В.* Двухногая ходьба. - М.: Наука. - 1984. - 332с.
8. Вукобратович М., Стокич Д.Б., Кирчански Н., Неадаптивное и алаптивное управления манипуляционными роботами. - М.: Мир. - 1989. - 376с.
9. *Бербюк В.Е.* Динамика и оптимизация робототехнических систем. - Киев: Наукова думка. -1989. - 192с.
10. *Новожилов И.В.* Управление ногой шагающего аппарата в фазе опоры. // В.кн.: Биомеханика, Рига. -1975 . - С.634-639.
11. *Новожилов И.В., Кручинин П.А., Копылов И.А.* Математическое моделирование сгибательно - разгибательных движений нижних конечностей при изменении вертикальной позы человека. - М.: И зд-во механико - тематического факультета. -2001. - 52с.

**Гарсия Бельо Ройлан**, Аспиран, Национальный исследовательский университет “МЭИ”, Россия, город Москва, улица Красноказарменная, д. 14 стр.1, 111250, телефон: +7(985) 417-75-83, email: [roilangarcia76@gmail.com](mailto:roilangarcia76@gmail.com)

**Диб Делшан**, Аспиран, Национальный исследовательский университет “МЭИ”, Россия, город Москва, улица Красноказарменная, д. 14 стр.1, 111250, email: [delshan2deeb@gmail.com](mailto:delshan2deeb@gmail.com)

**Меркурьев Игорь Владимирович**, Доктор технических наук, Национальный исследовательский университет “МЭИ”, Россия, город Москва, улица Красноказарменная, д. 14 стр.1, 111250, email: [merkuryeviv@mpei.ru](mailto:merkuryeviv@mpei.ru)

**Garcia Bello Roilan**, Graduate student, National Research University (MPEI), 14 Krasnokazarmennaya St., Moscow, Russia, 111250, phone: +7(985) 417-75-83, email: [roilangarcia76@gmail.com](mailto:roilangarcia76@gmail.com)

**Deeb Delshan**, Graduate student, National Research University (MPEI), 14 Krasnokazarmennaya St., Moscow, Russia, 111250, email: [delshan2deeb@gmail.com](mailto:delshan2deeb@gmail.com)

**Merkuryev Igor V.**, Doctor of Technical Sciences, National Research University (MPEI), 14 Krasnokazarmennaya St., Moscow, Russia, 111250, email: [merkuryeviv@mpei.ru](mailto:merkuryeviv@mpei.ru)

Зарайченков Станислав Максимович

## **РОБОТЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

*В настоящее время в мире наблюдается рост численности населения и увеличение спроса на сельскохозяйственную продукцию. Это, в свою очередь, приводит к развитию автоматизации и роботизации этой отрасли, что способствует росту производительности и снижает затраты на сельскохозяйственное производство.*

*Сельскохозяйственная робототехника, робототехника, сельское хозяйство, роботы, автоматизация.*

Zaraichenkov Stanislav Maksimovich

## **ROBOTS IN AGRICULTURE**

*Currently, the world is experiencing population growth and an increase in demand for agricultural products. This, in turn, leads to the development of automation*

*and robotization of this industry, which contributes to productivity growth and reduces the cost of agricultural production.*

*Agricultural robotics, robotics, agriculture, robots.*

Роботизация сельского хозяйства позволяет снизить издержки производства, повысить качество продукции и повысить безопасность за счет снижения человеческого фактора. Роботы, в отличие от людей, могут непрерывно следить за состоянием растений, животных и окружающей среды, исправляя отклонения от заданных параметров.[\[1\]](#)

Роботы в земледелии. В этой отрасли техника выполняет повторяющиеся простые операции при выращивании различных сельскохозяйственных растений. В то же время его основной целью является замена человеческого труда, минимизация вредного воздействия химических веществ на людей и окружающую среду, а также повышение производительности предприятий и урожайности возделываемых культур. Роботизация борьбы с сорняками заключается в общей тенденции изменения форм-фактора сельскохозяйственной техники - от мощных машин, управляемых человеком, до различных небольших и недорогих автономных устройств, которые могут работать "в команде".

Существуют также роботы, предназначенные для выполнения повторяющихся операций в поле или в садах. Они представляют собой четырехколесную самоходную машину с передней и задней системами для манипулирования инструментами. Изменение направления движения осуществляется поворотом переднего, заднего или всех четырех колес, а также методом "краба". В начале работы оператор записывает алгоритм перемещения и выполнения всего цикла операций в память машины с помощью пульта дистанционного управления. Затем робот самостоятельно выполняет заданную программу по команде, реагирует на возникающие барьеры и другие помехи от сигналов, поступающих от сенсорной системы. При обнаружении неизвестного препятствия устройство останавливается и отправляет пользователю текстовое сообщение. Сигнал GPS используется для коррекции движения в режиме реального времени.

Работать на комбайне очень сложно: нужно следить, чтобы он не наезжал на камни, животных или человека, чтобы равномерно заполнить силосную машину с минимальными потерями силоса. Поэтому автоматизация в этой области более полезна, чем где-либо еще. Специальные камеры способны различать участки поля, направлять машину и синхронизиро-

вать движения комбайна и силы, что приводит к снижению потерь зерна [2].

Роботы для сбора фруктов и ягод часто имеют чувствительные камеры для определения зрелости плодов по цвету и механические руки, которые позволяют собирать урожай без повреждений. Такие машины выполняют свою задачу во много раз быстрее человека, что делает их незаменимыми в сельском хозяйстве [3].

Робототехника повысит производительность.

Чтобы обеспечить сборщиков роботов достаточным количеством растений для сбора урожая, несколько компаний разработали роботов, которые полагаются на анализ данных для повышения урожайности.

Например, робот TerraSentia, разработанный EarthSense, может самостоятельно перемещаться по полям и измерять различные параметры растений с помощью передовых датчиков, информируя об этом операторов при анализе урожая.

Наконец, он сможет выявлять распространенные болезни растений. Эти данные будут ценны для ученых, потому что они будут знать, какая среда и условия дают лучший урожай. Например, роботы TerraSentia могут выходить в поле, анализировать растения и информировать ученых о том, какие растения самые сильные и здоровые.

Фермеры смогут уделять больше времени другим сельскохозяйственным видам деятельности.

Фермеры все больше полагаются на роботов для решения проблемы нехватки рабочей силы и удовлетворения растущего спроса на продовольствие. Эти передовые системы экономят труд и время, а также повышают производительность, что доказывает, что технический прогресс проникает во все сферы нашей жизни.[5]

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сельское хозяйство и роботы: [сайт] / А. Бойко; RoboTrends. — URL: <http://robotrends.ru/robopedia/selskoe-hozyaystvo-i-roboty> (дата обращения: 23.12.2020). — Текст: электронный.
2. Роботы для полей: обзор интеллектуальной сельхозтехники: [сайт] / В. Я. Гольяпин; Агробизнес Техника, 2019. — URL: <https://agbztech.ru/article/robots-for-fields-review-of-intelligent-agricultural-equipment/> (дата обращения: 23.12.2020). — Текст: электронный.
3. Десять роботов для бережного сбора урожая: [сайт] / В. Моисеев; Новости

Интернета вещей, 2018. — URL: <https://iot.ru/selskoe-khozyaystvo/11-robotizirovannykh-resheniy-dlya-berezhnogo-sbora-urozhaya> (дата обращения: 23.12.2020). — Текст: электронный.

4. Как мы первыми в мире роботизируем кормоуборочные комбайны: [сайт] / Хабр, 2020. URL: <https://habr.com/ru/company/cognitivepilot/blog/515432/> (дата обращения: 23.12.2020). — Текст: электронный. <https://robotos.in/novosti/4-napravleniya-robototekhniki-kotorye-zatronut-selskogo-khozyajstvo-v-2019-godu>
5. Викторова. — Текст : непосредственный // Исследования молодых ученых : материалы XVIII Междунар. науч. конф. (г. Казань, март 2021 г.). — Казань: Молодой ученый, 2021. — С. 6-9. — URL: <https://moluch.ru/conf/stud/archive/390/16414/> (дата обращения: 28.11.2021).

**Зарайченков Станислав Максимович**, Политехнический институт (филиал ДГТУ) г. Таганрог, Россия.

**Zaraichenkov Stanislav Maksimovich**, Polytechnic Institute (branch of DSTU) Taganrog, Russia.

Зарайченков Станислав Максимович, Ракитина Мария Сергеевна

## **БИОМЕТРИЯ В ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

*Термин "биометрия" охватывает широкий спектр технологий, которые используются для проверки личности путем измерения и анализа характеристик человека. Биометрические технологии - это методы аутентификации, которые основаны на измерении и анализе физиологических или поведенческих характеристик. Восстановление физиологических характеристик индивидуума включает в себя оценку части тела, такой как кончики пальцев или радужная оболочка; выявление поведенческих характеристик включает в себя получение данных из таких действий, как речь.*

*Хотя биометрические технологии различаются по сложности, возможностям и реализации, все они используют несколько элементов.*

*Информационная безопасность; биометрия; технологии; анализ.*

Zaraichenkov Stanislav Maksimovich, Rakitina Maria Sergeevna

## **BIOMETRICS IN INFORMATION SECURITY**

*The term "biometrics" covers a wide range of technologies that are used to verify identity by measuring and analyzing human characteristics. Biometric technologies are authentication methods that are based on the measurement and analysis of physiological or behavioral characteristics. Restoring an individual's physiological characteristics involves evaluating a part of the body, such as the fingertips or the iris; identifying behavioral characteristics involves obtaining data from actions such as speech.*

*Although biometric technologies vary in complexity, capabilities and implementation, they all use several elements.*

*Information security; biometrics; technologies; analysis.*

Системы биометрической идентификации - это, по сути, системы распознавания образов. Они используют устройства сбора данных, такие как камеры и сканирующие устройства, для захвата изображений, записи или измерения характеристик отдельных лиц, аппаратное и программное обеспечение для извлечения, кодирования и сравнения этих характеристик. Различные типы биометрических технологий измеряют разные характеристики. Однако все они связаны с аналогичными процессами, которые можно разделить на два отдельных этапа: (1) Регистрация и (2) проверка или идентификация.

Первый этап - это этап регистрации. Устройства сбора данных, такие как камеры и сканеры, используются для захвата изображений, записи или измерения характеристик отдельных лиц, а аппаратное и программное обеспечение используются для извлечения, кодирования, хранения и сравнения этих характеристик. На этапе регистрации записанные выборки усредняются и обрабатываются для создания единого цифрового представления характеристики, называемой контрольной выборкой, которая сохраняется для будущего сравнения. Шаблоны могут храниться централизованно в компьютерной базе данных, в самом устройстве или на смарт-карте.

Затем следует этап проверки или идентификации. В зависимости от области применения биометрические технологии могут быть реализованы одним из двух способов: верификацией или идентификацией. Верификация.

Он используется для проверки личности человека, отвечая на вопрос: "Этот человек тот, кого он называет? Идентификация используется для установления личности человека путем сравнения индивидуальных биометрических характеристик со всеми сохраненными биометрическими записями, чтобы ответить на вопрос: "Кто этот человек?"

Современные биометрические технологии, которые используются для защиты компьютерных систем от несанкционированного доступа, включают распознавание отпечатков пальцев, распознавание радужной оболочки глаза и распознавание динамик. Эти технологии используются для замены паролей как способ идентификации лиц, которые пытаются получить доступ к компьютерам и сетям.

Технология распознавания отпечатков пальцев извлекает отличительные следы отпечатков пальцев, которые создаются четкими линиями на пальцах. Изображение отпечатка пальца захватывается сканером, увеличивается и преобразуется в шаблон. В продаже имеются различные типы датчиков отпечатков пальцев. Сканер может быть вставлен в компьютер или мышь или клавиатуру, подключенные к компьютеру, или это может быть аппаратное устройство, которое используется исключительно для записи отпечатков пальцев.

Технология распознавания радужной оболочки основана на четко окрашенной границе, окружающей зрачок глаза. Он состоит из эластичной соединительной ткани и является богатым источником биометрических данных с примерно 266 характерными признаками. Системы распознавания радужной оболочки используют небольшую высококачественную камеру с высоким разрешением для получения черно-белого изображения радужной оболочки. Границы радужной оболочки определяются и система координат устанавливается на радужной оболочке перед преобразованием видимых характеристик в шаблон.

Технология распознавания динамик использует характерные звуковые характеристики человеческих голосов в качестве биометрического идентификатора. Эти характеристики являются результатом сочетания физиологических различий в форме голосовых путей и особенностей речи. Системы распознавания говорящих улавливают речевые паттерны человека и заставляют его говорить один раз в микрофон или телефон. Некоторые системы требуют, чтобы для регистрации использовалась предписанная фраза, такая как имя или последовательность цифр. Эта фраза преобра-

зуется из аналогового формата в цифровой, и четкие характеристики голоса, такие как высота тона, интонация, ритм, тон, позволяют сделать сэмпл.

С точки зрения эффективности технологии качество выборки имеет решающее значение для общего успеха биометрической системы. Изменения местоположения, расстояния, давления, окружающей среды и других факторов влияют на создание шаблона. Например, в системе распознавания громкоговорителей фоновый шум, использование различных устройств сбора данных для регистрации и проверки, бесшумный разговор и неправильное расположение устройства сбора данных могут препятствовать процессу. Кроме того, биометрические характеристики могут меняться с течением времени, и людям придется повторно регистрировать обновленную информацию об этих образцах ссылок.

Кроме того, не все люди могут использовать биометрические технологии. Например, технология распознавания отпечатков пальцев недоступна примерно для 2-5 процентов людей, потому что отпечатки пальцев грязные или сухие или стерлись с возрастом, длительной ручной работой или контактом с агрессивными химическими веществами. Немые люди не могут использовать технологию распознавания динамиков, а люди с дефектами пальцев или из-за врожденных заболеваний глаз, хирургических вмешательств или ран не могут использовать технологию распознавания отпечатков пальцев или радужной оболочки глаза.[\[1\]](#)

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Синева А.А., Зубова Л.Ю.* Английский язык. Информация и информационная безопасность. Учебное пособие: - ВУНЦ ВВС "ВВА", 2015. - 160 с.

**Зарайченков Станислав Максимович**, Политехнический институт (филиал ДГТУ) г. Таганрог, Россия.

**Ракитина Мария Сергеевна**, Политехнический институт (филиал ДГТУ) г. Таганрог, Россия.

**Zaraichenkov Stanislav Maksimovich**, Polytechnic Institute (branch of DSTU) Taganrog, Russia.

**Rakitina Maria Sergeevna**, Polytechnic Institute (branch of DSTU) Taganrog, Russia.

Зарайченков Марк Максимович

## РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ АВТОПИЛОТА В ЭЛЕКТРОМОБИЛЯХ TESLA

*В данной работе рассматривается развитие системы автопилота в электромобилях марки Tesla, а так же ее преимущества и недостатки.*

*Автопилот, электромобиль, tesla.*

**Zaraychenkov Mark Maksimovich**

## **DEVELOPMENT OF AUTOPILOT SYSTEM IN TESLA MACHINES**

*This paper examines the development of the autopilot system in Tesla electric vehicles, as well as its advantages and disadvantages.*

*Autopilot, electric car, tesla, Full Self-Driving.*

За каждой гениальной разработкой стоит безумный профессор. Во всех отношениях нормальному человеку просто не приходит в голову идея создать автомобиль, которым можно управлять без участия водителя. И даже если такие мысли приходили кому-то в голову, то никто, кроме Илона Маска, не мог придать им осязаемую форму.

Никто до Tesla не был так поглощен идеей шагнуть в будущее и отказаться от традиционных автомобильных форматов. Идея беспилотного автомобиля казалась автопроизводителям нереальной и бессмысленной. В такой разработке были задействованы только крупные IT-корпорации, энтузиасты или стартаперы.

Илон Маск начал работать автопилотом электромобилей, как и другие. Около 6 лет назад разработчик и дилер приступили к созданию первых прототипов автопилота. Изначально Tesla хотела создать многоступенчатую технологию, которая постепенно переходила бы от зависимого состояния к полной независимости от водителя.

Сначала в машине использовался простой автопилот. Электромобили были оснащены технологией уровня 2, хотя в системе Tesla их было 5. Последний, наиболее совершенный уровень предполагал полную автономию от человека. Тогда машина будет работать аналогично машинам будущего, которые мы раньше видели исключительно в фильмах. [1]

Принцип работы автопилота в электромобилях tesla заключается в функционировании с системами ультразвуковых датчиков комплекта радаров и камер кругового обзора с различным сектором и глубиной ви-

деофиксации. Двенадцать сенсоров объемного сканирования контролируют зону вокруг автомобиля на 360 градусов на расстоянии до 250 метров, позволяя обнаруживать объекты любой формы и размера, как неподвижные, так и движущиеся. Фронтальный радар с улучшенной обработкой предоставляет дополнительные данные на максимальном расстоянии до 160 метров впереди, которая позволяет видеть сквозь сильный дождь, туман, пыль и даже заглядывать через впереди идущий автомобиль.

По классификации SAE International систем помощи водителю существует шесть уровней автономности:

Уровень 0. Автомобиль полностью контролируется водителем. Из электронных помощников на этом уровне доступен только круиз-контроль, поддерживающий постоянную скорость.

#### Уровень 1

На этом уровне возможности круиз-контроля расширяются до адаптивных функций. Автомобиль может выбрать безопасное расстояние от впереди идущего автомобиля и изменять скорость до полной остановки, а затем продолжить движение, а также сканировать пространство позади автомобиля и предупреждать водителя о наезде сзади.

#### Уровень 2

Система может вмешиваться в рулевое управление, например, удерживая автомобиль на разметке полосы движения или объезжая внезапное препятствие. По сути, машина едет одна, но водителю нужно держать руки на руле и включать внешнее освещение.

#### Уровень 3

На этом уровне электроника может управлять автомобилем в стандартных ситуациях. Водителю не обязательно держать руки на руле, но он должен быть осторожен.

#### Уровень 4

Автопилот берет на себя полный контроль, что позволяет водителю не вмешиваться в процесс рулевого управления, а только контролировать его. Система включает свет, поворотники, выбирает оптимальный маршрут для навигации и заранее предупреждает вас о ситуациях, в которых не может принять правильное решение.

#### Уровень 5

Он обеспечивает полную автоматизацию в тех случаях, когда автомобиль не имеет видимых традиционных элементов управления. [2]

Тем не менее, есть перспективы в развитии, хотя вокруг автопилота электромобиля tesla много противоречивых заявлений. Главный тормоз развития автопилотов — не алгоритмы. А отвратительное понимание машиной окружающего пространства. Информации с современных датчиков категорически недостаточно и совершенствование механизма принятия решений (нейросети и так далее) мало что меняет. Сканирующие лидары за пределами дороги для серийных автомобилей и не дают необходимой для уверенного движения полноты информации.

Второй проблемой автопилотов выступит его неуниверсальность.

Все знакомы с Законом Парето, так вот в автопилотах он тоже выполняется. 80% дорожных ситуаций машины понимают, оставшиеся 20% все портят.

Это не значит, что автопилоты могут ехать по 80% дорог в мире. Это означает, что в рамках любой произвольно взятой поездки 80% ситуаций не вызовут проблем, 20% — вызовут. Опасная пропорция. Посмотрите на то, что работает. Эти задачи и окажутся самыми простыми. Автобанный автопилот, автопарковка, заезд в гараж — не без помарок, но функционирует.

Разработчикам осталось самое неприятное: проезд пересечений, перестроения в оживленном потоке и еще пара десятков похожих сценариев. С некоторыми кейсами не очень понятно, что вообще делать. Например, автомобилю сложно заранее понять, проедет ли он между двумя близко расположенными препятствиями. И пока невозможно понять свой динамический коридор (то есть границы пространства, которые автомобиль занимает в динамике), а без этого невозможно корректно просчитать дорожную ситуацию.

Технология полного автопилотирования рано или поздно ожидает нас в будущем. По словам Илона Маска компания Tesla стремится создать автомобиль 5 поколения, в котором не нужно будет присутствие водителя. Одним из признаков этой тенденции стало недавнее обновление Model S и Model X, на которых уже установлен руль прямоугольной формы типа штурвала, намекая на то, что этот орган управления уже готов воспринимать намерения водителя повернуть и выбирать самостоятельно угол поворота колёс в зависимости от заданного маршрута и показаний системы сенсоров.[\[3\]](#)

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гусев А.Н.* Системы автоматического управления самолетом: учеб. Пособие – Самара 2003г
2. *Лазарева Т.Я., Мартемьянов Ю.Ф.* Основы теории автоматического управления: учеб. Пособие- Тамбов: ТГТУ, 2004г
3. *Юренко К.И., Фандеев Е.И.* Известия ЮФУ. Технические науки «принципы построения систем автоведения подвижного состава железных дорог» с 88 – 98
4. *Середкина Е.В.* Технократия vs демократия: возможна ли социальная оценка техники в Китае? // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Культура. История. Философия. Право. – 2018. – № 2. – С. 39–49
5. *Горохов В.Г., Сюттюренко О.В.* Технологические риски: информационные аспекты безопасности общества // Программные системы и вычислительные методы. – 2013. – №4 (5). – С. 344–353.
6. *Каретников В. В., Пащенко И. В., Зайцев А. И.* Основные аспекты современных инфокоммуникационных технологий для обеспечения беспилотного судовождения на водном транспорте // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — Вып. 1 (35)
7. *Баршев В., Тарасов С.* Испытал на вождение // Российская газета. — 2018. — 6 сентября.
8. *Суржик В.В.* Методы структурно-параметрического синтеза математических моделей экранопланов // Иркутск – 2010. – С. 10.
9. *Бойченко М.П., Попов К.С.* Экстремальный автомат наведения антенн. // 12thInt. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology”. — SU., 2002. — С.257–258.
10. *Макухин А. А.* Законодательное регулирование правового статуса беспилотных летательных аппаратов // Научный вестник Крыма. — 2017. — № 1 (6)

Carlos Arteaga Caicedo, Vladimir Bonilla Venegas, Marcelo Moya Cajas

## **RECONOCIMIENTO DE PATRONES DE MOVIMIENTO EN LAS SEÑALES EMG DE LOS MÚSCULOS DE LA PIERNA MEDIANTE EL USO DE REDES NEURONALES PROFUNDAS**

*The present work describes the implementation of a deep neural network for pattern recognition on EMG signals of the leg in the quadriceps muscle according to the loads to which the muscle is subjected. For pattern recognition, a digital filter was implemented during signal acquisition and a training database was generated according to the different signals under the action of multiple loads. Due to, modifying the parameters and layers of the convolutional neural network (CNN) Alexnet, was decided. As a result of this, a conversion of signals to images was performed around the Wavelet Transform with scalogram. Subsequently, the training and validation of the neural network with different parameters was carried out. Finally, tests were carried out on the system using different loads obtaining a deep neural network capable of recognizing patterns of the EMG signals.*

*EMGs, Red Neuronal Profunda, Transformada Wavelet, Alexnet.*

### **Introducción**

El “Deep Learning” se encuentra categorizado dentro de un área de investigación de Machine Learning que estudia cómo las redes neuronales de múltiples tipos y arquitecturas pueden ser programados para aprender y mejorar con la experiencia, sin la necesidad de tener una intervención humana y basados en sólidos principios estadísticos y computacionales. Los algoritmos utilizados permiten analizar datos, aprender de ellos y luego ser capaces de hacer una predicción o tomar una decisión. (Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Tucumán, 2018). Una rama de las ciencias exactas que incluye el estudio, desarrollo e innovación de tecnologías para fines médicos, como terapia o rehabilitación es conocida como ingeniería biomédica. Dentro de esta rama se encuentra inmerso el desarrollo de interfaces mioeléctricas (EMG); una interfaz EMG es un sistema que hace uso de señales biológicas producidas por los músculos del cuerpo, las cuales son procesadas y analizadas por un circuito electrónico en conjunto con software. (J.L. Correa, 2016)

Se han propuesto modelos de redes neuronales profundas para el aprendizaje y síntesis de señales biológicas, validadas por la equivalencia morfológica de las originales. (Belo, 2017). Los métodos de aprendizaje profundo suelen utilizar elementos que tienen la capacidad de adaptarse y pueden procesar diversos

datos de entrada. El aprendizaje, que puede ser supervisado, semi-supervisado o sin supervisión, cambia la estructura del sistema, reordenando la importancia peso/conexión entre los elementos de procesamiento de información del sistema (neuronas artificiales). Estos cambios son impulsados por datos, lo que permite contrastar con los algoritmos específicos de la tarea. En no pocas situaciones el aprendizaje profundo produce resultados asombrosos. (Thomas Schanze. Life Science Engineering., 2018).

La adquisición de señales electromiográficas (EMG) provenientes de los músculos están asociadas cualitativamente con el tipo de movimiento producido. En la actualidad, los trabajos de investigación en esta área están dirigidos a encontrar algoritmos de procesamiento, caracterización y clasificación de patrones de dichas señales, que permitan el análisis y la determinación del tipo de movimiento. (Ballen, 2020). La reciente evolución de la Inteligencia Artificial (IA) y de los modelos propulsados por el aprendizaje profundo en conjunto con los avances de los en los sistemas robóticos de asistencia, han mostrado conseguir un potencial realmente grande y significativo mejorando el control mioeléctrico de los nuevos elementos protésicos. Los modelos basados en arquitecturas de aprendizaje profundo han mostrado que el procesamiento de señales electromiográficas de superficie (sEMG) utilizando estas redes han sido capaces de clasificar y reconocer gestos y movimientos. (Rahimian, Rahimian, & Zabihi, 2019).

Por otra parte, determinar la calidad de las señales electromiográficas de superficie (sEMG) adquiridas o grabadas, es una tarea que demanda tiempo y requiere el juicio de observadores con un entrenamiento adecuado. El implementar un procedimiento autónomo que pueda reconocer y evaluar la calidad de las señales (sEMG), racionalizaría el procesamiento de los datos y reduciría la demanda de tiempo que implica procesar estas señales. (Akhundov, y otros, 2019).

### **Adquisición y Procesamiento de la señal EMG**

Una señal que detecta los potenciales de acción de las unidades motoras sin haber pasado por una etapa de filtrado ni procesado es llamada una señal en bruto o mejor conocida como señal “raw”. Cuando el músculo se encuentra en una posición de reposo, se puede observar una línea base de la señal electromiográfica sin un alto nivel de ruido o interferencia. El ruido dentro de la línea base de la señal en bruto depende de muchos factores, de entre los cuales se puede destacar, la calidad del amplificador electromiográfico, el ruido del ambiente y la calidad de condiciones de detección. El rango de una señal electromiográfica en bruto se encuentra entre los +/- 5000 microvoltios para los atletas y

los contenidos de frecuencia suelen tener rangos de entre los 6 a 500 Hz, siendo la frecuencia de poder más alta entre los 20 y 150 Hz. Para el desarrollo del trabajo se ha implementado un filtro de paso alto de 10 Hz de manera que la señal adquirida realice un cruce por cero y se obtengan el patrón característico de la señal EMG. (Konrad, 2006)

Para la adquisición de datos con respecto a la señal EMG, durante el desarrollo de este estudio se ha optado por utilizar un sensor muscular Arduino ECG EMG Ad8832, este sensor es capaz de medir la actividad muscular eléctrica filtrada y rectificadas de la salida muscular, la característica de este sensor ofrece es que la salida tiene un valor de cero voltios cuando el músculo se encuentra en reposo y a su vez, el tamaño de la salida dependerá directamente de la actividad muscular del músculo sobre el cuál se realice el estudio.

Para el desarrollo del estudio, la ubicación de los electrodos se encuentra en el músculo del cuádriceps en la pierna, tomando en cuenta que el sensor por el que hemos optado cuenta con 3 electrodos, para estudios dinámicos la colocación del par de electrodos se realiza en una posición central sobre el centro del músculo en estudio, tomando en cuenta la posible traslación del músculo debajo del sitio del electrodo durante el movimiento de la articulación y el último electrodo es colocado a manera de un electrodo de referencia neutral. Dentro de la adquisición de las señales se realizó la toma de datos de tres personas con diferentes edades, y a su vez con diferentes rasgos musculares fisiológicos con respecto al cuádriceps.

### **Entrenamiento de la Red Neuronal Profunda**

Las redes neuronales convolucionales pertenecen a un campo específico de las redes neuronales Deep Learning, este tipo de redes han conseguido un alto índice de popularidad debido a sus excelentes resultados dentro del estudio de reconocimiento de imágenes y visión artificial. Las Convolutional Neural Networks o CNNs, son redes neuronales cuya estructura está conformada por neuronas que tienen varios parámetros a manera de pesos a través de los cuáles se puede realizar el aprendizaje. La principal característica de estas redes, es que los datos que son proporcionados como entradas son imágenes. Este hecho proporciona un método mediante el cual se puede codificar algunas propiedades dentro de la arquitectura de red para de esta forma distinguir elementos precisos dentro de las imágenes.

La arquitectura de AlexNet consiste en ocho capas: cinco capas convolucionales y 3 capas completamente conectadas. Lo que hace a AlexNet una red especial son algunas de las características usadas para nuevos enfoques a las

redes neuronales convolucionales. Como resultado, AlexNet es un modelo de CNN realmente poderoso capaz de conseguir una precisión sumamente alta en bases de datos realmente desafiantes.

Puesto que la red neuronal profunda Alexnet admite como entradas únicamente imágenes, se han tomado algunas consideraciones para que el entrenamiento de la red pueda ser efectuado de manera adecuada, debido a que la transformación de las señales en imágenes es necesaria para poder ser introducidas como entradas de la red neuronal, el procedimiento se llevó a cabo una vez que se ha adquirido la base de datos con todas las distintas señales. Para esto, una vez almacenadas las señales en una matriz se realizó un script en Matlab para que el proceso se realice de forma automática para todas las señales. Dentro de este script se planteó utilizar el método de la Transformada Wavelet antes de transformar la imagen.

El caso principal de utilidad que se le da a la transformada Wavelet, es al ser usada como un método para aproximar señales de acuerdo con una escala de resolución usando un conjunto de funciones base llamadas “wavelets”, se procedió a convertir la señal a una imagen con mapa de color y se la escala a 227x227 puesto que esta es la escala necesaria para que la red AlexNet acepte las imágenes como entradas. De manera subsiguiente, se clasifican las imágenes de acuerdo con su identificador y se las envía a carpetas separadas para luego ser utilizadas para el entrenamiento de la red neuronal.

Una vez se han obtenido las señales como imágenes, se procede a establecer los parámetros de la red. En primer lugar, se establece cuantas imágenes de cada clase van a ser destinadas para el entrenamiento y a su vez, cuántas serán utilizadas para validar la red, para esto se divide las señales de forma aleatoria en cada clase y se dedica un 70% de las imágenes de cada clase para el entrenamiento y el 30% restante para la validación. Consecutivamente, se invoca a la red convolucional AlexNet y se definen parámetros como número de capas, clases para el entrenamiento, factor de relación de aprendizaje, épocas entre otros. Para luego, transferir las capas que queremos entrenar a la red pre entrenada y que realice la clasificación de las señales de acuerdo con los patrones generados en relación con las cargas sometidas, el método de modificar capas y parámetros de una red pre entrenada es comúnmente llamado como Transfer Learning.

## Validación de la red

Cuando la red ha sido entrenada de forma correcta, se obtiene un porcentaje de precisión resultado de la red en el cual se muestra que tan precisa es con los parámetros que se han establecido previamente. Para realizar la validación de este porcentaje, se realiza una prueba con imágenes aleatorias seleccionadas del banco de imágenes de prueba y se verifica que la red es capaz de reconocer los patrones representados en las imágenes de acuerdo con las cargas.

A su vez, se imprime una matriz de confusión en la cual se puede observar cuál es la relación de fallo entre clases. En la figura 1, se muestra la matriz de confusión correspondiente al resultado arrojado por la red neuronal profunda con una precisión del 97.78%.

Output Class \ Target Class	quincekilos	sietekilos	sinpeso	Row Total
quincekilos	30 33.3%	0 0.0%	1 1.1%	96.8% 3.2%
sietekilos	0 0.0%	29 32.2%	0 0.0%	100% 0.0%
sinpeso	0 0.0%	1 1.1%	29 32.2%	96.7% 3.3%
Column Total	100% 0.0%	96.7% 3.3%	96.7% 3.3%	97.8% 2.2%

Figura 1. Matriz de Confusión de la Red Neuronal

De manera puntual, en el eje horizontal de la matriz de confusión se tienen las salidas deseadas, es decir, las clases a las que originalmente la señal debe corresponder y en el eje vertical se tienen las clases de salida de la red neuronal, las que la red ha sido capaz de clasificar gracias al entrenamiento. La cuarta columna muestra el porcentaje de acierto y error correspondiente a cada clase a clasificar para finalmente mostrar el porcentaje de acierto y error total de la red neuronal.

## Conclusiones

El reconocimiento de patrones de movimiento de las señales EMG es posible a través de la implementación de redes neuronales profundas, las cuales son capaces de extraer parámetros y características propias de las señales.

A su vez, debido a que la amplitud de las señales EMG se encuentran dentro de un rango de valores conocidos, es posible realizar una diferenciación entre las señales de acuerdo con las cargas a las cuales se somete al músculo, lo cual se puede ver reflejado en los picos de amplitud de la señal.

Al aumentar el número de épocas de entrenamiento de la red neuronal, es posible aumentar la precisión de la salida de red. Sin embargo, al utilizar este método, el tiempo y la cantidad de recursos necesarios por parte de la máquina aumenta de forma exponencial y considerable.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Akhundov, R., Saxby, D., Edwards, S., Snodgrass, S., Clausen, P., & Diamond, L. (2019). *Development of a deep neural network for automated electromyographic pattern classification*. Obtenido de The Company of Biologists: <https://jeb.biologists.org/content/222/5/jeb198101.abstract>
2. Azor, J. (2010). LA TRANSFORMADA WAVELET. *Revista de la Universidad de Mendoza*.
3. Ballen, D. (2020). *Desarrollo de un sistema de control para el movimiento de un prototipo de prótesis de mano a partir del reconocimiento de señales mioeléctricas*. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/21080>
4. Belo, D. (25 de Septiembre de 2017). *BioMedical Engineering Online*. Obtenido de Biosignals learning and synthesis using deep neural networks: <https://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12938-017-0405-0>
5. J.L. Correa, E. M. (2016). Sistema de Adquisición de señales SEMG para la detección de fatiga muscular. *Revista Mexicana de Ingeniería biomédica*, 17-27.
6. Konrad, P. (2006). *The ABC of EMG*. USA: Noraxon INC.
7. McCulloch, W., Pitts, W., & Hebb, D. (1 de 11 de 2019). *steemit*. Obtenido de Breve Historia de las Redes Neuronales Artificiales: <https://steemit.com/spanish/@iars.geo/breve-historias-de-las-redes-neuronales-artificiales-articulo-1>
8. Thomas Schanze. Life Science Engineering. (26 de Septiembre de 2018). *Degruyter*. Obtenido de <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/bmte.2018.63.issue-s1/bmt-2018-6013/bmt-2018-6013.pdf>
9. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Tucumán. (22 de Julio de 2018). *Redes Neuronales Profundas y Aplicaciones*. Obtenido de

[http://www.frt.utn.edu.ar/tecnoweb/imagenes/file/Especializaci%C3%B3n\\_ISI/Pagina%20Web%20Curso%20Profundas.pdf](http://www.frt.utn.edu.ar/tecnoweb/imagenes/file/Especializaci%C3%B3n_ISI/Pagina%20Web%20Curso%20Profundas.pdf)

10. Wei, J. (2019). *AlexNet: The Architecture that Challenged CNNs*. Obtenido de Towards Data Science: <https://towardsdatascience.com/alexnet-the-architecture-that-challenged-cnns-e406d5297951>

**Juan Carlos Arteaga Caicedo**, Mechatronic Engineer, Universidad UTE, Ecuador, Quito, Mariano Pastor, Domingo Espinar, 170521, phone: (+593) 96-278-2817, email: [arteagacaicedojuancarlos8@gmail.com](mailto:arteagacaicedojuancarlos8@gmail.com).

**Vladimir Bonilla Venegas**, Candidate of Technical Sciences (PHD), Mechatronics department Chief, Universidad UTE, Ecuador, Quito, Occidental y Francisco Montalvo, phone (+593)99-992-6868, email: [fbonilla@ute.edu.ec](mailto:fbonilla@ute.edu.ec).

**Marcelo Moya**, Master of Sciences, Chief, Geological and Energy Research Institute, Ecuador, Quito, Occidental y Mariana de Jesus, phone (+593)99-558-4925, email: [marcelo.moya@geoenergia.gob.ec](mailto:marcelo.moya@geoenergia.gob.ec).

УДК 621.396

Gutierrez Nelson, David Espinoza

## **DISEÑO DE ROBOT MOVIL PARA DESMINADO HUMANITARIO**

*El presente trabajo presenta el diseño de una plataforma móvil con desplazamiento automático para la detección de metales. El dispositivo tiene una geometría cuadrada con un área de 5 m<sup>2</sup>, el cual tiene la finalidad de ayudar a los especialistas para la detección de minas explosivas, reduciendo el tiempo de detección de explosivos y disminuyendo el riesgo de accidentes. La plataforma consta de cuatro columnas de apoyo, cada una tiene un sistema de poleas y cabrestantes que se sujetan a un actuador final mediante cordeles, donde se instala un sensor para la detección de elementos metálicos posicionado en sentido horizontal y paralelo al terreno, con movimiento en dos planos sin tocar el piso, reduciendo la posibilidad de detonación de una mina. También incluye un programa que genera una trayectoria de exploración del terreno para ubicar los metales de forma intuitiva, con un mecanismo de marcado por pintura aerosol. Para el diseño del sistema se utilizó la metodología en V lo que facilita el diseño concurrente.*

*Palabras clave. Robot movil, mina explosiva, detector de metales, ruta planificada, sistema automatico.*

Gutierrez Nelson, David Espinoza

## **MOBILE ROBOT DESIGN FOR HUMANITARIAN DEMINING**

*The device has a square geometry with an area of 5 m<sup>2</sup>, which is intended to help specialists for the detection of explosive mines, reducing the time of detection of explosives also reducing the risk of accidents. The platform consists of four supporting columns, each one has a system of pulleys and winches that are attached to an actuator end by ropes, where a sensor is installed for the detection of metallic elements positioned horizontally and parallel to the ground, with movement in two planes without touching the floor, reducing the possibility of detonation of a mine. It also includes a program that generates an exploration path of the terrain to locate the metals intuitively, with a marking mechanism by spray paint. For the design of the system, the V methodology was used, which facilitates concurrent design.*

*Mobile robot, explosive mine, metal detector, planned route, automatic system.*

### **INTRODUCCIÓN**

Las minas explosivas de uso militar que fueron utilizadas en los distintos enfrentamientos bélicos a lo largo de la historia moderna de la humanidad, que se vio con mayor frecuencia en el siglo XX tanto en la Primera como en la Segunda Guerra Mundial, también conflictos más cercanos como la Guerra del Cenepa o la Guerra de las Malvinas donde este tipo de dispositivos bélicos fueron diseminados por grandes extensiones de tierra. Este tipo de dispositivos tienen una vida útil prolongada ya que fueron diseñados para la guerra, pero una vez que terminan los conflictos resultan ser potencialmente letales para civiles inocentes o ganado.

El Comité Internacional de la Cruz Roja manifiesta que la problemática de las minas antipersonal es de carácter generalizado alrededor del mundo. En el caso de Ecuador, las zonas que aún presentan minas se encuentran en tres provincias fronterizas con Perú, éstas son: Pastaza, Morona Santiago y Zamora Chinchipe [1]. En estos lugares hay aproximadamente más de 126,824 personas que se encuentran afectadas ya que viven en una zona de riesgo y se limita el aprovechamiento del suelo en estos sectores como se observa en la Figura 1.



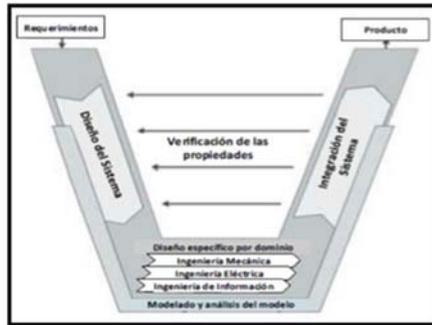


Figura 2. Modelo en V para el diseño de Sistemas Mecatrónicos [6]

## 1.1 REQUERIMIENTOS

- El sistema debe medir la distancia entre el plato del detector de metales y el suelo.

- El dispositivo será capaz de detectar metales enterrados o no a una profundidad de 10cm.

- El dispositivo deberá mantener una posición paralela al suelo.

- El sistema debe moverse de forma bidimensional.

- El sistema debe ser capaz de marcar el suelo indicando la presencia de metales enterrados.

- El sistema debe sostener el efector final compuesto de un plato detector de metales y su estructura.

- Al inicio y al final del barrido del área determinada el efector final, parte y regresará a una posición de inicio.

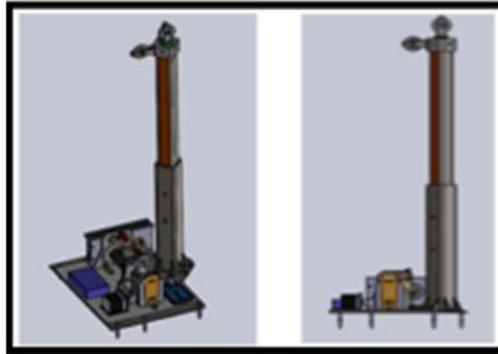
## 1.2 DISEÑO

### 1.3 DISEÑO MECANICO

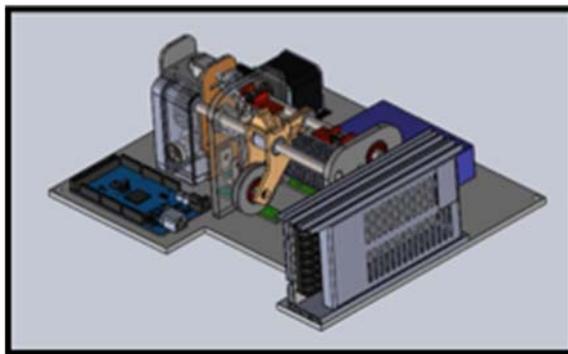
Para el desarrollo de estos sistemas se propone la configuración de cuatro postes con sus respectivas bases; las cuales contuvieron todo el mecanismo que tira y trae los cordeles para provocar el movimiento del efector final. A continuación, se presenta en la Figura 3 el marco del mecanismo.

#### 1.3.1 SISTEMA DE CARRETE.

Este sistema fue el responsable de transmitir el movimiento al efector final mediante los cordeles, por lo tanto, en este sistema lo que se busca es que pueda suministrar cordel de forma continua y a una velocidad constante, para ello se tomó en consideración la ventaja que ofrecen los motores a pasos, tanto en el torque como en el control de la velocidad angular como se muestra en la Figura 4.



*Figura 3. Marco del mecanismo*



*Figura 4. Sistema de carrete*

#### 1.4 DISEÑO ELECTRONICO

El sistema de control se implemento con una red I2C que esta constituida por un maestro y cuatro esclavos con base en Arduino, por este motivo es necesario 3 tipos modelos de PCB, estos fueron: la del maestro, la de los esclavos y por último la de la pintura, estas placas de circuitos integrados fueron diseñadas para facilitar la conexión de los componentes y algunos periféricos, se optó por el uso de conectores Molex.

Para el esclavo no fue necesario una gran cantidad de entradas y salidas por lo tanto se utilizó un Arduino Nano y al saber que prácticamente se utilizaron las mismas conexiones de los sensores y periféricos que utiliza el Maestro, pero con la diferencia que las conexiones entre los esclavos se realizaron puentes para pudieran conectarse entre ellos como se observa en la Figura 6.

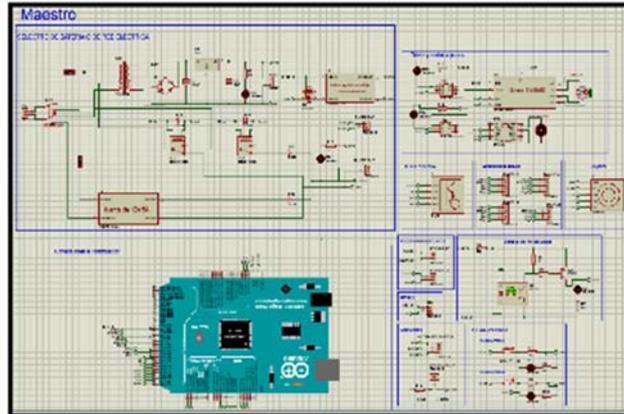


Figura 5. Diagrama esquemático del Maestro

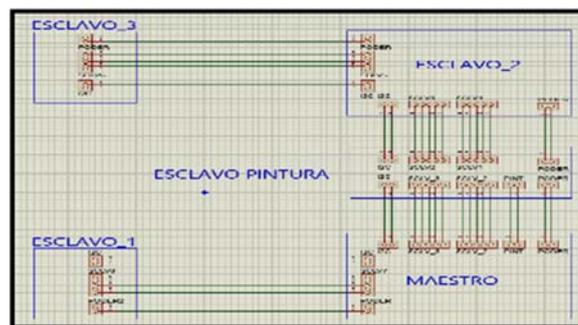


Figura 6. Conexión entre maestro y esclavos

## 1.5 DISEÑO CINEMÁTICO.

En esta sección se planteó la creación de los algoritmos de control para el dispositivo, para lo cual fue necesario resolver la cinemática directa e inversa como también la dinámica.

### 1.5.1 ESPACIO DE TRABAJO.

Para este tipo de robots hay que tomar en cuenta el espacio de trabajo ya que por la naturaleza del mecanismo tensionado por cables existen posiciones en el área comprendida por los marcos del mecanismo que están en los vértices del cuadrado que se llaman singularidades, como se puede observar en la Figura 7. En otras palabras, el efector final que en este caso tuvo un movimiento en dos grados de libertad que fueron en el eje x y el eje y, pero al llegar a una posición de singularidad el efector final gana o pierde un grado de libertad provocando que los controladores sean incapaces de controlar la posición del mismo, por este motivo estas posiciones de singularidades no deben estar en el espacio de trabajo, para ello se utilizó como referencia la misma geometría del robot [7].

### 1.5.2 CINEMÁTICA INVERSA.

Para realizar el estudio cinemático inverso se consideró al efector final y que “todos los cables se encuentran en tensión”, se tomó como punto de origen

el centro del cuadrado o también denominado como centroide, se lo denominara como:  $X_0 = [x_0 \ y_0]^T = [0 \ 0]^T$  [8]. Con respecto al área de trabajo que fue un cuadrado y su lado tuvo un valor de  $L_B$ . Para los marcos del mecanismo que se encuentran en los vértices se los denominaran  $A_i$  y están ubicados en las posiciones  $A_i = [A_{ix} \ A_{iy}]$ ; las longitudes de los cables estarán dadas por  $L_i$  y con respecto a los ángulos serán  $\theta_i$  y la variable  $i$  toma los valores de  $i = 1,2,3,4$  y por último, la posición del efector final que estará dada por  $X_e = [x_e \ y_e]^T$ , así se muestra en la Figura 8.

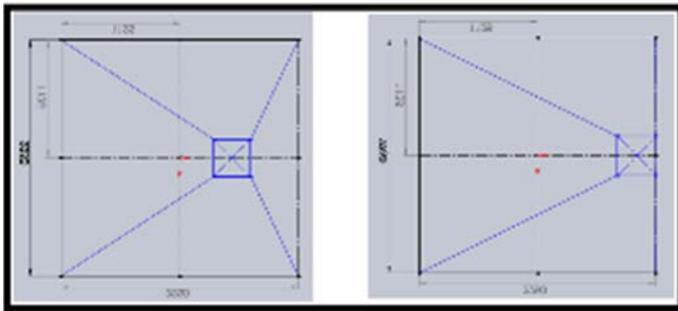


Figura 7. Singularidades

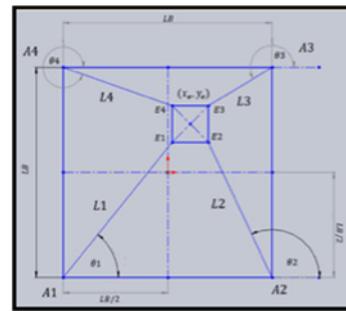


Figura 8. Esquema cinemático

El objetivo de la cinemática inversa en este caso es conociendo la posición del efector final  $X_e = [x_e \ y_e]^T$  es encontrar la longitud de los cables mediante el módulo o norma del vector formado por la posición del marco del mecanismo  $A_i$  y el efector final.

$$A_i = [x_{Ai}, y_{Ai}]$$

$$E_i = [x_{Ei}, y_{Ei}]$$

$$L_i = \sqrt{(x_{Ei} - x_{Ai})^2 + (y_{Ei} - y_{Ai})^2}$$

Donde:

$x_{Ei}$ : coordenada en el eje x del vértice del efector final

$y_{Ei}$ : coordenada en el eje y del vértice del efector final

$x_{Ai}$ : coordenada en el eje x del punto  $A_i$

$y_{Ai}$ : coordenada en el eje y del punto  $A_i$

$L_i$  : longitud del cable

Con respecto al ángulo del cable se tomó como punto de origen  $A_i$  de cada vértice como se muestra en la Figura 9.

$$\theta_i = \tan^{-1} \left( \frac{y_{Ei} - A_{iy}}{x_{Ei} - A_{ix}} \right) + [\sigma_i]$$

Donde:

$\sigma_i$  : es el ángulo que se le debe sumar según el cuadrante

### 1.5.3 CINEMÁTICA DIRECTA.

El objetivo de la cinemática directa es “obtener la posición del efector final  $X_e = [x_e \ y_e]^T$  a partir de las longitudes de los cables” [9] para esto se tomó como punto de partida el centro del cuadrado o centroide donde las longitudes de los cables son iguales, es decir, en la posición  $X_0 = [x_0 \ y_0]^T$ . También se debe considerar la longitud de los cables  $L1$  y  $L2$  que corresponden a los vértices  $A1$  y  $A2$  que están ubicados en las posiciones  $A1 = [0 \ 0]^T$  y  $A2 = [LB \ 0]^T$ , para encontrar la posición del efector final se tomó la idea de la intersección de dos circunferencias con origen en  $A1$  y  $A2$  respectivamente y sus radios fueron  $L1$  y  $L2$  como se muestra en la Figura 10.

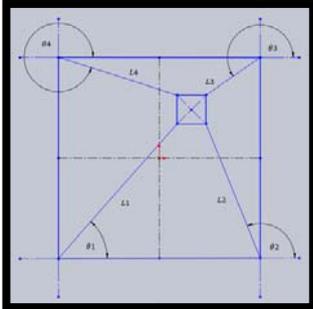


Figura 9. Ángulos de los cables

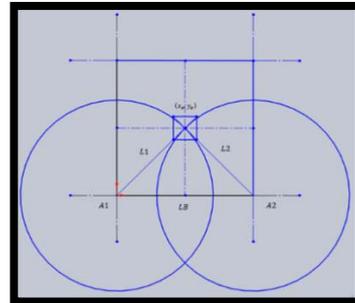


Figura 10. Diagrama para cinemática Directa

### 1.5.4 CINEMÁTICA DE VELOCIDAD.

Lo que se buscó en este estudio fue la relación entre la velocidad del efector final con la velocidad de cambio de longitudes de los cables, para esto se utilizó una ecuación que denote la posición del efector final en cualquier posición, la misma que se verá a continuación [10]:

$$[x_e \ y_e]^T = [A_{ix} + Li \cos(\theta_i) \quad A_{iy} + \text{sen}[\theta_i]]^T$$

### 1.5.5 MODELO DINÁMICO DEL SISTEMA.

Para resolver la dinámica se dividió el problema, en esta sección se los integrará combinado las ecuaciones de la dinámica del efector final, ecuación del carrito móvil y la cinemática inversa, con las cuales se busca una expresión que satisfaga a la ecuación de la robótica.

$$M(X_e)\ddot{X}_e + N(X_e, \dot{X}_e)\dot{X}_e = S[X_e]\tau$$

Donde:

$M(X_e)$ : es la matriz de inercia  
 $N(X_e, \dot{X}_e)$ : es la matriz de Coriolis  
 $S[X_e]$ : es la matriz Jacobiana estática  
 $\tau$ : es el vector de torque

Para el modelo dinámico del sistema se tuvo como referencia los ángulos de los carretes móviles  $\beta_i$  en función de la posición del efector final  $X_e$  para el estudio se tomaron los ángulos de los carretes como cero, cuando el efector final se encuentre en el centro del espacio de trabajo y esté elevado del piso, se tomó como giro positivo de los carretes el sentido horario, lo cual produjo el enrollamiento del cordel dando como resultado un cambio en la longitud del cordel de forma negativo como se muestran en la Figura 11.

La ecuación:  $\ddot{X}_e = M(X_e)^{-1} + (S\tau - N(X_e, \dot{X}_e)\dot{X}_e)$  muestra el modelo dinámico del robot paralelo accionado por cuatro cables donde las entradas son los torques y la salida es la aceleración del efector final como se muestra en la Figura 12.

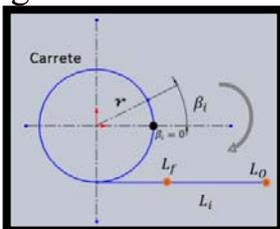


Figura 11. Diagrama del movimiento del carrito

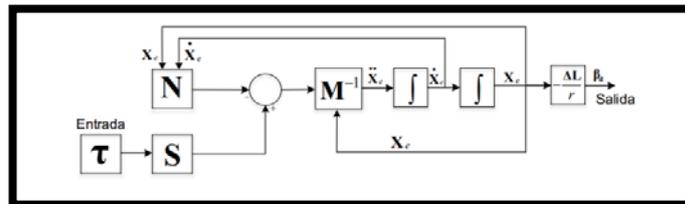


Figura 12. Diagrama de bloques dinámico del sistema

### 1.6 MOVIMIENTO DEL DISPOSITIVO.

Como se ha visto anteriormente, este dispositivo se mueve gracias a la acción de los motores del carrito giratorio, los mismos recogen o seden cable según el movimiento deseado para este proyecto. Se desarrolló únicamente movimientos en línea recta como son: adelante, atrás, izquierda y derecha, que corresponden a los ejes X y Y como se observa en la Figura 13.

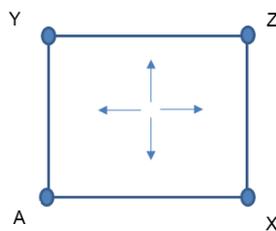


Figura 13. Distribución de los motores

## 1.7 DETECCIÓN DE METALES.

Tomando en consideración que en las secciones anteriores ya se escogió el detector de metales MINELAB F3 [11]. La señal del sensor se procesó mediante un filtro de pasa bajos, también se hace uso de la herramienta Simulink para facilitar la programación y la obtención de la señal como se muestra en la Figura 14.

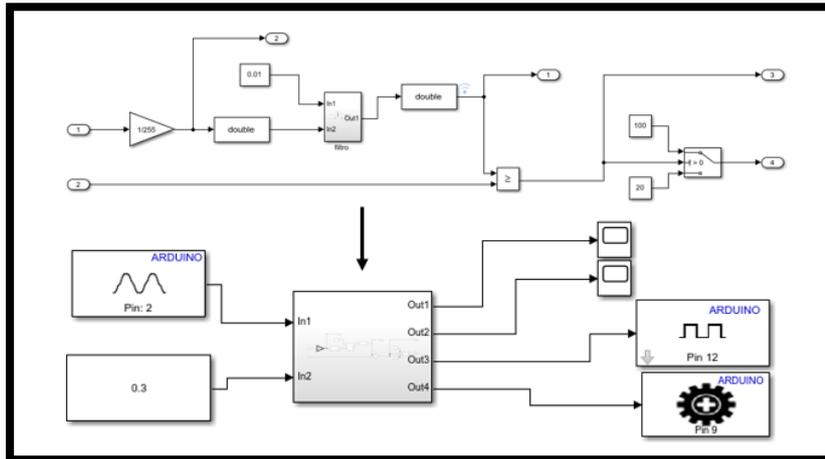


Figura 14. Programa del detector metales

## 3. INTEGRACION DEL SISTEMA

El ensamble completo del sistema diseñado con todos los componentes se muestra en la Figura 15.

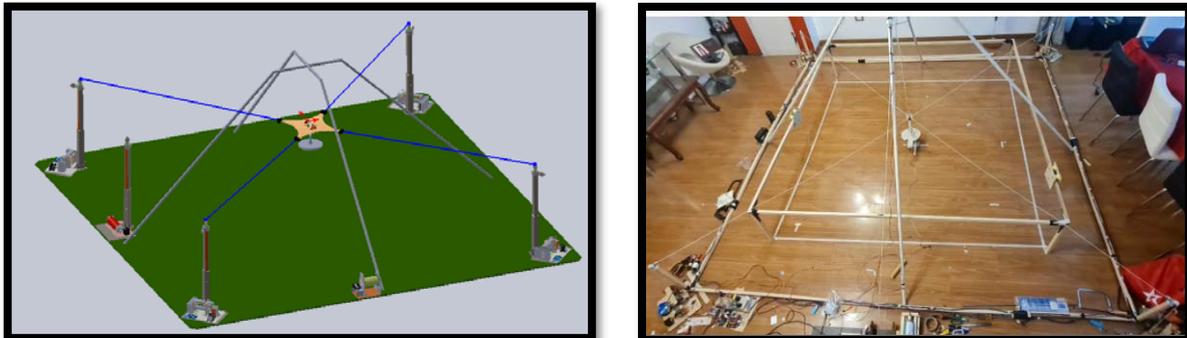


Figura 15. Integración de los sistemas del robot móvil

## Conclusiones

Se desarrolló un sistema mecatrónico con la capacidad de un movimiento bidimensional sin tocar el piso, mediante un robot accionado por cordeles paralelo; el cual tuvo un efector final que contaba con un plato detector de metales, el mismo que tuvo la capacidad de barrer un terreno especificado siguiendo una trayectoria, y al encontrarse en presencia de un metal generó una señal que se usó para accionar un mecanismo que roseó pintura sobre el terreno, así marcado la posición relativa de un metal enterrado.

Se diseñó un algoritmo de control para que el efector final mantuviera una altura constante en el recorrido de la trayectoria con base en un control ON-OFF de lazo cerrado y con lógica pseudo Fuzzy.

Se escogió un detector de metales de uso militar F3 el mismo que fue la base del diseño mecánico de este trabajo.

Se construyó un prototipo con materiales económicos, pero con las medidas y datos calculados en este trabajo para validar el funcionamiento del robot accionado por cordeles paralelos, el cual con una buena calibración cumplió con las trayectorias deseadas.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Castiblanco D., Prada, M., Reyes, C., & Tocaría, D // *Fíjate bien dónde pisas. Efectos del Desminado Humanitario en Colombia: ¿menos coca y más desarrollo?* Bogotá, D. C: Universidad de los Andes. URL: <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/41114>. (дата обращения: 15.10.2021).
2. Jiménez, D. // *El desminado humanitario en el Ecuador: la convención de Ottawa sobre minas antipersonales (1998- 2014)*. La universidad de postgrado del Ecuador, Quito, Ecuador. URL: <http://repositorio.iaen.edu.ec/handle/24000/4603> (дата обращения: 04.10.2021).
3. Echevarría, I. // *Modelo de calibración para un robot de cables autoinstalable*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. URL: [http://oa.upm.es/56323/1/TFG\\_INAKI\\_ECHEVARRIA\\_HERRERA.pdf](http://oa.upm.es/56323/1/TFG_INAKI_ECHEVARRIA_HERRERA.pdf) (дата обращения: 02.08.2021).
4. Rachkov, M., Marques L., De Almeida A. Multisensor Demining Robot. // *Autonomous Robots*. Vol. 18. Pp. 275-291. 2005.
5. Acar E. U., Zhang Y., Choset H., Schervish M., Costa A., Melamud R., Lean D., Graveline A. Path Planning for Robotic Demining and Development of a Test Platform. //Carnegie Mellon University. Pittsburgh. 2001.
6. Fernández V. Desarrollo de Sistemas de Información, una Metodología Basada en el Modelado/ Espana. Edicions de la UPC, S.L. 2010.
7. Aguas X., Herrera M., Sotomayor N., Camacho O. Prototipo de robot paralelo accionado por cuatro cables: resultados experimentales. // *Enfoque UTE*. Vol. 10. 2019.

8. Acar E. U., Choset H., Zhang Y., Schervish M. Path Planning for Robotic Demining: Robust Sensor-Based Coverage of Unstructured Environments.// The International Journal of Robotics Research. Vol. 22. 2003.
9. Doroftei D., Colon E., De Cubber G. A Behaviour-Based Control and Software Architecture for the Visually Guided Robudem Outdoor Mobile Robot.// Journal of Automation Mobile Robotics and Intelligent Systems, Vol. 2. 2008
10. Colon E., De Cubber G., Ping H., Habumuremyi J.C., Sahli H., Baudoin Y. Integrated robotic systems for Humanitarian Demining.// International Journal of Advanced Robotic Systems. Vol. 4(2). 2007
11. Mori Y., Takayama K., Adachi T., Omote S., Nakamura T. Feasibility Study on an Excavation-Type Demining Robot. // *Autonomous Robots*. Vol. 18. 2005.

**Nelson Gutiérrez**, grado académico, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.) UESOR, Docente Universidad UTE, Ecuador, Quito, Avenida Mariscal Sucre s/n y Mariana de Jesús, 170129, telefono: +593987546130, email: nelson.gutierrez@ute.edu.ec.

**David Espinoza**, Ingeniero en Mecatronica, Ecuador, Quito, Avenida Mariscal Sucre s/n y Mariana de Jesús, 170129, telefono: +593991969388, email: davidute1994@gmail.com.

УДК 621.396

Azhar Kadhim Farhood

## **MOBILE ROBOT PATH PLANNING IN ENVIRONMENTAL BASED ON CONVOLUTION NEURAL NETWORK ALGORITHM**

*A convolution neural network analyzes the exact situation using maps 30x30 information on its environment and the mobile robot navigates based on the situation analyzed through Deep learning. The main result of this article is a new iterative algorithm of the training set development. In the first iteration the start training set is developed, and initial learning of a neural network is made. In the next iterations trained at the previous stage neural network is used as filter for the next training sets. The filter selects the trajectories with collisions reasoned by errors of the neural network. Moreover, the numbers of convolution and fully connected layers are increased iteratively. Thus, proposed algorithm allows develop both training set and neural network architecture. Comparison of the training results for filtered and unfiltered sets is per-*

*formed. A high effectiveness of the filtering is conformed. Modeling results of the mobile robot control system with trained neural network is presented.*

*Mobile robot, path planning, neural network, machine learning.*

Фархуд Азхар Кадим

## **ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

*Сверточная нейронная сеть анализирует точную ситуацию, используя информацию maps 30x30 об окружающей среде, а мобильный робот осуществляет навигацию на основе ситуации, проанализированной с помощью глубокого обучения. Основным результатом данной статьи является новый итерационный алгоритм разработки обучающего набора. На первой итерации разрабатывается стартовый обучающий набор и производится первоначальное обучение нейронной сети. На следующих итерациях обученная на предыдущем этапе нейронная сеть используется в качестве фильтра для следующих обучающих наборов. Фильтр выбирает траектории с коллизиями, обусловленными ошибками нейронной сети. Кроме того, количество слоев свертки и полностью связанных слоев итеративно увеличивается. Таким образом, предложенный алгоритм позволяет разработать как обучающий набор, так и архитектуру нейронной сети. Выполняется сравнение результатов обучения для отфильтрованных и нефильтрованных наборов. Обеспечивается высокая эффективность фильтрации. Представлены результаты моделирования системы управления мобильным роботом с обученной нейронной сетью.*

*Сверточные нейронные сети (CNN), навигация мобильных роботов, алгоритм D\*.*

### **Introduction**

Convolutional Neural Networks correspond to a family of Deep Neural Networks architectures whose main goal is analyzing natural signals by taking advantage of their properties. According to [1], the main properties of CNNs are local connections, shared weights, pooling, and the use of many layers. The number of layers in a Convolution 2D layers neural networks and their type will depend on the specific network structure. There are convolution 2D layers followed by subsampling layers in between the input and output layers [2,3]. The input to the convolution 2D layer is given in the form of an image of  $h \times w \times r$

size, where  $r$  represents the number of channels which is equal to 3 for RGB image. A CNN consists of some convolutional and subsampling layers which are followed by fully connected layers. The size of these filters is  $h \times w \times q$ , where  $h$  is the dimension of image and  $w$  is smaller than  $h$ ,  $k$  is number filters,  $r$  is the number of channels and  $q$  can be equal to  $r$ , or less than it. Each map is used in this paper (30x30). Figure 2 represents the architecture of CNN with the number of convolutions 2D layers. The CNN consists of the following layers:

**Input Layer:** The input layer takes in the image, which is a 3D input and will change according to the image size.

**Convolution Layer:** the CNN characters of a set of learnable filters. These filters are spatially small and will only look at a specific region of the image called the receptive field. The filter slides over the image pixels, producing a value that represents whether a specific feature exists in that field. The number of filters is decided by the user with each filter learning to look for a particular feature in the current receptive field. To reduce the number of parameters, a concept called parameter sharing is used whereby the weights used to detect a feature at first position is used at other positions.

**ReLU Layer:** The output of the CNN is passed by the ReLU layer, which introduces non-linearity into the network, the output of which is a stack of two-dimension activation maps of where the relevant features are in the image.

**Pooling Layer:** The pooling layer is used to decrease the parameter number and can also help with decreasing overfitting. The pooling operation is completed on each of the individual depth slices separately. For pooling layers, max-pooling is applied in which the values that lie in the spatial extent is compared with all other, and the maximum value is chosen as the pooled value.

**Fully Connected Layer:** This is the last layer of the network (NN) and is used to estimate the class score for classification. Before this is completed, the output from the last CNN is converted to a format that can be delivered to the fully connected layer. The activation function worked in this layer is usually a sigmoid or tanh function, and dropouts are used to reduce overfitting of the network (NN) to the data. The final output neurons of this layer are activated using the SoftMax function [4], which gives the class probability distribution. The activation function (Relu) [4] are used in work, also zero padding is used to control the dimension of the input to the next convolutional layer.

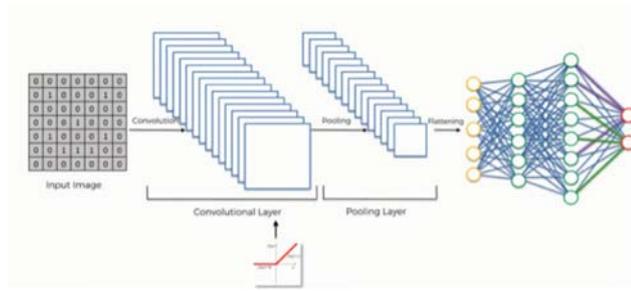


Fig. 1. The architecture of CNN [5]

Based on neural networks, control systems are the perspective field of robotics [6, 7]. Neural networks are a useful adaptation mean. Therefore, neural networks are applied in uncertain environments. In paper [6], the problem of adaptive coordinating control of the multi-agent systems is investigated. The proposed neural network operates in the system with variable topology, limited communications between robots, and actuators faults. Numerical simulation results demonstrate the performance of the neural network control system. Paper [8] presents the motion control system of a wheeled mobile robot in an uncertain environment. Deep learning networks plan the robot path. The novel cascade topology of the neural network is developed. In different situations, the different number of cascades is involved in the planning process. Simulation results and experiments are presented for the wheeled robot in the uncertain obstructed environment.

### Problem statement

A mobile robot in a 2-D environment is considered. The mathematical model of the mobile robot is described as follows [9, 10].

$$\dot{y}_i(t) = R(y_i) x_i \quad (1)$$

$$M_i \dot{x}_i(t) = B_i u_i + F_{di} \quad (2)$$

where  $y_i = [y_{1i} \ y_{2i} \ y_{3i}]^T$  is a vector of position  $(y_{1i}, y_{2i})$  and orientation  $(y_{3i})$  of the mobile robot in the fixed frame  $O_g Y_{g1} Y_{g2}$ ,  $x_i = [x_{1i} \ x_{2i} \ x_{3i}]^T$  is a vector of linear  $(x_{1i}, x_{2i})$  and angular  $(x_{3i})$  velocities of the mobile robot in the moving frame  $OY_1 Y_2$ ,  $R(y_i)$  is the matrix of kinematics,  $M_i$  is the matrix of inertia,  $F_{di}$  is a vector of the dynamical forces,  $u_i$  is a vector of the controls,  $B_i$  is the input matrix. The navigation system of the robot measures vectors  $y_i$  and  $x_i$ .

The simulation environment we adopted in this experiment is a map 30\*30 square environment, as we can see in Fig.4, including 12 obstacles. The start position is marked as a green circle, final position as the green star, D\* (algorithm is the shortest path searching) path as green dotted line and obstacles as red squares. In this paper, the proposed collision avoidance D\* algorithm is

trained, which enables the mobile robot to learn by itself from its experiences, and then fit a mathematical model of a mobile robot is presented by equation (1) and (2) by updating the parameters of the path planning neural networks. Input of the neural unit is the map of environment and path worked out by D\* algorithms. The developed neural path planning must not allow collisions. A solution to the problem is divided into two stages. The first stage is a baseline training performed by D\* supervisor. The second stage is the final training performed by reinforcement learning

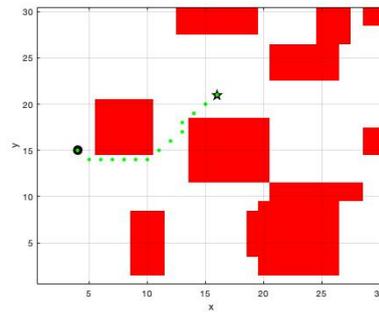


Fig.4. The simulation environment

Experiment environment was conducted on processor 1.3 GHz Intel Core i5, Memory 4GB 1600 MHz DDR3, Intel HD Graphics 5000 1536 MB in the macOS Mojave environment. The state is classified by algorithm D\* into nine classes. If planned by D\* path passes through cell number  $N=1,2,\dots,8$  (Fig. 5) then the state class is  $N$ . If there is no path from the current location to the target location of the robot, then the state class is 9.

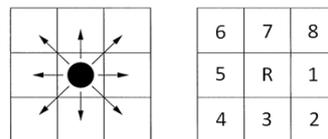


Fig.5. The classes

### The result

In this article, the following iteration algorithm of the creation of the training sample is proposed. Implementation of the algorithm includes three iterations. In iteration 1, the neural network NN1 was selected, including the input layer, 4 convolutional layers with 16 filters and 2 fully connected output layers containing 16 and 8 neurons, respectively. A starting training sample has been created, consisting of 3000 examples for each class. The results of the neural network NN1 training are presented in the column 1 of Table. 1.

Table 1

The results of iterative training of a neural network

<b>Iteration number</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Sample size	3000	8000	10000
Estimation of training accuracy, %	79	89	94
Accuracy of the trained by unfiltered set neural network, %	78	84	91

In iteration 2, the neural network NN1 is used to filter out new training examples. Only those trajectories that the NN2 neural network has classified incorrectly are added to the training set. At the same time, at the second iteration, the NN2 neural network is trained, which includes the input layer, 5 convolutional layers with 32 filters and 3 fully connected output layers containing 32, 16 and 8 neurons. As a result of the second iteration, the training set was increased to 8000 examples per class. Estimation of the accuracy of training was equal to 89%

In iteration 3, the NN2 neural network is used to select training examples. The NN3 network is being studied, it includes an input layer, 7 convolutional layers with 40 filters and 3 fully connected output layers containing 32, 16 and 8 neurons. The estimation of accuracy for training on a filtered sample was 94%. The estimation of accuracy during training is formed as follows. The training sample is divided into two parts. The first part, which contains 80% of the examples, is used for training. The second part, which contains 20% of the examples, is used to test the trained network. Since the training and validation samples contain sections of the same trajectories, the accuracy of the trained network is additionally checked on a separately generated sample, which contains 2000 test situations. Further, to assess the effect of using the proposed iterative procedure, the training of the NN1, NN2, and NN3 neural network by a simple (unfiltered) sets were performed. The estimations of training accuracy are 78 % for NN1, 84 for NN2 and 91 for NN3.

### **The conclusion**

As a result, the neural network is trained to choose the current direction of motion. This direction is coinciding with the trajectory constructed by  $D^*$ . The trained neural network does not plan the whole path of the robot. Therefore, the network could operate effectively in uncertain dynamical environments. Thus, a

procedure for iterative creation of a training sample and a neural network structure is proposed. This procedure reduces the sample size required by the network for training. The volume is reduced by filtering the original sample. Comparative analysis shows that the proposed procedure increases the probability of reaching a given point without collisions by 10 – 20 %.

## REFERENCE

1. Y. *LeCun*, Y. *Bengio* and G. *Hinton*, “Deep learning,” *Nature*, 2015, vol. 521, pp. 436–444, doi:10.1038/nature14539.
2. J. *Wang*, Y. *Ma*, L. *Zhang* and R.X. *Gao*, “Deep learning for smart manufacturing, Methods and applications,” 2018, *J Manuf Syst* 48:144–156. <https://doi.org/10.1016/J.JMSY.2018.01.003>.
3. L. *Freire*, G. A. *Barreto*, M. *Veloso* and A. T. *Varela*, “Short-term memory mechanisms in neural network learning of robot navigation tasks, A case study,” In *Robotics Symposium (LARS), 2009 6th Latin American*, IEEE, pp. 1-6.
4. V. *Nair* and G.E. *Hinton*, “Rectified linear units improve restricted Boltzmann Machines,” *Proc. of the ICML*, 2010.
5. <https://www.superdatascience.com/blogs/convolutional-neural-networks-cnn-summary>.
6. X. *Wang* and G.-H. *Yang*, “Adaptive reliable coordination control for linear agent networks with intermittent communication constraints,” *E-LETTER on Systems, Control, and Signal Processing*, 2018, Vol. 362.
7. G. *Hong-Wei*, D. *Wen-Li*, Q. *Feng* and W. *Lu*, “A dissimilation particle swarm optimization-based Elman network and applications for identifying and controlling ultrasonic Motors,” *Advances in Soft Computing*, 2007, vol. 41, pp. 1345-1360.
8. V. *Pshikhopov*, M. *Medvedev*, M. *Vasileva*, “Neural network control system of motion of the robot in the environment with obstacles,” *Lecture Notes in Computer Science*, 2019, vol. 11606. pp. 173 – 181.
9. V. *Pshikhopov* and M. *Medvedev*, “Group control of autonomous robots motion in uncertain environment via unstable modes,” *SPIIRAS Proceedings*, 2018, vol. 60(5), pp. 39-63.
10. B. *Zoph*, V. *Vasudevan*, J. *Shlens* and Q.V. *Le*, “Learning transferable Architectures for scalable image recognition,” *CVF Conference on Computer Vision*

and Pattern Recognition, IEEE, 2017, July, 22 – 25, Honolulu, Hawaii.

**Фархуд Азхар Кадим** - ЮФУ, e-mail [farhud@sfedu.ru](mailto:farhud@sfedu.ru); 347900, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2; тел.: +7-961-317-65-39; кафедра Электротехники и мехатроники; аспирант.

**Azhar Kadhim Farhood** - Southern Federal University; e-mail: [azhar.kadhum@stu.edu.iq](mailto:azhar.kadhum@stu.edu.iq); 347900, Taganrog, Shevchenko St. 2; phone: +7-961-317-65-39; Department of electrical Engineering and mechatronics; postgraduate student.

УДК 621.396

Acosta-Muñoz Francisco, Rueda-Ayala Christian, Paredes-Loor Raúl

## **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL AHUYENTAMIENTO DE AVES MEDIANTE VISIÓN POR COMPUTADOR EN UN DRON**

*Para el diseño e implementación del sistema de ahuyentamiento de aves mediante la utilización de visión por computador en un dron, se utilizaron técnicas de investigación basadas en el método hipotético deductivo y Modelo en V. Los objetivos principales del proyecto consistieron en generar un algoritmo de detección de objetos dentro de una imagen para identificar la presencia de palomas en un terreno y desarrollar un algoritmo de retorno del dron a un sitio definido. La metodología aplicada se basó en la generación de un conjunto de datos de 26338 imágenes. Para el entrenamiento de la red de reconocimiento de objetos se usó el programa Cascade Trainer GUI con las características Patrones Binarios Locales (LBP). La validación del sistema de reconocimiento de palomas se realizó en 5 sesiones a un total de 100 fotogramas donde se obtuvo un error máximo de 20%.*

*Evasión de obstáculo, UAV, LBP, vuelo autónomo, Pixhawk.*

## **DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A DISPERSAL BIRD'S SYSTEM USING A DRONE GUIDED WITH COMPUTER VISION**

*For the design and implementation of the dispersal bird's system research techniques based on the hypothetical-deductive method and the V-Model were used. The main objectives of the project were to generate an algorithm detection of objects within an image to identify the presence of pigeons in a field and develop an algorithm to return the drone to a defined site. The applied methodology was based on the genera-*

*tion of a dataset with 26,338 images. The training of the object recognition network was performed using the Cascade Trainer GUI program with the Local Binary Patterns (LBP) features. The validation of the pigeon recognition system was applied in 5 sessions to a total of 100 frames where a maximum error 20% was obtained.*

*Obstacle avoidance, UAV, LBP, autonomous flight, Pixhawk.*

## **Introducción**

Las aves poseen una gran facilidad para explorar y colonizar nuevas áreas con la finalidad de satisfacer sus necesidades alimenticias, reproductoras o simplemente con el objetivo de encontrar refugio y protección. Por esto han sido capaces de ocupar todos los medios habitables entre el cielo y la tierra [1]. De acuerdo con lo que observó la Mesa de Oleaginosos en el año 2011, las pérdidas ocasionadas por aves ascendieron a aproximadamente US\$ 1.000.000, sobre un área de referencia de 100.000 hectáreas de soja de primera, que tuvieron que ser resembradas [2].

Es por esta razón que los cultivos requieren un método de ahuyentamiento de aves. Entre los métodos físicos más frecuentes se encuentran los acústicos, que consisten en emitir un ruido molesto para las aves cuando se detectan cerca [3]. Asimismo, los métodos de barrera, que consisten en cerrar físicamente el lugar donde se encuentran los cultivos que se desean proteger; este método suele resultar definitivo, pero requiere una inversión muy alta en la estructura [4].

En los últimos años ha surgido una nueva tendencia en el uso de drones, simples de pilotar, de alta potencia y de bajo costo. Estos drones ofrecen beneficios en una amplia diversidad de aplicaciones en el campo de la agricultura, minería, detección de fallas en gaseoductos, construcción, protección del medio ambiente, así como el ahuyentamiento de aves [5].

## **Metodología**

Se utilizó el método hipotético deductivo [6] como parte del método científico utilizando las técnicas de observación directa, observación de campo y revisión bibliográfica en el cual se tomó en cuenta: características físicas de las aves, dimensiones del terreno, tipo de cultivo, condiciones climáticas y técnicas de visión artificial para reconocimiento de objetos. Adicionalmente se empleó el “Modelo en V” para la implementación de la parte práctica de este proyecto, en el cual se asocia una fase de prueba en cada etapa de desarrollo.

En la selección de materiales se tuvo especial énfasis con la controladora de vuelo, se analizó los parámetros: costo, componentes, código abierto (*open source*) y disponibilidad del producto. Se seleccionó la controladora de vuelo

Pixhawk que tiene compatible con Raspberry Pi 4B. Además, se dispuso a utilizar un miniordenador Raspberry Pi debido a que presenta una mejor capacidad de procesamiento con respecto a otros minicomputadores.

Para la comunicación de la controladora de vuelo y la Raspberry se usó el protocolo MAVLink juntamente con DroneKit. Finalmente, se conectaron los dispositivos electrónicos como la controladora de vuelo, regulador de voltaje, UBEC, miniordenador Raspberry Pi, y demás dispositivos como se indica en la Figura 1.

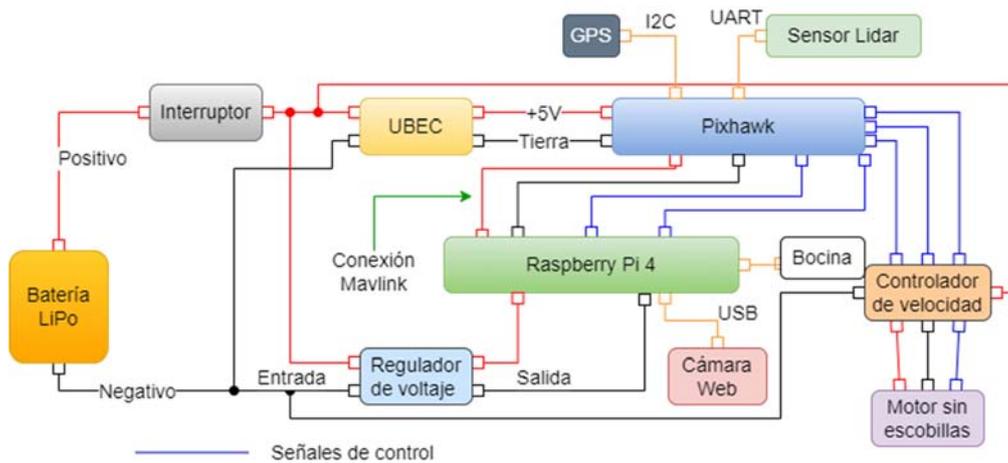


Fig. 1. Conexiones eléctricas

El conjunto de datos para el entrenamiento de la red de reconocimiento de aves fue de 26 338 imágenes, de 38x38 píxeles [7], cada una. De dicho conjunto de datos, 13 912 fueron imágenes negativas (sin aves) y 12 426 fueron positivas (con aves). El tamaño de imagen y la división del conjunto de datos descritos presentaron los mejores resultados a la hora de entrenar una red con la herramienta *Haar Cascade*.

Se empleó también *Ardupilot* por su modo de vuelo guiado (*GUIDED*) debido a que permite que la controladora de vuelo reciba comandos vía *MAVLINK* de Raspberry Pi para cambiar la posición del dron hacia un lugar determinado. Adicionalmente se empleó el modo de regreso al punto de partida de manera automática (*RTL*). Para la evasión de obstáculos se escogió el planificador de trayectorias con base en obstáculos, *Bendy Ruler*, que utiliza un sensor de proximidad para el escaneo de hasta 360° alrededor del dron, luego seleccionando la mejor trayectoria al destino con base al menor número de obstáculos y al mayor margen de distancia con estos.

## Resultados y discusión

Para los entrenamientos y pruebas se trabajó en un área de 260 m<sup>2</sup>, el cual fue el máximo rango apreciable para la calidad de la cámara web utilizada, según los parámetros de ángulo de visión, lente y su resolución. Se construyeron palomas en tamaño real utilizando la técnica de impresión 3D con el polímero ácido poliláctico (PLA) para emular sus características morfológicas y posicionarlas según se requiera. Posteriormente se ubicaron 4 palomas sobre el cultivo de maíz en 3 diferentes distancias: cerca, lejos y muy lejos y dos diferentes climas: nublado y soleado. Esta preparación sirvió para entrenar a la red de una forma más efectiva [8], debido a que se pudo obtener diferentes posiciones de las aves, así como también una variación de su tamaño debido a la ubicación con respecto a la cámara situada en el dron. Para la detección de aves se utilizó las características LBP que describen la vecindad de los elementos de la imagen usando códigos binarios [9]. Las características LBP no requieren de elevada capacidad de procesamiento computacional, son resistentes a las fluctuaciones en los valores de la escala de grises de la imagen, poseen una menor cantidad de características con respecto a *Haar* y menor tiempo de entrenamiento, por lo que son una respuesta más robusta al trabajar con imágenes de baja resolución [10]. El tiempo de entrenamiento está relacionado con el tipo de características, tamaño de imagen y la cantidad de imágenes positivas y negativas, como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1

Tiempo de entrenamiento del algoritmo de detección de aves

Item	Positivas	Negativas	Característica	Tiempo(horas)
<b>Caso 1</b>	1 000	1 000	Haar	6
<b>Caso 2</b>	1 000	1 000	LBP	1
<b>Caso 3</b>	12 426	13 912	Haar	72
<b>Caso 4</b>	12 426	13 912	LBP	2

En 5 sesiones diferentes se capturaron 100 fotogramas por sesión. En cada prueba se obtuvo el error relativo por fotograma y al final se obtuvo la media móvil de los 100 datos obtenidos. Los errores obtenidos por sesión tuvieron una variación del 10 al 20%. Esta variación se produjo debido a que las pruebas no se realizaron en ambientes controlados: iluminación, viento y obstáculos. Para la evasión de obstáculos se utilizó el sensor de proximidad ubicado en la parte frontal del dron. En las pruebas de validación, un obstáculo de 1 x 0.6 m de largo por ancho respectivamente fue detectado a menos de 1 m de distancia frente al dron durante su trayectoria de vuelo por lo que se activó el evasor de obstáculos *Bendy Ruler*. En la Figura 2 se presenta la activación del evasor de

obstáculos, mediante la señal en azul. La señal anaranjada muestra la distancia que lee el sensor de proximidad en metros. De esta forma se observa que pasado el minuto 7 con 30 segundos, se activó el evasor de obstáculos debido a que el sensor detectó un obstáculo muy cerca.

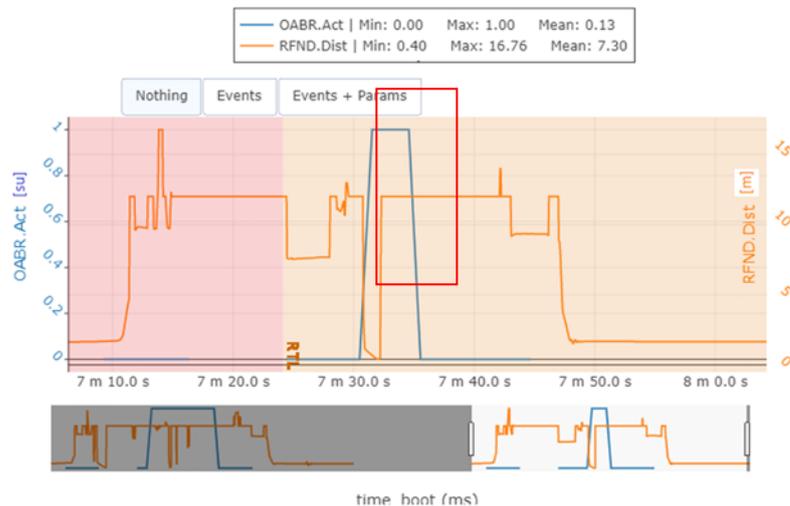


Fig. 2. Activación de Bendy Ruler

## Conclusiones

Las características de detección rápida de objetos más utilizadas son *Haar* y *LBP*, por lo que se utilizó un entrenamiento en cascada con características *LBP* con imágenes de baja resolución y bajo tiempo de procesamiento computacional [10]. La reducción de tiempo de entrenamiento obtenida en el presente trabajo fue del 83% utilizando características *LBP* en comparación con las características *Haar*. Asimismo, los tiempos de detección aproximaron a tiempo real (*real-time*) y no se distinguió una diferencia considerable utilizando las características *LBP* y *Haar*. El error relativo promedio del detector de aves con características *LBP* y tiempo de entrenamiento de 6 horas, estuvo dentro del rango de 10% a 20%, tomando en cuenta 5 ejecuciones en distintos tiempos. Para el movimiento autónomo del dron hacia el sitio donde fue detectada el ave se utilizó el modo *RTL* y *Bendy Ruler* fue usado con el sensor de proximidad para la evasión de obstáculo de 1 x 0.6 m a 1 m de distancia.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Martínez A. Antonio J. Las aves y la agricultura en España: relación historia y evolución. Universidad Miguel Hernández de Elche. 2017.
2. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Guía de buenas prácticas para el manejo de aves plagas en cultivos de secano. 2016.

3. Guerrero-Arenas F. Ramírez-Kou J. Sistema emisor de audio controlado orientado a espantar aves intrusas. Universidad de San Martín de Porres. 2016.
4. Gómez-Marín F. Murcia-Hernández H. Desarrollo e implementación de un sistema autónomo de detección y repulsión de aves en un cultivo de fresas mediante el uso de un dron comercial. 2019.
5. Matías-Ayma R. Aplicación de un dron para mejorar los procesos productivos en Minera Chinalco Perú SA. Morococha. 2020.
6. Chanto A. El método hipotético-deductivo como legado del positivismo lógico y El racionalismo crítico: su influencia En la Economía. Revista de Ciencias Económicas, 2008. Vol. 26, Nº 2. Pp. 183–195.
7. Ban K. Kim J. Yoon H. Gender Classification of Low-Resolution Facial Image Based on Pixel Classifier Boosting. ETRI Journal, 2016. Vol. 38, Nº 2. Pp. 347–355.
8. Ruiz-Cardón J. Detección automática de aves en las vías del AVE mediante análisis de vídeo. BS thesis. 2020.
9. Zhang L. Chu R. Xiang S. Liao S. Li S. Face Detection Based on Multi-Block LBP Representation. International conference of biometrics, 2007. Springer, Berlin, Heidelberg. Pp. 11-18.
10. Merchán F. Galeano S. Poveda H. Mejoras en el entrenamiento de esquemas de detección de sonrisas basados en AdaBoost. I+D Tecnológico, Vol. 10, Nº 2. Pp. 17–30.

**Francisco Alexander Acosta Muñoz**, Ingeniero en Mecatrónica, Ecuador, Quito, Chillogallo, 170607, teléfono: +593-987319252, email: [franciscoa.acosta@ute.edu.ec](mailto:franciscoa.acosta@ute.edu.ec).

**Rueda-Ayala Christian**, M.Sc., Profesor-Investigador, Universidad UTE, 170528, Ecuador, Quito, teléfono: +593-984699635, email: [andres.rueda@ute.edu.ec](mailto:andres.rueda@ute.edu.ec).

**Paredes-Loor Raúl**, M.Sc., Profesor-Investigador, Universidad UTE, 170528, Ecuador, Quito, teléfono: +593- 984536440, email: [raulv.paredes@ute@ute.edu.ec](mailto:raulv.paredes@ute@ute.edu.ec).

**Francisco Alexander Acosta Muñoz**, BS Mechatronics, Student, UTE University, Ecuador, Quito, Chillogallo, 170607, teléfono: +593-987319252, email: [franciscoa.acosta@ute.edu.ec](mailto:franciscoa.acosta@ute.edu.ec).

**Paredes-Loor Raúl**, M.Sc., Teacher-Researcher, UTE University, 170528, Ecuador, Quito, phone: +593- 984536440, email: [raulv.paredes@ute.edu.ec](mailto:raulv.paredes@ute.edu.ec).

**Rueda-Ayala Christian**, M.Sc., Teacher-Researcher, UTE University, 170528, Ecuador, Quito, phone: +593-984699635, email: [andres.rueda@ute.edu.ec](mailto:andres.rueda@ute.edu.ec).

УДК 004.3

Пономаренко Елена Сергеевна, Жмур Даниил Николаевич

### **АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР КЕЙЛОГГЕРОВ**

*Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме безопасности в интернете. В данной работе рассматривается проблема интернет мошенничества. Обзор раскрывает содержание понятий различных видов интернет-мошенничества, а также понятие кейлоггера. В статье представлены основные тенденции осуществления интернет-атак. В обзоре выяснены особенности различных типов кейлоггеров, а также рассмотрено актуальное программное обеспечение. Выделяются и описываются характерные особенности современных кейлоггеров, их функциональность.*

*Кейлоггер, программа, ключ, отслеживание действий, мониторинг, анти-вирус.*

Ponomarenko Elena Sergeevna, Zhmur Daniil Nikolaevich

### **ANALYTICAL REVIEW OF KEYLOGGERS**

*In this article, various types of Internet fraud are considered, the concept of a keylogger is given, and relevant software is also considered. The purpose of the article is an analytical review of keyloggers and an assessment of the characteristics of current software keyloggers. The objectives of the study were fulfilled, in particular, the theoretical material on spyware and types of Internet fraud was studied, modern keyloggers and analysis of their functionality were considered, methods of protection against cyber threats were studied.*

*Keylogger, program, key, action tracking, monitoring, antivirus.*

**Введение.** В следствии динамического роста рынка электронных оплат и онлайн-покупок все большее развитие получают новые современные формы мошенничества использующие информационные технологии. Такие виды мошенничества как: фишинг, мошенничество с интернет-кошельками и рассылка писем на e-mail можно назвать самыми распространенными [1].

Целью фишинговой атаки является похищение личных данных, средств с банковской карты. Как основной метод распространения фишин-

говых атак используют почтовую рассылку, содержащую ссылку на фальшивые сайты.

Мошенничество с интернет-кошельками, один из наиболее часто используемых способов такого мошенничества является перевод покупателем предоплаты продавцу на интернет-кошелек, без дальнейшей отправки товара продавцом.

Мошенничество через электронную почту, в письмах, приходящих жертвам, содержится легенда о наследстве от дальнего родственника и просьба перевести деньги на счет для получения оплаты услуг адвоката или выплаты комиссии.

Данные виды мошенничества актуальны, так как они направлены на активный рост рынка онлайн-покупок и рынка электронных устройств. На рис. 1 показан график роста такого вида атак за период 2019-2020 годов.



Рис. 1. Количество инцидентов в 2019 и 2020 годах

В настоящее время проблема распространения различных вредоносных программ очень актуальна. Одним из представителей таких вредоносных программ являются кейлоггеры, которые относятся к шпионскому ПО. На рис. 2 продемонстрирована доля атак с использованием шпионского ПО [2].

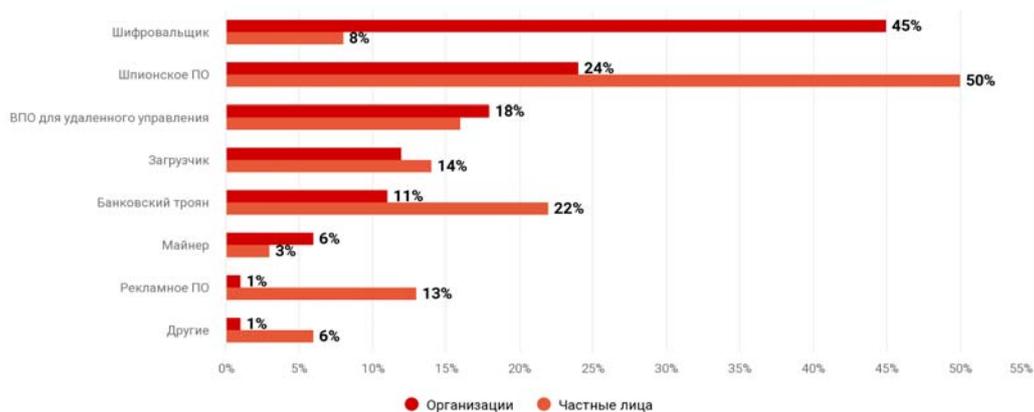


Рис. 2. Типы вредоносного ПО

Целью статьи является аналитический обзор кейлоггеров и оценка характеристик актуальных программных кейлоггеров.

**Понятие кейлоггера.** Кейлоггер — это программное обеспечение или аппаратное устройство, регистрирующее различные действия пользователя, такие как нажатия клавиш клавиатуры, движения и нажатия клавиш мыши и т. д. [3].

Современные кейлоггеры обладают огромным функционалом, который включает в себя не только регистрацию действий пользователя, но и фиксацию других различных процессов: запись телефонных звонков, отслеживание паролей, извлечение паролей, хранящихся в браузерах, отчеты о местоположении устройства по GPS и т. д. За счет того, что развитие кейлоггеров продолжается, некоторые из них уже способны на обход обнаружения при сканировании различными антивирусными продуктами. Это подтверждает актуальность данной темы и необходимость ее более подробного изучения [4].

Существует несколько типов кейлоггеров. Наиболее часто применяемыми являются программные кейлоггеры, которые являются частью вредоносной программы. Как правило, они являются наиболее простым вариантом получения доступа к системе без физического вмешательства [5].

Аппаратные кейлоггеры распространены меньше, чем программные, за счет их более сложной реализации на конкретной машине. Такие кейлоггеры необходимо устанавливать при непосредственном доступе к компьютеру, что значительно повышает риск быть рассекреченным. Зачастую кейлоггеры могут быть встроены в USB-устройства: накопители или вставки-переходники в шнуре клавиатуры [6].

Акустические кейлоггеры являются шпионским оборудованием, предназначенным для скрытного получения информации из особо защи-

щённых систем и объектов. Акустические кейлоггеры способны различать тональные сигналы нажатия кнопок мобильного устройства или экранных клавиш смартфона, восстанавливая последовательность их нажатия. Результатом работы акустического кейлоггера станет восстановленный текст, набранный на телефоне или смартфоне [7].

Так же необходимо упомянуть о разделении кейлоггеров по методу их применения. При несанкционированном применении установка кейлоггера происходит втайне от владельца автоматизированной системы или персонального компьютера. Данные кейлоггеры именуется как шпионские программные продукты или шпионские устройства. Применение данных кейлоггеров, как правило, связано с незаконной деятельностью. Санкционированное применение подразумевает, что установка кейлоггера происходит с ведома владельца автоматизированной системы или конкретного персонального компьютера. Данные кейлоггеры именуется как мониторинговые программные продукты. Как правило, санкционированно устанавливаемые программные продукты требуют физического доступа к компьютеру пользователя и обязательного наличия прав администратора для конфигурирования и инсталляции.

**Программные кейлоггеры.** Рассмотрим и проведем оценку характеристик актуальных программных кейлоггеров.

Refog Personal Monitor — кейлоггер для ПК, позволяющий фиксировать нажатие клавиш. Программа также фиксирует запускаемые процессы и приложения, скриншоты экрана. Журналы Refog Personal Monitor фиксируют посещаемые страницы. Программа способна копировать тексты исходящих и входящих сообщений популярных мессенджеров. Refog Personal Monitor работает в фоновом режиме — пользователь даже не будет знать о том, что за его деятельностью следят [8].

Spytector — это стелс-кейлоггер, который не отображается в диспетчере задач. Данное ПО может отслеживать пароли, браузерную активность, историю URL, нажатые клавиши, чаты в мессенджерах с обеих сторон. Существуют также фильтры, которые помогают пользователю ограничить деятельность, подлежащую мониторингу. Данный кейлоггер не может сохранить какую-либо визуальную или звуковую информацию, сделать скриншот [9].

StaffCop Enterprise — это клиент-серверное приложение для контроля потоков информации и событий системы, а также всех действий сотрудников за рабочим компьютером. Входящий в этот комплекс кейлоггер дает

возможность регистрировать нажатия на клавиатуру, определять, какие именно приложения были запущены в рабочее время, записывать и сохранять вводимые логины и пароли от страниц, мессенджеров и сайтов, создавать список стоп-слов, при введении которых администратор сети будет оповещаться незамедлительно [10].

Hoverwatch — альтернатива для отслеживания действий на мобильных устройствах. ПО хранит информацию о входящих и исходящих вызовах, текстовых сообщениях, записывает телефонные звонки и отправляет периодические отчеты о местоположении телефона по GPS. Инструмент можно настроить так, чтобы он делал снимки лица при разблокировке телефона с помощью фронтальной камеры. Приложение работает в фоновом режиме и не заметно для пользователя [11].

Cocospy — приложение с функцией кейлоггинга для мобильных устройств. Оно регистрирует все набранные на клавиатуре смартфона

символы и сохраняет их в журнале регистрации. Приложение отслеживает GPS-координаты, сохраняет все сделанные, отправленные, полученные изображения, регистрирует журнал звонков и сообщений, отслеживает историю браузеров и переписку в мессенджерах. Cocospy работает в стелс-режиме, незаметном для пользователя [12].

Также важными характеристиками являются совместимость с различными операционными системами и возможность для просмотра собранных данных. В табл. 1 представлены данные для рассмотренного ранее ПО.

Таблица 1

Некоторые технические характеристики ПО

Название	Совместимость с ОС	Просмотр собранных данных
Refog Personal Monitor	macOS, Windows	Электронная почта
Spytector	Windows	Электронная почта, FTP
StaffCop Enterprise	Linux, macOS, Windows	Серверное приложение
Hoverwatch	Android, macOS, Windows	Аккаунт приложения
Cocospy	Android, iOS	Аккаунт приложения

**Вывод.** На основании полученных данных можно сделать вывод, о том, что все рассмотренные программные средства позиционируют себя как мониторинговые средства, имеют предупреждающие сообщения на

своих сайтах об ответственности за использование программного обеспечения не по назначению. Современные кейлоггеры позволяют использовать их, изменяя настройки антивируса, поэтому кейлоггер рассматривается антивирусом как доверенное ПО.

Значит, выбор санкционированного либо несанкционированного метода применения будет зависеть от конечного пользователя. Рекомендуется использовать антивирусное ПО, так как оно поможет избежать последствий различных угроз.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Щеглов А.Ю.* Защита компьютерной информации от несанкционированного доступа. – Санкт-Петербург: Наука и техника, 2004.
2. Актуальные киберугрозы: итоги 2020 года //Positive Technologies URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2020/> (дата обращения: 03.05.2022).
3. *Сомова Е. В., Дунаевский А. С.* Кейлоггеры как актуальная проблема информационной безопасности // Инновационное развитие современной науки: проблемы, закономерности, перспективы: сборник статей V Междунар. науч.-практич. конф. В 3 ч. 2017. С. 60–62.
4. Копырулина О. А., Устюжанин Е. В. Keylogger как средство защиты на предприятии // Вестник современных исследований. 2018. № 10.1 (25). С. 301–303.
5. Что такое Кейлоггер? URL: <https://www.kaspersky.ru/blog/chto-takoe-keylogger/700/> (дата обращения: 15.03.2022).
6. *Блохина Е. Е.* Программные и аппаратные клавиатурные шпионы // В мире научных открытий: материалы II Междунар. студ. науч. конф. 2018. С. 160–162.
7. *Шлыкова А. В., Хаитжанов А.* Специальная техника, применяемая при совершении преступлений // Наука. Общество. Государство. 2014. № 2 (6). С. 120–130.
8. PC Monitoring Software URL: <https://www.refog.com/pc-monitoring-software.html> (дата обращения: 12.04.2022).
9. Spytektor Keylogger URL: <https://www.spytektor.com> (дата обращения: 27.04.2022).
10. StaffCop. Кейлоггер URL: <https://www.staffcop.ru/enterprise/keylogger> (дата обращения: 27.04.2022).

11. Hoverwatch Android Spy URL: <https://www.refog.com/hoverwatch.html> (дата обращения: 24.03.2022).

12. Cocospy. Кейлоггер для Android URL: <https://www.cocospy.com/ru/android-keylogger.html> (дата обращения: 12.05.2022).

**Пономаренко Елена Сергеевна**, студент Донского Государственного Технического Университета, Россия, город Ростов-на-Дону, площадь Гагарина 1, телефон: +7 (918)2191017, email: [maybes278@gmail.com](mailto:maybes278@gmail.com).

**Жмур Даниил Николаевич**, студент Донского Государственного Технического Университета, Россия, город Ростов-на-Дону, площадь Гагарина 1, телефон: +7 (989)8009499, email: [jmur\\_2000@mail.ru](mailto:jmur_2000@mail.ru).

**Ponomarenko Elena Sergeevna**, student of the Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, Gagarin Square 1, phone: +7 (918)2191017, email: [maybes278@gmail.com](mailto:maybes278@gmail.com).

**Zhmur Daniil Nikolaevich**, student of the Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, Gagarin Square 1, phone: +7 (989)8009499, email: [jmur\\_2000@mail.ru](mailto:jmur_2000@mail.ru).

УДК 004.4'242

Ауси Рим Мохаммед, Заргарян Елена Валерьевна

## **БЕЗОПАСНОЕ ХРАНЕНИЕ ДАННЫХ В ОБЛАЧНОМ ПРОСТРАНСТВЕ С ПОМОЩЬЮ СМАРТ-КОНТРАКТОВ БЛОКЧЕЙНА**

*В настоящее время устройства IoT собирают данные из удаленных сред и передают их нескольким промежуточным агентам по беспроводным каналам связи в облако для хранения, анализа и принятия решений. Этим системам требуются высоконадежные данные для обеспечения принятия точных решений. Однако в большинстве случаев данные IoT становятся сомнительными при переходе к облаку. Обеспечение источника данных в такой разнородной многоуровневой системе является критической проблемой безопасности.*

*Хранение данных, безопасность, целостность, частный блокчейн, смарт-контракты.*

Aussi Rim Mohammed Hedhair, Zargaryan Elena Valerevna

## SECURE DATA STORAGE IN THE CLOUD SPACE USING BLOCKCHAIN SMART CONTRACTS

*Currently in the industry IoT devices collect data from remote environments and relay it to multiple intermediate agents via wireless links toward the cloud for storage, analysis, and decision-making. These systems require highly reliable data to ensure accurate decisions are made. However, in most cases, IoT data becomes questionable during the transition towards the cloud. Ensuring the data source in such a heterogeneous multi-layer system is a critical security issue.*

*Data provenance, security, integrity, private blockchain, smart contracts.*

### Введение

Интернет вещей (IoT) - это связь на основе датчиков с возможностью сбора информации из удаленных сред и обмена ею между платформами для улучшения контроля, точности и эффективности с прямым вмешательством человека или без него [1]. Основная цель устройств IoT - обеспечить повсеместные возможности обнаружения, как это определено Вейзером [2]. Устройства IoT обычно имеют низкую вычислительную мощность, малый объем памяти и ограниченный источник питания. Поэтому он объединяется с облачными сервисами для формирования облачной сети для Интернета вещей [4]. Облачные сервисы получили широкое распространение в сети блокчейн. Таким образом, в предлагаемой структуре основные функции блокчейна и смарт-контрактов используются для обеспечения безопасного источника данных, собираемых облачными устройствами IoT в сети.

На рис.1 представлена упрощенная структура блокчейна.

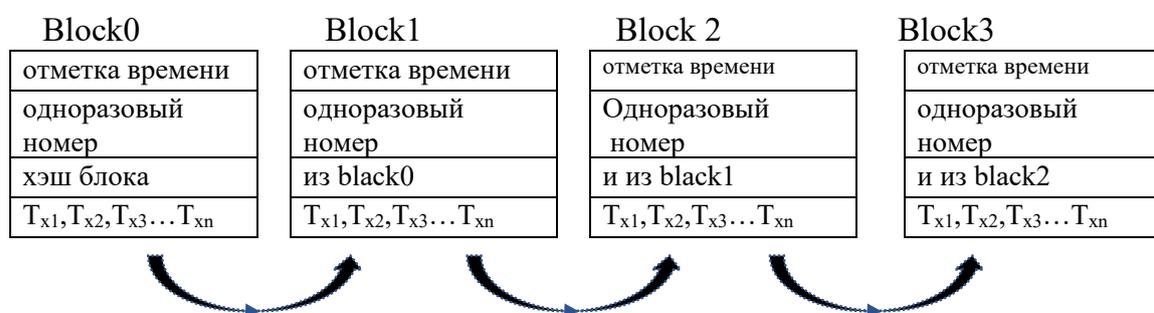
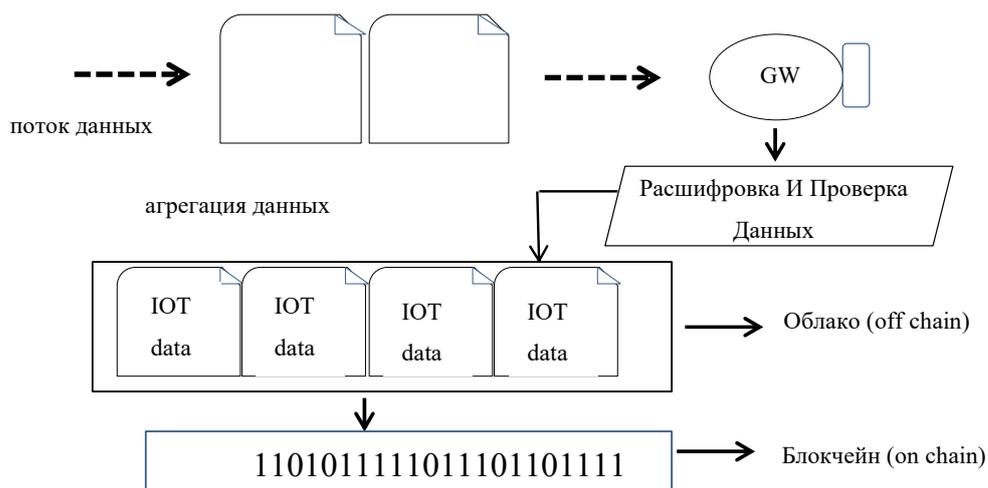


Рис. 1. Упрощенная структура блокчейна

**Принцип работы облачного хранилища.** Облачное хранилище обеспечивает легкий доступ к данным, собранным с огромного количества устройств IoT, расположенных в разных местах сети [3], [6-8]. Таким образом, облачные приложения или третьи стороны могут более эффективно анализировать данные для принятия коллективных решений. В предлагаемой структуре узел шлюза пересылает фактические данные IoT после агрегирования в облако для хранения, как показано на рис. 2.



*Рис. 2. Хранение исходных данных IoT вне сети*

С другой стороны, только хэш метаданных перенаправляется в сеть блокчейна, что, в свою очередь, обеспечивает безопасность, достоверность и источник исходных данных, хранящихся в облаке. Таким образом, облачные сервисы или третьи стороны периодически обеспечивают целостность, достоверность и источник данных в облаке, используя сеть блокчейн. Облачная служба инициирует транзакцию проверки, отправляя хэш и временную метку данных, ранее сохраненных в облаке, в смарт-контракты на блокчейне. Смарт-контракты активируют процесс проверки и сравнивают хэш данных, хранящихся в облаке, с хэшем транзакции, хранящимся в дереве Меркла соответствующего блока в блокчейне. После успешной проверки хэша смарт-контракты генерируют квитанцию о проверке, которая гарантирует целостность и происхождение данных, хранящихся в облаке[7,8].

Смарт-контракты являются ключевым компонентом предлагаемой структуры, поскольку они используются для автоматизации действий и процессов в сети блокчейн. Они - машина доверия в ненадежной среде. Причина в том, что поведению смарт-контрактов полностью доверяют, по-

сколькx они автономно производят детерминированные выходные данные для подобных входных данных [9-11]. Каждый смарт-контракт хранится в блокчейне с уникальным адресом.

#### Алгоритм 1 Контракт на регистрацию устройства

Вход: транзакция  $t_x$

$T_x \leftarrow$  тип регистрации, идентификатор устройства, открытый ключ, идентификатор шлюза и другие метаданные устройства

тип регистра  $\leftarrow$  новый или обновить

Вывод:  $t_{xid}$  &  $b_{cid}$  {успешная транзакция  $t_x$  на блокчейн}

1: если (тип регистрации = новый), то

2: ID устройства  $\leftarrow b_{cid}$  {уникальный адрес блокчейна назначается MSP}

3:  $t_x \leftarrow \text{set}(t_x \cup b_{cid})$  {создать новый актив}

4: иначе

5: если (reg type = update), то

6:  $\text{query}(t_x)$  {запросить блокчейн, чтобы получить информацию о регистрации устройства}

7:  $t_x \leftarrow \text{set}(\text{updated } t_x)$  {обновить существующий актив}

8: конец, если

9: конец, если

10:  $\text{PutState}(t_x)$  {транзакция  $t_x$  помещается в набор Write как предложение записи данных.}

11:  $\text{Write State}(t_x)$  {транзакция  $t_x$  подтверждена и успешно зафиксирована в реестре}

12: вернуть  $t_{xid}$ ,  $b_{cid}$

$t_x \leftarrow$  {тип регистрации, идентификатор устройства, открытый ключ, идентификатор группы, владелец, другие метаданные устройства}

Логика программирования в контракте облегчает регистрацию новых устройств в сети (строка 1:3). Успешная регистрация нового устройства присваивает устройству уникальный идентификатор блокчейна (т. е.  $b_{cid}$ , обычно открытый ключ). Точно так же строки с 5 по 8 в регистрационном контракте помогают обновить существующие метаданные устройства IoT в блокчейне, используя обновленные метаданные (например, изменение узла шлюза, нового владельца или обновленную версию прошивки) в полезной нагрузке транзакции вызова. И регистрация нового устройства, и обновление существующих метаданных устройства инициируют транзакцию записи в сети после проверки одноранговыми узлами в сети (строка 10:11). Только шлюз, на котором зарегистрировано устройство IoT, имеет

право добавлять или обновлять идентификатор устройства в сети блокчейн.

### **Выводы**

Блокчейн работает параллельно с облачным хранилищем и хранит только метаданные устройства, в то время как фактические данные хранятся в облаке, что делает его легко масштабируемым для большого количества устройств IoT в сети. Более того, блокчейн обеспечивает гарантированный доступ к источнику данных, хранящихся в облаке, посредством независимых, открытых и неизменяемых смарт-контрактов, которые выполняются в сети блокчейна. Предварительные экспериментальные результаты показывают [6,7], что предлагаемая структура обладает высокой масштабируемостью при сохранении источников данных в облаках IoT.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Заргарян Е.В., Акопджанян Ж.Ж.* Исследование автоматизации коллаборативных роботов и способы их применения. В сборнике: Технологии разработки информационных систем ТРИС-2020. Материалы X Международной научно-технической конференции. "Технологии разработки информационных систем", 2020. С. 218-223
2. *Zargaryan Yu.A., Zargaryan E.V., Dmitrieva I.A., Sakharova O.N., Pushnina I.V.* Modeling Design Information Systems With Multi-Criteria. Journal of Physics: Conference Series. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2020. С. 32057
3. *Заргарян Ю.А.* Задача управляемости в адаптивной автоматной обучаемой системе управления. В сборнике: Технологии разработки информационных систем ТРИС-2020. Материалы X Международной научно-технической конференции. "Технологии разработки информационных систем", 2020.
4. *Zargaryan E.V., Zargaryan Y.A., Kapc I.V., Sakharova O.N., Kalyakina I.M and Dmitrieva I.A.* Method of estimating the Pareto-optimal solutions based on the usefulness. International Conference on Advances in Material Science and Technology - CAMSTech-2020 // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 919(2). P. 022027 (1-8). doi:10.1088/1757-899X/919/2/022027.
5. *Игнатьев В.В., Игнатьева А.С., Спиридонов О.Б., Спиридонов Б.Г., Заргарян Е.В., Половко И.Ю.* Возможности применения нечетких регуляторов в автоматизированных системах управления котельными агрегатами. Информатизация и связь. 2017. № 4. С. 30-36.

6. *Аламир Х.С., Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А.* Модель прогнозирования транспортного потока на основе нейронных сетей для предсказания трафика на дорогах. // Известия ЮФУ. Технические науки. –2021. –№ 6 (223). –С. 124-132
7. *Лантев А.С., Шестова Е.А.* Недостатки нейро-экспертных систем управления и способы их решения. В сборнике: Наука и современность. Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых. Таганрог, 2021. С. 104-106
8. *Пушнина И.В.* Система управления подвижным объектом в условиях неопределенности. В сборнике: Наука и образование на рубеже тысячелетий. сборник научно-исследовательских работ. Кисловодский гуманитарно-технический институт, Южный федеральный университет. Кисловодск, 2018. С. 65-74.
9. *Wang X., Wang C.* Time series data cleaning: A survey // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 1866–1881. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2962152.
10. *Шестова Е.А., Шадрина В.В.* Исследование построения видов операций над нечеткими множествами и нечеткой аппроксимирующей системы в среде MATLAB. Учебное пособие / Таганрог, 2019.
11. *Ma, Q., Johnston, A. C., & Pearson, J. M.* (2008). Information security management objectives and practices: a parsimonious framework. Information Management & Computer Security.

**Ауси Рим Мохаммед Худхейр**, аспирант кафедры систем автоматического управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Некрасовский пер., 44, 347931, телефон: +7 (909) 428-58-95, email: [ausi@sfnu.ru](mailto:ausi@sfnu.ru).

**Заргарян Елена Валерьевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматического управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Некрасовский пер., 44, Таганрог, 347931, телефон: +7 (8634) 371689, email: [evzargaryan@sfnu.ru](mailto:evzargaryan@sfnu.ru)

**Aussi Rim Mohammed Hedhair**, student of the Department of Automatic Control Systems of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovskiy per., Taganrog, 347931, phone: +7 (909) 428-58-95, email: [ausi@sfnu.ru](mailto:ausi@sfnu.ru)

**Elena Valerevna Zargaryan**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automatic Control Systems, Southern Federal University, Taganrog, 44 Nekrasovskiy per., Taganrog, 347931, phone: +7 (8634) 371689, email: [evzargaryan@sfnu.ru](mailto:evzargaryan@sfnu.ru)

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОКОМУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Современные средства информационных и коммуникационных технологий дают возможность повышения эффективности и качества образовательного процесса в самых многочисленных его аспектах, играя существенную роль в формировании новой системы образования, ее целей и содержания, внедрения современных педагогических технологий.*

*Инфокоммуникации, экономика, продвижение услуг.*

Drovalev Nikita Aleksandrovich

## **APPLICATION OF INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES**

*Modern means of information and communication technologies make it possible to improve the efficiency and quality of the educational process in its most numerous aspects, playing a significant role in the formation of a new education system, its goals and content, and the introduction of modern pedagogical technologies.*

*Infocommunications, economics, service promotion.*

В предоставленной статье будут рассмотрены различные возможности использования инфокоммуникационных технологий (ИКТ) в распространении информации относительно услуг компаний, в ежедневной работе предприятий сферы услуг и в деятельности государственных учреждений, курирующих работу предприятий сферы услуг. Инфокоммуникационные технологии связывают в себе две составляющие: информационные технологии и телекоммуникационные технологии. Вдобавок в статье будут описаны возникающие ограничения при введении новинок в деятельность пре предприятий и организаций [1].

Инфокоммуникации – это развивающаяся отрасль экономики на основе интеграции информационных и телекоммуникационных технологий. В инфокоммуникациях системы связи используются как средства передачи информации различной природы на любые расстояния [2]. Объединение телекоммуникаций и информационных технологий в единую отрасль инфокоммуникаций – общемировая тенденция, ориентированная на развитие телекоммуникационной сети и расширение на её основе числа глобальных информационных сервисов [3].

Обращаясь к возрастающей значимости инфокоммуникационных технологий, в том числе и в сфере услуг. В последние года обозначилась тенденция попадания инноваций во все области социальной жизни. Их давно применяют компании в своей коммерческой деятельности, как и государственные структуры в своей работе [4]. В современное информационное время использование инноваций способно увеличить результативность производства и оказания услуг. Применительно к предприятиям этой сферы, их результативность можно понимать, как повышение качества услуг и обслуживания, которые будут содействовать расширению клиентской базы. До сих пор основным препятствием для внедрения новинок в работу предприятий сферы услуг представлялась их высокая стоимость и, возможно, консерватизм маркетинга компаний, но, поскольку рынок инфокоммуникационных технологий довольно динамичен и необходимо всего несколько лет, чтобы новизна устарела, уже многочисленные компании могут использовать их, не расходуя при этом внушительных сумм[5]. Говоря о сегодняшних технологиях, прежде всего подобает упомянуть смартфоны, беспроводной Интернет, игровые системы и огромное количество компьютерных программ, необходимых для увеличения производительности всевозможных процессов, а также для продвижения товаров и услуг в мировой паутине [6]. Менеджеры предприятий желают пользоваться современными новшествами максимально творчески.

Отмечая интенсивное развитие инфокоммуникационных технологий в образовательных учреждениях на принципиально новой информационно-технологической и дидактической основе: появление новых подходов, средств и методов в техническом оснащении учебного пространства как информационно-образовательной среды, снимающей пространственные и временные ограничения, развитие интерактивных педагогических технологий, отмечаются глобальные тенденции развития и применения ИКТ в образовательном процессе:

- 1) нарастающая динамика развития аудиовизуальных, информационно-коммуникационных технологий в мировом образовательном пространстве и в образовательном пространстве Российской Федерации, освоение которых является одним из существенных факторов модернизации, диверсификации и конвергенции национальных образовательных систем;
- 2) возникновение и успешное развитие в мировом, в том числе и российском, образовательном сообществе целого ряда направлений информационной педагогики, объединяющей современные достижения научно-

технического прогресса в области ИКТ, результаты психолого-педагогической мысли;

3) высокий потенциал интеграции отечественного и международного опыта образовательных и научно-образовательных учреждений, ведущих компаний, работающих в области инфокоммуникационных технологий и связи, в решении актуальной проблемы повышения качества образования и качества услуг [7].

Инфокоммуникационные технологии приносят в нашу жизнь новые возможности, которые могут применяться исполнителями услуг, начальниками предприятий, а также органами государственного управления в своей деятельности [8]. Технологии меняют нашу жизнь, их использование имеет множество последствий и результатов. Новинки могут помочь предприятия сферы услуг более досконально информировать клиентов об услугах, начальству компаний эффективнее согласовывать работу персонала, используя Интернет и др. Вдобавок существуют и недостатки, и ограничения в использовании инфокоммуникационных технологий, которые объединены с отсутствием доступа в сеть во многих районах, плотными обрывами связи и низкой скоростью [9]. Потребители опасаются публиковать в сети свои личные данные, общаться, многие люди не могут использовать компьютер вообще [10]. Перед введением новинок в учебный, общепроизводственный или иной процессы, руководство обязано оценить вероятную выгоду и потери от их использования. Вероятно, что в скором времени инфокоммуникационные технологии станут еще более дешевы и приемлемы широкому кругу потребителей. Можно констатировать, что новинки готовы менять культуру предоставления услуг в целом, они безостановочно развиваются, и вслед за ними меняются стандарты, стратегии, абстрактные подходы к работе. Многочисленные новинки, которые уже признаны устаревшими, тем не менее обладают инновационным потенциалом и до сих пор могут быть использованы в работе [11].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бабин А.И.* Инфокоммуникационные технологии в образовании: глобальные тенденции развития // *Современные наукоемкие технологии.* – 2007. – № 11. – С. 42-43
2. *Гринберг А.С., Горбачев Н.Н., Бондаренко А.С.* Информационные технологии в управлении. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. - 479 с.

3. *Гришин В.Н., Панфилова Е.Е.* Информационные технологии в профессиональной деятельности. - М.: ИД «Форум» - Инфра-М, 2013. - 416 с.
4. *Гасумова С.Е.* Информационные технологии в социальной сфере: Учебное пособие / С.Е. Гасумова. - М.: Дашков и К, 2015. - 312 с.
5. Информационные ресурсы и технологии в экономике: Учебное пособие / Под ред. Романова А.Н.. - М.: Вузовский учебник, 2018. - 319 с.
6. *Tara M. Hill, Cassandra Pusateri, Erik Braun, Mueni Maweu.* Technological Innovations for the Human Service Profession // Journal of Human Services. - 2012. - № 32. - p. 21-31.
7. *Зайцева Л.А.* Использование информационных компьютерных технологий в учебном процессе и проблемы его методического обеспечения // Интернет- журнал «Эйдос». 2006.
8. Использование современных информационных и коммуникационных технологий в образовательном процессе: учебно-методический комплект для системы педагогического образования. - М.: АПК и ПРО, 2004.
9. *Косиненко Н.С.* Информационные системы и технологии в экономике: Учебное пособие / Н.С. Косиненко, И.Г. Фризен. - М.: Дашков и К, 2015. - 304 с.
10. *Михеева Е.В.* Информационные технологии в профессиональной деятельности: Учебное пособие / Е.В. Михеева. - М.: Academia, 2018. - 61 с.
11. *Величко В.В., Катунин Г.П., Шувалов В.П.* Основы инфокоммуникационных технологий : М; Горячая Линия – Телеком.,2018г.
12. *Сысоев П.В.* Информационные и коммуникационные технологии в лингвистическом образовании / П.В.Сысоев. - М.: КД Либроком, 2019. - 264 с.

УДК: 004.3

Клейн Никита Эдуардович, Тарасов Алексей Алексеевич

## **АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИНТЕНСИВНОСТИ СЕТЕВОГО ТРАФИКА С ЦЕЛЬЮ ОБНАРУЖЕНИЯ ШПИОНСКОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

*В настоящее время решение одной из важных проблем в обеспечении компьютерной безопасности является обнаружение шпионского программного обеспечения. В данной статье рассмотрены ключевые понятия, разобраны перехваты трафика, способы проникновения шпионское программное обеспечение, а также разновидности противодействия вредоносным ПО.*

*Анализатор трафика, информационная безопасность, сниффер, сетевой трафик, шпионская программа.*

Klein Nikita Eduardovich, Tarasov Alexey Alexeyevich

## **ANALYTICAL REVIEW OF NETWORK TRAFFIC INTENSITY IN ORDER TO DETECT SPYWARE**

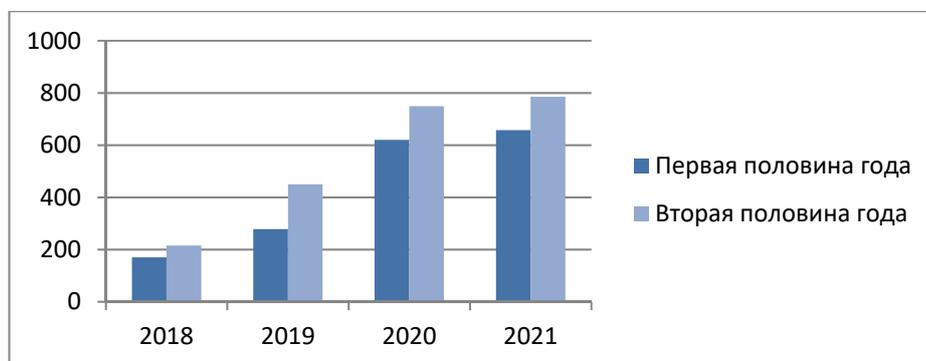
*Currently, the solution to one of the important problems in computer security is the detection of spyware. This article discusses the key concepts, analyzes traffic interception, methods of penetration of spyware, as well as varieties of countering malware.*

*Traffic analyzer, information security, sniffer, network traffic, spyware.*

**Введение.** Обнаружение шпионского программного обеспечения актуально, особенно в последние годы. В связи с пандемией, спрос на приобретение вычислительной техники значительно вырос, в связи с тем, что множество предприятий, коммерческих и некоммерческих фирм ушли на дистанционный формат, это повлекло за собой множество вариаций шпионского мошенничества.

Целью данной статьи является аналитический обзор интенсивности сетевого трафика с целью обнаружения шпионского программного обеспечения и способов борьбы с ними.

Анализатор трафика или сниффер – предназначен для анализа сетевого трафика виде программ и рассчитан для перехватывания и следующего анализа или лишь анализа сетевого трафика, нужных для других узлов [1]. На рис.1 представлен анализ количества инцидентов в 2018-2021годах.



*Рис. 1. Количество инцидентов в 2018-2021годах*

Перехват трафика может выполняться:

- обыкновенным прослушиванием сетевого интерфейса;
- присоединение сниффера в разрыв канала;
- отделением трафика и направление его муляжа на сниффер;
- посредством атаки на канальном или сетевом уровне, влекущем к переадресовки трафика или целиком сегмента на сниффер с дальнейшим возвратом в соответствующий адрес[2].

Снифферы используются как в полезных, так и в разрушительных намерениях. Исследование прошедшего сквозь сниффер трафика дает возможность [3]:

- выследить вредоносный или вирусный трафик, наличие которого может и повышает загрузку сетевого оборудования и каналов связи (в данном случае снифферы малоэффективны, так как в большинстве случаев, для такого рода задач требуется сбор статистики выполняется сетевым оборудованием и серверами);

- показать в сети враждебное и запрещенное ПО, например, сетевые сканеры, флудеры, троянские программы, клиенты различных сетей (чаще всего создают с использованием конкретных снифферов-мониторов сетевой активности);

- приостановить последующий незашифрованный (иногда и зашифрованный) пользовательский трафик для получения защитной личной информации;

- сократить ущерб сети или ошибку конфигурации сетевых агентов (для данной цели системные администраторы используют снифферы) [4].

Определением «шпионское программное обеспечение» общепринято упоминать программы, способные отслеживать процессы пользователя на ПК, производят сбор информации, которая хранится на компьютере или данные на которые владелец не давал своего согласия, например, конфиденциальные. Программы, которые действительно могут запомнить какие пользователь посещает Web-страницы, точное время визита, которые могут зарегистрировать все нажатия, которые были сделаны на клавиатуре и даже выполнить перечень программного обеспечения, установленного на ПК пользователем, такие программы называются «шпионами» [5].

В особенности опасными называют программы, которые могут саморазмножаться, например, по электронной почте, их установка происходит без согласия пользователя, зачастую происходит проникновение из-за ошибок в программном обеспечении. Большой опасностью является, ПО, которое может перехватить сообщение с электронной почты, а также соби-

рает и передает в интернет личную информацию пользователя без его согласия, меняя существующие характеристики защиты пользователя, в результате чего ПК становится без защиты и уязвим для новых атак [6]. В зависимости от вида шпионского ПО ряд программ могут предупредить владельца о запуске того или иного приложения на ПК. Другие в свою очередь могут сделать так называемые дыры для доступа в систему или настроить модем на передачу звонков, которые в свою очередь платные, и платить за которые будет непосредственно пользователь пораженного ПК. К шпионскому ПО также относят программы, которые производят обмен файлами, которые могут по сети извлечь с компьютера файлы, о данной процедуре пользователь ПК знать не будет. Наиболее опасным свойством программ-шпионов, это умение передать информацию, которую информацию на ПК своему разработчику [7].

Вредоносное ПО (также знакомое как вредоносная программа) - это любой участок программы, написанный с намерением навредить устройствам и данным [8].

С приходом механического обучения и целевых фишинговых посланий атаки вредоносного ПО стали куда более изощренными и трудоемкими к распознаванию. Потому обязательно нужно различать все категории вредоносных программ, которые могут воздействовать на ваши собственные или рабочие данные. В табл. 1 перечислены одни из популярных категорий шпионских программ, как-либо применяемых против корпоративных и государственных сайтов для получения секретной информации и нарушения их работы. Все они действуют определенным способом и имеют уникальные характеристики [9].

Таблица 1

Разновидности шпионских ПО

Название шпионского ПО	Класс	Описание	Уровень опасности
Conficker	Черви	Червь может распространяться или самовоспроизводиться с одного устройства на другое без вмешательства человека. Этому типу вредоносного ПО даже не нужно прикрепляться к какому-либо приложению, чтобы нанести ущерб.	Агрессивный
Wirenet	Троян	Троян стремится обмануть пользователя и заставить его загрузить и выполнить вредоносную программу на своем устройстве. По-	Агрессивный

		сле установки она может нарушить работу, украсть или нанести другой вред данным и сети пользователя.	
Maze	Шифровальщик	Тип вредоносных программ, которые блокируют доступ пользователей к компьютерным системам и шифруют файлы, предоставляя злоумышленникам контроль над любой персональной информацией, хранящейся на устройствах жертв.	Агрессивный
DarkHotel	Шпионы	Шпионские программы устанавливаются на ваше устройство и начинают скрытно отслеживать ваше поведение в Интернете без вашего разрешения.	Агрессивный

Далее продемонстрированы методы борьбы со шпионскими программами, а вдобавок наиболее детально показаны на рис. 1:

- в борьбе с червём и избавлением от него устройств подверженных атаке участвовали такие компании, как Microsoft, Symantec, Dr.Web, ESET, KasperskyLab, PandaSecurity, F-Secure, AOL и другие. Тем более, угроза имеется и на сегодняшний день. Также всем пользователям требуется понимать, что если компьютер уже заражен червём — обыкновенное обновление системы ничего не поможет, а всего лишь закроет дыру в системе, сквозь которую он проник. Вот поэтому для избавления от червя надо использовать специальные программы последних версий;

- нахождение и избавление от трояна вероятно с помощью использования популярных утилит;

- для выведения шифровальщика есть много специализированного ПО, которое предоставит защиту от вредоносной программы, таких как вымогатель MAZE. Одно из известных утилит для борьбы с Maze является UnHackMe от GreatisSoftwar.

- шпион вероятно будет ликвидирован при помощи общедоступных программ, например Kaspersky [10].



Рис. 1. Способы борьбы с вредоносными программами

**Вывод.** Таким образом, подводя итог статьи, можно сказать о том, что вопросы безопасности являются актуальными и в настоящее время каждому пользователю необходимо соблюдать рекомендации по безопасности в сети Интернет, чтобы обезопасить личные данные от злоумышленников.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бабаш А.В.* Информационная безопасность. Лабораторный практикум: Учебное пособие / А.В. Бабаш, Е.К. Баранова, Ю.Н. Мельников. — М.: КноРус, 2015. — 136 с.
2. *Громов Ю.Ю.* Информационная безопасность и защита информации: Учебное пособие / Ю.Ю. Громов, В.О. Драчев, О.Г. Иванова. — Ст. Оскол: ТНТ, 2016. — 384 с.
3. *Лысенко А. В., Кожевникова И. С., Ананьин Е. В., Никишова А. В.* Анализ методов обнаружения вредоносных программ // Молодой Ученый. — 2016. — № 21. — С. 758–761.
4. *Запечников С.В.* Информационная безопасность открытых систем. В 2-х т. Т.2 — Средства защиты в сетях / С.В. Запечников, Н.Г. Милославская, А.И. Толстой, Д.В. Ушаков. — М.: ГЛТ, 2008. — 558 с.
5. *Семененко В.А.* Информационная безопасность: Учебное пособие / В.А. Семененко. — М.: МГИУ, 2010. — 277 с.
6. *Девянин П.Н.* Анализ безопасности управления доступом и информационными потоками в компьютерных системах / П.Н. Девянин. - М. 176с.

7. *Чипига А.Ф.* Информационная безопасность автоматизированных систем / А.Ф. Чипига. — М.: Гелиос АРВ, 2010. — 336 с.
8. *Петров С.В.* Информационная безопасность: Учебное пособие / С.В. Петров, И.П. Слинькова, В.В. Гафнер. — М.: АРТА, 2012. — 296 с.
9. *Малюк А.А.* Информационная безопасность: концептуальные и методологические основы защиты информации / А.А. Малюк. — М.: ГЛТ, 2004. — 280 с.
10. Вредоносное ПО вирусы и другие угрозы в Интернете -- Часто задаваемые вопросы URL: <https://www.kaspersky.ru/resource-center/preemptive-safety/faq> (дата обращения: 15.05.2022).

**Клейн Никита Эдуардович**, студент Донского Государственного Технического Университета, Россия, город Ростов-на-Дону, площадь Гагарина 1, телефон: +7 (905)-457-21-91, email: kleyn1223@gmail.com

**Тарасов Алексей Алексеевич**, студент Донского Государственного Технического Университета, Россия, город Ростов-на-Дону, площадь Гагарина 1, телефон: +7 (905)-471-00-43, email: tarasov.lexa2017@yandex.ru

**Klein Nikita Eduardovich**, student of the Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, Gagarin Square 1, phone: +7 (905)-457-21-91, email: kleyn1223@gmail.com

**Tarasov Alexey Alexeyevich**, student of the Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, Gagarin Square 1, phone: +7 (905)-471-00-43, email: tarasov.lexa2017@yandex.ru

Зарайченков Марк Максимович

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 5G ИНТЕРНЕТА**

*В данной работе рассматривается развитие мобильной связи 5G, ее преимущества и недостатки.*

*Мобильная связь, интернет, 5G, развитие.*

Zaraichenkov Mark Maksimovich

## PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF 5G INTERNET

*This paper examines the development of 5G mobile communications, its advantages and disadvantages.*

*Mobile communication, Internet, 5G, development.*

5G не просто новый стандарт мобильной связи, внедрение сетей 5-го поколения в долгосрочной перспективе преобразует наше восприятие мира и приведет к социальной трансформации общества. При этом изменится экономика сетей: средняя скорость передачи увеличится в 40 раз, а себестоимость доставки напротив уменьшится в 30 раз. Уже к 2024 году, по мнению аналитиков, до 30% мобильного трафика будет идти через устройства с поддержкой 5G. На технологию 5G к 2025 году будет приходиться 15% всего мирового сектора мобильной телефонии.

Сети 5G будут находиться в центре новых интеллектуальных экосистем, которые принесут пользу всем: общество будет использовать технологии для решения самых больших мировых проблем; потребители будут наслаждаться захватывающим контекстуальным опытом; а предприятия смогут воплотить в жизнь Четвертую промышленную революцию. Сети 5G обеспечат четкое скачкообразное изменение возможностей и функциональности сетей по сравнению с 4G. 5G предлагает в 10–100 раз более высокую скорость передачи данных и задержки до 10 раз меньше, чем в сетях 4G. Эти возможности позволят целому ряду других технологий быть реализованными в новых сценариях, обеспечивая новые варианты применения. Улучшенная производительность сетей 5G будет обеспечиваться за счет более продвинутой опорной сети, использования более эффективных радиотехнологий (таких как massive MIMO), доступа к большей полосе спектра и уплотнения сети.[1]

Благодаря низкой задержке станут возможны по-настоящему автономные автомобили и общественный транспорт. Только представьте: в автобусе сотни датчиков, камеры, лидары, и всё это хозяйство можно напрямую подключить к сети, чтобы управлять автобусом дистанционно. Тут пригодится и ёмкость, и низкие задержки 5G. Теперь таким транспортом можно удалённо управлять из какого-то единого городского центра управления, и город получит идеально работающий общественный транспорт.

Снижение задержек очень важно в телемедицине. С повсеместным внедрением 5G операции на расстоянии будут доступнее, появится возможность проводить их даже в небольших городах.

Сети 5G в тестовом режиме запускаются во многих странах, и Россия — не исключение. Первые испытания 5G были проведены в 2016-2017 годах. Компания «Мегафон» совместно с Nokia и Huawei тестировала оборудование для организации мобильных сетей 5G. При этом была достигнута скорость около 5 Гбит/с.

Российский рынок оборудования в плане смартфонов и стационарных терминалов полностью гармонизирован с Европой для предыдущих мобильных поколений (2G, 3G и 4G). Ожидается, что в 5G смартфоны будут соответствовать определенным ключевым спецификациям LTE:

- поддержка полос частот LTE 1/3/7/20;
- агрегирование несущих LTE, включающее в себя две, три или четыре компоненты;
- работа сети LTE должна быть спланирована оптимальным образом в каждом диапазоне, поддерживаемом устройством;
- передача голосовых звонков по каналам LTE (VoLTE) и Wi-Fi (VoWiFi) – важные дополнительные функции, которые, как ожидается, будут поддерживать устройства 5G. Растущее число полос радиочастот, разрешенных для эксплуатации 5G, означает, что, в отличие от ситуации с 4G, будет мало (если вообще будет) действительно глобально работающих устройств. Вряд ли окажется экономически эффективным проектировать и производить телефоны, которые могут поддерживать все диапазоны, используемые во всем мире. В результате там, где устройства поставляются от вендоров, в основном обслуживающих неевропейский рынок, могут отсутствовать часть функций, приведенных выше. Например, ряд китайских смартфонов не поддерживают полосу LTE 20 (800 МГц), которая является распространенной полосой 4G в Европе и выделена в России.[2]

С полноценным распространением 5G развитие тонких клиентов получит толчок. С 5G смартфону больше не потребуется супермощный процессор, много оперативки и много пространства на диске. Всё, что вам будет нужно в «смартфоне будущего», - сенсорный экран, батарея и 5G-модем. Браузер станет операционной системой. Такие смартфоны будут значительно компактнее, тоньше, легче и при этом смогут жить дольше. Все вычисления будут производиться удалённо на супермощных серверах, но это будет не заметно, так как их результаты будут отображаться на дис-

плее мгновенно. Все данные также будут храниться в облаке, но доступ к ним будет настолько быстрым, что не почувствуется разницы. Будет возможность запускать очень ресурсоёмкие игры и приложения. А ещё смартфон можно будет обновлять значительно реже, вопрос медленного железа отпадает сам собой.

Тем не менее, есть перспективы в развитии, хотя вокруг мобильной связи 5G много противоречивых заявлений. Производители молчат о вреде 5G-сетей. Частота, на которой работает сеть, близка к рабочей частоте микроволновой печи (22,24 ГГц). Не очень то хочется делать из окружающей среды одну большую микроволновку, даже с высокоскоростным интернетом и кучей умных гаджетов упрощающих жизнь. Оно того не стоит особенно, если будет доказано влияние 5G на бесплодие.

В ходе проведённых опытов было установлено, что новые технологии мобильной связи способны разрушить внутреннюю систему координации животных в пространстве. Чем это грозит? Попробуйте себе представить, что будет со всеми мигрирующими животными, которые мгновенно потеряют данную им природой способность ориентироваться в пространстве? Это то же самое, что подложить магнит под компас корабля, — гибель экипажа неминуема. Также было установлено, что электромагнитное излучение нарушает обмен веществ в растениях, а это значит, что весь растительный мир будет под угрозой. Первые жертвы сети 5-G уже появились в Голландии: после запуска вышки там в радиусе 400 метров вымерли несколько сотен скворцов. Также странный эффект запуск вышек произвёл на коров: в районе, где проводилось тестовое использование вышек, коровы на фермах начинали впадать в сильное беспокойство, и вышки пришлось отключить. Швейцарская организация ProNature установила, что излучение 5-G-вышек повышает температуру тела насекомых. Стоит отметить, что частота, которая соответствует диапазону связи 4-G, уже сейчас используется для защиты зерна от вредителей, проще говоря, убивает их. А частота 5-G является ещё более губительной.

Говорить, что сети 5G приобрели свой зрелый, финальный вид, еще рано. Нам предстоит дождаться 16го релиза, который по замыслу консорциума закроет 2ю фазу спецификаций и определит начало массового внедрения опорных сетей 5го поколения. Однако это не мешает уже сегодня начинать работы по изучению новой технологии, что заложит фундамент для будущих проектов, ведь сети радиодоступа 5G-NR в общем доступе уже имеются, хоть и в ограниченном виде. Надо понимать, сети 5G рано

или поздно станут нашей повседневностью и переход от NSA режима в SA будет гладким и незаметным, а наработки, сделанные сегодня, не пропадут зря.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Батуев Б.Б.* Применение энергосберегающих режимов PSM и eDRX в сети NB-IoT. // Беспроводные Технологии. 2017. №2.
2. *Файзулаева О.Н., Пастушенко Н.С.* Экспериментальные исследования амплитудного и фазового спектров речевого сигнала пользователя систем голосовой аутентификации. // Электронное научное специализированное издание «Проблемы телекоммуникаций». – 2016 – № 2 (19). – С. 28–34
3. *Сорокин В.Н., Вьюгин В.В., Тананыкин А.А.* Распознавание личности по голосу: аналитический обзор // Информационные процессы. – 2012. – Т. 12, № 1. – С. 1–30.
4. *Иванченко С., Махмудов Ф., Корниенко В.Т.* Алгоритм распознавания речевых сигналов в условиях искажений // Проблемы современной системотехники – сборник научных статей. – Таганрог, 2017 – С.210–212.
5. *Суржик В.В.* Методы структурно-параметрического синтеза математических моделей экранопланов // Иркутск – 2010. – С. 10.
6. *Бойченко М.П., Попов К.С.* Экстремальный автомат наведения антенн. // 12thInt. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology”. — SU., 2002. — С.257–258.
7. *Тихвинский В.О.* 5G WORLD SUMMIT - 2014: Курс прежний - От 4G К 5G. T-Comm // Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. № 7. С. 95-96.
8. *Тихвинский В.О.* ИННОВАЦИИ: 5G WORLD SUMMIT: "Достойная старость" 2G на фоне бурного роста 5G. // Валерий Тихвинский ОБ ИТО-ГАХ 5G WORLD SUMMIT. Электросвязь. 2015. № 10. С. 18-21.
9. *Олейникова А.В., Нуртай М.Д., Шманов Н.М.* Перспективы развития связи 5G. // Современные материалы, техника и технологии. 2015. № 2. С. 233-235.
10. *Мельник С.В.* 5G - Работа над ошибками предыдущих поколений. // Вестник связи. 2014. № 7. С. 29-30.
11. *Вайтакр Я.* Потребность в 5g. Проблемы разработки и тестирования. // Вестник связи. 2014. № 8. С. 4-6.
12. *Ганьжа Д.* 4G пишем, 5G в уме. // Журнал сетевых решений LAN. 2014. № 4. С. 1-3.

УДК 004.716

Жилин Сергей Викторович, Архипенко Владимир Владимирович,  
Басан Елена Сергеевна

## **КВАНТОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КЛЮЧЕЙ ПО БЕСПРОВОДНОМУ ОПТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ СВЯЗИ**

*В настоящее время для передачи критически важной информации требуется высокий уровень безопасности. Системы квантового распределения ключей (QKD) считаются лучшим вариантом для защиты такой информации. Многие исследования показали эффективность QKD по оптическому волокну на основе M позиционной импульсной модуляции (MPPM). Беспроводные оптические линии связи (FSO) дают эффективную и производительную систему передачи данных. Однако влияние расхождения луча, смещения и затухания, может позволить внешнему подслушивающему устройству нарушить передачу при определенных условиях. Нами представлена система FSO на основе MPPM и протокола BB84 по каналу Гама-Гама (GG) с ошибками наведения. Для повышения безопасности системы и снижения квантовой частоты битовых ошибок (QBER) с помощью MPPM реализовано временное бинарирование. Безопасность системы исследуется в условиях атаки с расщеплением числа фотонов. Производительность системы оценивается в показателях RKR и SKR. Меньшие длины символов более устойчивы к потерям в детекторе, а с ухудшением погодных условий большее количество бинов даёт более высокий SKR.*

*Квантовое распределение ключей (QKD), беспроводная оптическая связь (FSO), M позиционно импульсная модуляция (MPPM), протокол BB84.*

Zhilin Sergey Viktorovich, Archipenko Vladimir Vladimirovich,  
Basan Elena Sergeevna

## **QUANTUM DISTRIBUTION OF KEYS OVER A FREE SPACE OPTICAL COMMUNICATION CHANNEL**

*Nowadays a high level of security is required for critical information transmission. Quantum Key Distribution (QKD) systems are considered the best option for protecting such information. Many studies have shown the effectiveness of QKD over optical fiber based on M position pulse modulation (MPPM). Free space optical (FSO) provide an efficient and productive data transmission system. However, the effects of beam divergence, offset and attenuation, can allow an external eavesdropper to disrupt the transmission under certain conditions. We present an MPPM-based FSO*

*system and BB84 protocol over a Gamma-Gamma (GG) channel with homing errors. To improve system security and reduce the quantum bit error rate (QBER), temporal binning is implemented using MPPM. The system security is investigated under photon number splitting attack conditions. System performance is evaluated in terms of RKR and SKR. Smaller symbol lengths are more robust to detector losses, and as weathering deteriorates, more bins give a higher SKR.*

*Quantum key distribution (QKD), free space optical (FSO), M position-pulse modulation (MPPM), BB84 protocol.*

**Введение.** Растущий спрос на системы связи с высокой скоростью передачи данных и безопасностью способствует интеграции беспроводных оптических систем (FSO) и протоколов квантового распределения ключей (QKD). В отличие от обычных криптографических протоколов, где безопасность основана на теоретических предположениях о вычислительной сложности, безопасность протоколов QKD опирается на квантовую механику физических законов, которые позволяют обеспечить безусловную безопасность. Производительность системы оценивается – скоростью передачи исходного ключа (RKR) и скоростью передачи секретного ключа (SKR) [1]. В большинстве исследований рассматривается передача сигнала по оптическому волокну, а не FSO [2] [3] [4].

**Протокол BB84** – передача квантового состояния одиночных фотонов. В этом протоколе Алиса готовит квантовые биты (кубиты), кодируя одиночные фотоны в одно из 4-х ортогональных состояний. Алиса случайным образом выбирает один из двух сопряженных базисов для передачи классических битовых значений. Затем она передает закодированный кубит по квантовому каналу Бобу. На другой стороне Боб измеряет фотон, используя случайно выбранный базис. Если Боб измерит кубиты в том же базисе, который использовала Алиса, он получит правильный закодированный бит. Иначе, обеспечивается коэффициент квантовой битовой ошибки (QBER). Этот QBER необходимо ввести для такой системы, чтобы определить подслушивающее устройство. В то время как, когда злоумышленник пытается прочитать кубиты по квантовому каналу, и поскольку оно не знает основы кодирования, и попытается угадать и повторно отправить (атака перехвата и повторной отправки), значение QBER увеличится. Поэтому Алиса и Боб смогут узнать, что Ева атакует квантовый канал, после чего они прервут соединение [5]. Совершенный протокол BB84 (использует

только один фотон) защищен от атак с расщеплением числа фотонов (PNS), что гарантируется теоремой об отсутствии клонирования.

**Распределение ключей с помощью схемы MPPM** – один кадр имеет  $M$  временных слотов, занятый слот представляет собой  $\log_2 M$  бит, а импульс занимает только один слот [6] [7]. Сам временной слот делится на множество подслотов, называемых бинами, чтобы уменьшить вероятность успеха атаки со стороны Евы [8]. Это требует уменьшения ширины импульса, чтобы вместить время бина  $\tau$ , а не время слота  $T$ . Такое уменьшение ширины импульса по сравнению с традиционным кадром приводит к увеличению мощности импульса, что позволяет увеличить дальность связи. Для связи между Алисой и Бобом используется номер кадра. Импульс (фотон), обнаруженный в слоте определенного кадра, используется для генерации необработанного ключа длиной  $\log_2 M$  бит, при условии, что он имеет одинаковый номер бина у Алисы и Боба. Концепция временных бинов представлена на рис. 1, где предполагается, что импульс сжимается на 25%. Необработанные ключи генерируются по номерам слотов принятых бинов в выбранных кадрах [8] [9]. Такое динамическое распределение бинов и увеличение энергии импульса в единицу времени уменьшают квантовый коэффициент битовых ошибок (QBER).

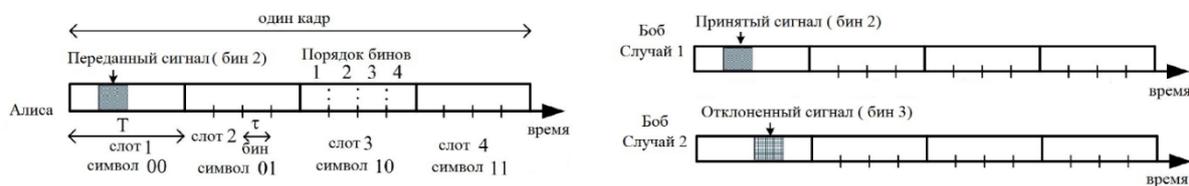


Рис. 1. Концепция временных бинов. Кадр длиной  $M=4$  слота

**Модель FSO системы с BB84-MPPM:** передатчик, приемник и канал. **Передатчик** – поток битов данных, преобразуется в символы MPPM. Каждый символ содержит только один импульс, расположенный в различных временных слотах внутри символа длиной  $M$ . Слоты разделены на бины, в то время как импульс сжимается внутри временного бина, а не временного слота. Сжатый импульс направляется псевдослучайным образом на один из четырех выходов демультиплексора. Драйвер удовлетворяет условию неотрицательности сигнала. Аттенюатор в каждом тракте настраивается для ослабления мощности оптического сигнала таким образом, чтобы среднее число фотонов, испускаемых за импульс, было меньше 0,5. Фотон в предварительно выбранном тракте поляризован в одном из двух неортогональных оснований, где полуволновая пластина будет смещать направление линей-

но поляризованных фотонов на  $45^\circ$ . Передатчик используется для регулировки апертуры луча и угла расходимости.

**Приёмник** – сигнал будет разделен неполяризирующим делителем луча (NPBS) на определенный коэффициент без изменения состояния поляризации. Поляризация принятого фотона измеряется с помощью поляризационного делителя луча (PBS). Оптический сигнал усиливается с помощью фотоумножителя (PMT) с коэффициентом усиления от  $10^6$  до  $10^7$  и преобразуется в электрический сигнал через лавинный фотодетектор (APD). Затем он передается на декомпрессию импульсов мультиплексором. Выход демодулятора MPPM используется для формирования исходного ключа.

**Канал** – влияние на распространение одиночных фотонов оценивается с помощью модели бозонического канала и Gamma-Gamma канала. В квантовой коммуникации одним из наиболее практичных каналов является бозонический канал с потерями. Он состоит из набора бозонных мод, которые теряют энергию при распространении от передатчика к приемнику. Бозонический канал имеет один параметр ( $0 < \eta_b \leq 1$ ), известный как коэффициент пропускания канала, который представляет собой процент фотонов, попадающих в приемник через канал. Если на входе канала находится когерентное состояние  $|\mu\rangle$ , то когерентное состояние на выходе –  $|\eta_b\mu\rangle$ . Таким образом, бозонический канал сохраняет пуассоновскую статистику количества фотонов [10] [11]. В FSO-связи распределение Gamma-Gamma (GG) широко используется для моделирования влияния атмосферного затухания и ошибок наведения [12].

**Производительность системы BB84-MPPM** – оценивается в канале GG с учетом ухудшающего влияния атмосферной турбулентности и рассогласования, в отношении RKR и SKR. На рис. 2 показаны необработанные и секретные ключи – скорости протокола MPPM-BB84 относительно среднего числа фотонов за импульс  $\mu$ , при умеренной турбулентности и очень легкой туманной атмосфере. Из рисунка видно, что оптимальные значения  $\mu$ , удовлетворяющие максимальным RKR и SKR, для  $M = 4, 8, \text{ и } 16$  составляют 0,29; 0,15; и 0,07, соответственно. Более того, скорость передачи необработанных и секретных ключей уменьшается с увеличением длины символов при оптимальном значении  $\mu$ . Это наглядно демонстрирует, что уровень безопасности системы определяется разницей между значениями RKR и SKR. Эта разница увеличивает сложность атаки PNS и, следовательно, безопасность системы повышается. Порядок модуляции  $M = 16$  га-

рантирует (максимизирует) безопасность системы за счет более низкого значения SKR.

Влияние количества бинов на SKR, показано на рис. 3. Когда погода туманная, большее количество бинов даёт высокий SKR. В плохих погодных условиях четыре временных бина дают почти такой же SKR, как и в условиях очень легкого тумана при использовании только одного временного бина. Следовательно, система может обеспечить надежную работу в плохую погоду.

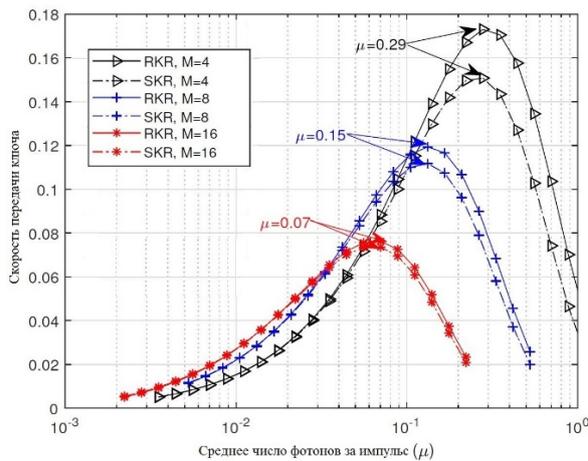


Рис. 2. Скорость исходного ключа и скорость секретного ключа в зависимости от  $\mu$  при различных  $M$ ,  $L = 1$  км, при умеренной турбулентности.

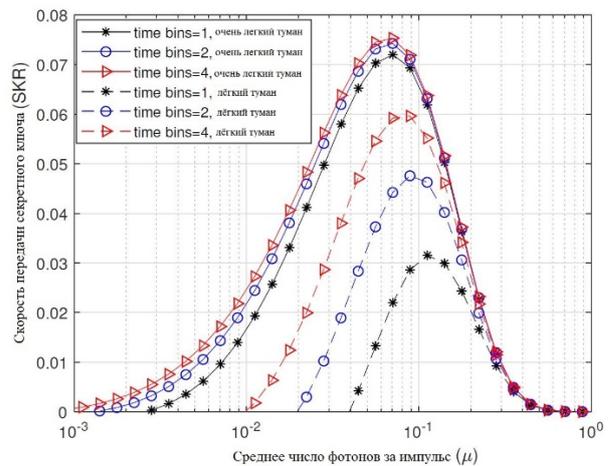


Рис. 3. Скорость передачи секретного ключа в зависимости от  $\mu$  при различном количестве временных бинов и различных погодных условиях при  $M = 16$  и  $L = 1$  км.

**Заключение.** Были рассмотрены преимущества интеграции систем FSO и протокола MPPM-QKD для обеспечения высокой скорости передачи данных и безопасности систем. Предложена разработка и анализ системы MPPM-BB84 FSO с использованием источника фотонов Пуассона. Предполагается Gamma-Gamma распределение, и рассматриваются комбинированные эффекты атмосферного затухания, атмосферной турбулентности и рассогласования. Производительность системы оценивается в терминах RKR и SKR. Согласно принятым параметрам, установлено, что когда среднее число фотонов  $\mu > 0,1$ , то символ длиной  $M = 4$  будет давать максимальный SKR. Кроме того, для каждой длины символа  $M$  существует соответствующее оптимальное значение для  $\mu$ , которое удовлетворяет наибольшему SKR. При этом VOA на передатчике может быть отрегулирована таким образом, чтобы удовлетворить оптимальному значению  $\mu$

для рабочей длины символа. Деградации производительности системы из-за изменений погодных условий можно избежать, эксплуатируя систему при оптимальном значении  $\mu$  для каждого  $M$ .

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Zhang Y. and Djordjevic I. B.* Generalized ppm-based bb84 qkd protocol // 16th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), 2014, pp. 1–4.
2. *Nazarathy M.* Quantum key distribution over a fiber-optic channel by means of pulse position modulation // *Optics letters*, vol. 30, no. 12, pp. 1533–1535, 2005.
3. *Chen G., Wang L., Li W., Mao Q., Shen Z., Zhao S., and Gruska J.* Multiple pulses phase-matching quantum key distribution // arXiv preprint, pp. 1–13, 2019.
4. *Guerrini S., Chiani M., Win M. Z., and Conti A.* Quantum pulse position modulation with photon-added coherent states // 2019 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), 2019, pp. 1–5.
5. *Bennett C. H. and Brassard G.* An update on quantum cryptography // Workshop on the Theory and Application of Cryptographic Techniques. Springer, 1984, pp. 475–480.
6. *Ghassemlooy Z., Popoola W., and Rajbhandari S.* Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab // CRC press, 2019.
7. *Proakis J. G. and Salehi M.* Digital communications // McGraw-hill New York, 2001, vol. 4.
8. *Liu X., Yao X., Wang H., Li H., Wang Z., You L., Huang Y., and Zhang W.* Energy-time entanglement-based dispersive optics quantum key distribution over optical fibers of 20 km // *Applied Physics Letters*, vol. 114, no. 14, pp. 141104–141109, 2019.
9. *Ali-Khan I., Broadbent C. J., and Howell J. C.* Large-alphabet quantum key distribution using energy-time entangled bipartite states // *Physical review letters*, vol. 98, no. 6, pp. 1–4, 2007.
10. *Kochman Y. and Wornell G. W.* On high-efficiency optical communication and key distribution // 2012 Information Theory and Applications Workshop, 2012, pp. 172–179.
11. *Wilde M. M.* Quantum information theory // Cambridge University Press, 2013.

12. *Sandalidis H. G., Tsiftsis T. A., and Karagiannidis G. K. Optical wireless communications with heterodyne detection over turbulence channels with pointing errors // Journal of lightwave technology, vol. 27, no. 20, pp. 4440–4445, 2009.*

**Жилин Сергей Викторович** – магистрант, кафедра вычислительной техники Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; 347928; e-mail: [szhilin@sfedu.ru](mailto:szhilin@sfedu.ru).

**Архипенко Владимир Владимирович** – магистрант, кафедра вычислительной техники Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; 347928; e-mail: [arkhipenko@sfedu.ru](mailto:arkhipenko@sfedu.ru).

**Басан Елена Сергеевна** – кандидат технических наук, доцент, кафедра безопасности информационных технологий Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; 347928; e-mail: [ebasan@sfedu.ru](mailto:ebasan@sfedu.ru).

**Zhilin Sergey Viktorovich** – master's student, the department of computer engineering Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Education “Southern Federal University”; 347928, Russia, Taganrog, 44, Nekrasovskiy; e-mail: [szhilin@sfedu.ru](mailto:szhilin@sfedu.ru).

**Arkhipenko Vladimir Vladimirovich** – master's student, the department of computer engineering Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Education “Southern Federal University”; 347928, Russia, Taganrog, 44, Nekrasovskiy; e-mail: [arkhipenko@sfedu.ru](mailto:arkhipenko@sfedu.ru).

**Basan Elena Sergeevna** – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor, the department of information technology security Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Education “Southern Federal University”; 347928, Russia, Taganrog, 44, Nekrasovskiy; e-mail: [ebasan@sfedu.ru](mailto:ebasan@sfedu.ru).

УДК 621.373+681.518

Пилипенко Александр Михайлович, Бондаренко Иван Владимирович

## **ПОВЫШЕНИЕ ПОРЯДКА СИСТЕМЫ ФАПЧ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИНТЕЗАТОРОВ ЧАСТОТ**

*Рассмотрены возможности проектирования синтезаторов частот с помощью программной среды ADIsimPLL для диапазона 4,8 – 4,99 ГГц, планируемого для реализации сетей 5G в России. Исследованы возможности улучшения основных характеристик синтезаторов частот (быстродействия, ослабления паразитных составляющих спектра и уровня фазовых шумов) с помощью повышения порядка системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Проведен сравнительный анализ характеристик синтезаторов частот в зависимости от порядка и схемной реализации фильтра системы ФАПЧ. Предложены оптимальные по быстродействию, уровню паразитных составляющих спектра и фазовых шумов схемные решения системы ФАПЧ.*

*Синтезатор частот, фазовая автоподстройка частоты, сети 5G, проектирование.*

Pilipenko Alexandr Mikhailovich, Bondarenko Ivan Vladimirovich

## **INCREASING THE ORDER OF THE PLL SYSTEM TO IMPROVE THE CHARACTERISTICS OF FREQUENCY SYNTHESIZERS**

*The possibilities of designing frequency synthesizers using the ADIsimPLL software environment for the 4.8 – 4.99 GHz band planned for the implementation of 5G networks in Russia are considered. The possibilities of improving the main characteristics of frequency synthesizers (speed, attenuation of parasitic components of the spectrum and the level of phase noise) by increasing the order of the phase-locked frequency system (PLL) are investigated. A comparative analysis of the characteristics of frequency synthesizers is carried out depending on the order and circuit implementation of the PLL system filter. Optimal circuit solutions of the PLL system in terms of speed, the level of parasitic components of the spectrum and phase noise are proposed.*

*Frequency synthesizer, phase-locked loop, 5G networks, design.*

### **Введение**

В связи с продолжающимся в настоящее время в России развитием сетей связи пятого поколения (5G) актуальной является задача разработки

специализированного оборудования для реализации приемопередающих модулей базовых и мобильных станций данных сетей [1]. В соответствии со спецификациями 3GPP для радиointерфейса 5G New Radio можно использовать две полосы частот: FR1 в диапазоне от 600 МГц до 6 ГГц и FR2 – от 24 ГГц и выше. Для обеспечения связи в пределах города предназначена полоса FR1, в частности, в России в данной полосе наиболее перспективным для применения является диапазон 4,8 – 4,99 ГГц, считающийся приоритетным для внедрения сетей 5G и не занятый в настоящее время какими-либо сетями связи гражданского или военного назначения [2].

В настоящей работе рассматриваются возможности повышения качества (быстродействия, уровня паразитных составляющих спектра и фазовых шумов) синтезаторов частот диапазона 4,8 – 4,99 ГГц, выполненных на основе системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Вопросы проектирования синтезатора частот для данного диапазона были представлены в работе [3].

### Структурная схема синтезатора частот

Структурная схема синтезатора частот на основе ФАПЧ приведена на рис. 1. Синтезатор частот с ФАПЧ включает в себя следующие элементы: опорный генератор (ОГ), фазовый детектор (ФД), фильтр нижних частот (ФНЧ), генератор управляемый напряжением (ГУН), делитель частоты с фиксированным коэффициентом деления  $R$  (ДФКД), делитель частоты с переменным коэффициентом деления  $N$  (ДПКД) [4].

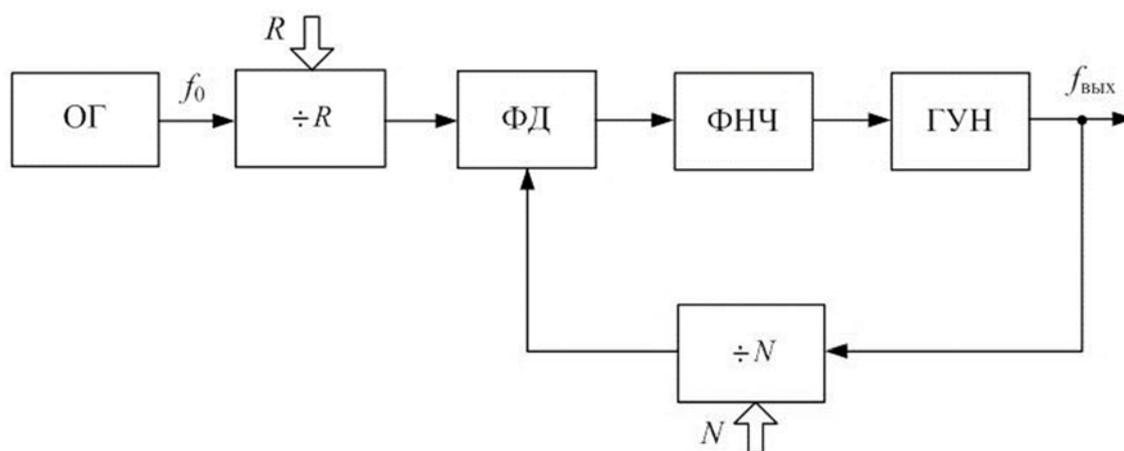


Рис. 1. Структурная схема синтезатора частот с ФАПЧ

Требуемая частота на выходе синтезатора устанавливается с помощью изменения коэффициента  $N$ :

$$f_{\text{ВЫХ}} = f_{\text{ГУН}} = \frac{N}{R} f_0, \quad (1)$$

где  $f_0$  – частота ОГ.

При использовании целочисленного ДПКД ( $N$  – целое число) шаг сетки частот  $\Delta f$  определяется следующим образом

$$\Delta f = f_{ref} = \frac{f_0}{R}, \quad (2)$$

где  $f_{ref}$  – частота сравнения.

Для выбора элементов синтезатора частот, определения их параметров и анализа характеристик системы ФАПЧ удобно использовать свободно распространяемый пакет проектирования ADIsimPLL [3]. Задавая максимальную и минимальную частоту выходного сигнала ГУН в соответствии с указанным выше рабочим диапазоном частот ( $f_{\text{ГУН max}} = 4,99$  ГГц и  $f_{\text{ГУН min}} = 4,80$  ГГц), а также устанавливая шаг сетки частот  $\Delta f = 1$  МГц, исходя их условия  $\Delta f \leq f_k$  ( $f_k = 5$  МГц – минимальная ширина канала в сети 5G) можно выбрать ГУН и основную микросхему синтезатора частот, включающую в себя ФД, ДФКД и ДПКД. Далее выбирается схема ФНЧ. Параметры элементов ФНЧ определяются программой ADIsimPLL автоматически из условия максимального быстродействия при заданной устойчивости (Fast Locking), в соответствии с которым

- частота среза (единичного усиления) разомкнутой системы ФАПЧ  $f_c = 0,1\Delta f$ ;

- запас устойчивости по фазе разомкнутой системы ФАПЧ на частоте среза  $\varphi_c = 45^\circ$ .

Следует отметить, что программа ADIsimPLL может автоматически определить параметры ФНЧ из заданных пользователем условий.

### **Схемы фильтров нижних частот**

Выбор схемы ФНЧ является достаточно ответственным этапом проектирования синтезатора частот, поскольку вид ФНЧ оказывает существенное влияние на основные характеристики синтезатора частот, такие как

$t_{\text{уст}}$  – быстродействие (время установления заданной частоты с требуемой точностью);

$L$  – ослабление паразитных составляющих спектра (ПСС);

$B$  – уровень фазовых шумов.

Программа ADIsimPLL дает возможность выбора схемы ФНЧ из более чем десяти вариантов, основные из которых показаны на рис. 2 и 3.

На рис. 2, *а, б, в* показаны схемы пассивных ФНЧ 2-го, 3-го и 4-го порядков (СРР2, СРР3 и СРР4 соответственно), на рис. 3, *а, б, в* – схемы

активных ФНЧ 2-го, 3-го и 4-го порядков (СРА2, СРА3 и СРА4 соответственно).

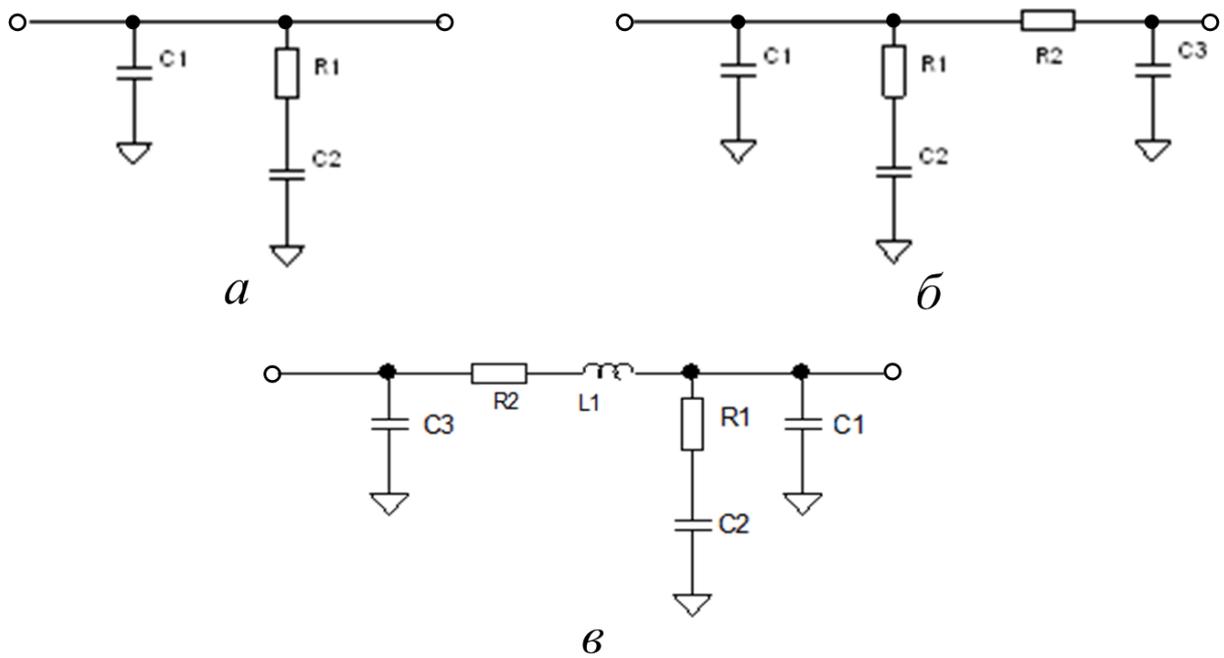


Рис. 2. Схемы пассивных ФНЧ для синтезаторов частот с ФАПЧ

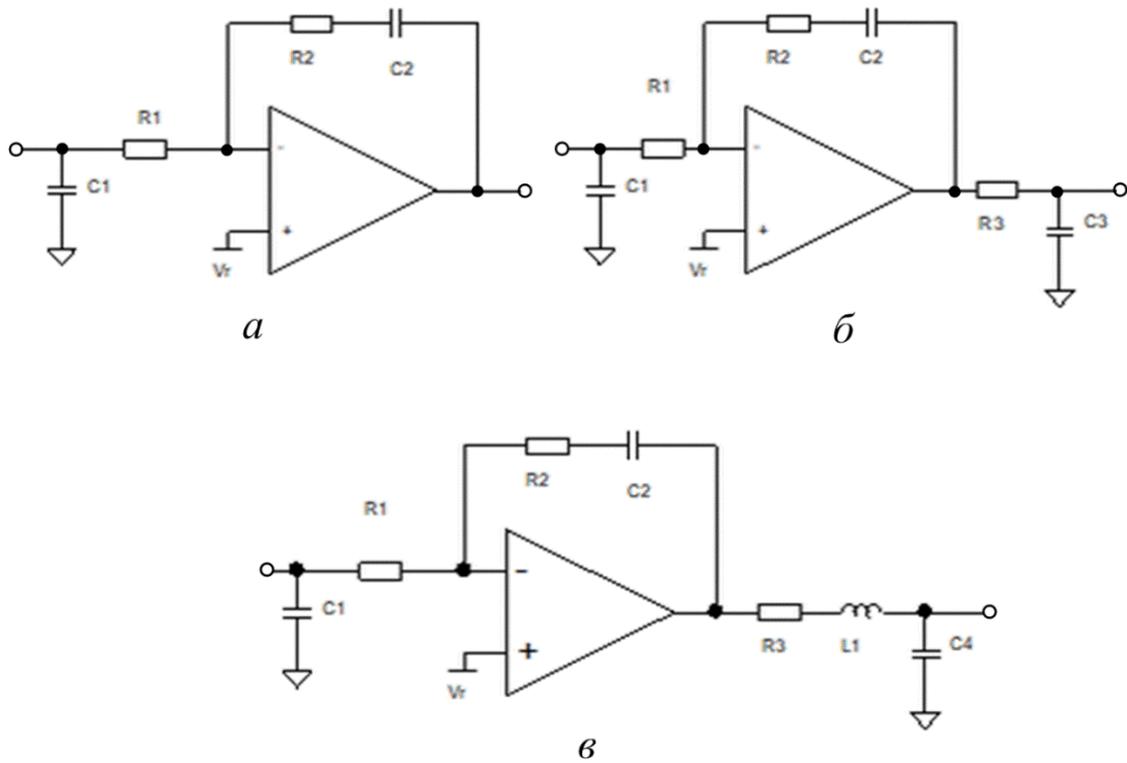


Рис. 3. Схемы активных ФНЧ для синтезаторов частот с ФАПЧ

Порядок системы ФАПЧ определяется порядком ФНЧ: при использовании ФНЧ 2-го порядка система ФАПЧ имеет 3-й порядок, при использовании ФНЧ 3-го порядка система ФАПЧ имеет 4-й порядок и т.д. Все рассматриваемые ФНЧ предназначены для применения совместно с частотно-фазовыми детектором с накачкой заряда (Charge Pump).

### Результаты моделирования синтезатора частот

В табл. 1 приведены основные характеристики синтезаторов частот при использовании ФНЧ различного порядка. Быстродействие оценивалось как время установления заданной частоты с относительной погрешностью не более  $10^{-7}$  (при этом абсолютное отклонение частоты в рассматриваемом диапазоне частот – не более 500 Гц). Ослабление ПСС и уровень фазовых шумов оценивались на частоте сравнения  $f_{ref} = 1$  МГц.

Таблица 1

Характеристики синтезаторов частот с различными типами ФНЧ

Тип ФНЧ	СРР2	СРР3	СРР4	СРА2	СРА3	СРА4
$t_{уст}$ , мкс	<b>28,1</b>	32,6	29,7	<b>28,1</b>	32,6	37,8
$L$ , дБ	32,4	34,2	31,4	32,4	34,2	<b>49,1</b>
$B$ , дБ/Гц	- 117,4	- 116,6	- 114,2	- 104,6	- 115,6	- <b>119,5</b>

Для иллюстрации полученных результатов на рис. 4, 5 и 6 показаны переходные процессы при установления заданной частоты, спектральные плотности мощности фазовый шумов (общие фазовые шумы синтезатора – Total и фазовые шумы отдельных элементов – Loop Filter (ФНЧ), Chip (основная микросхема), VCO (ГУН)), а также логарифмические амплитудно-частотные характеристики (ЛАЧХ) и фазочастотные характеристики (ФЧХ) синтезатора частот с ФНЧ типа СРР2, обеспечивающим максимальное быстродействие, и синтезатора частот с ФНЧ типа СРА4, обеспечивающим максимальное ослабление ПСС и минимальный уровень фазовых шумов.

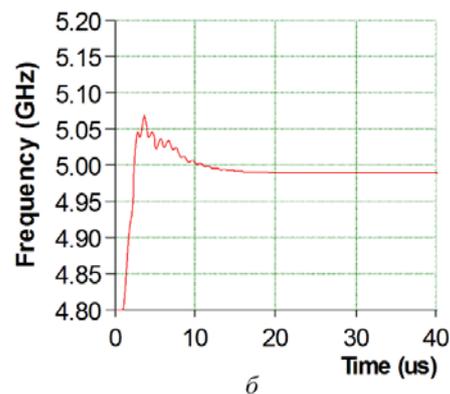
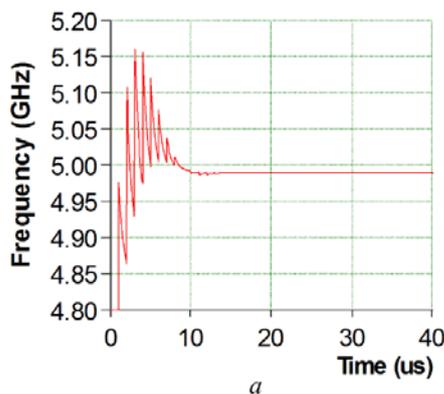


Рис. 4. Переходные процессы в синтезаторе частот с пассивным ФНЧ 2-го порядка (а) и активным ФНЧ 4-го порядка (б)

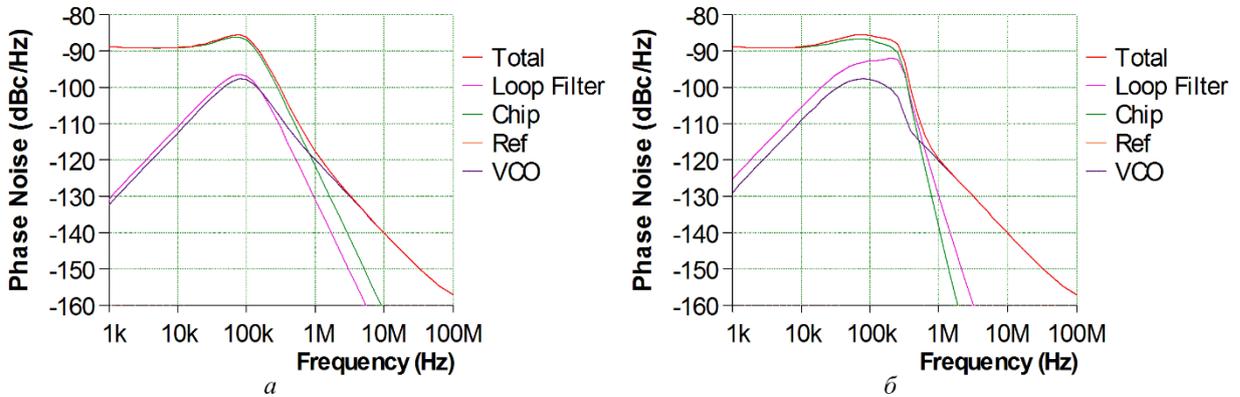


Рис. 5. Фазовые шумы в синтезаторе частот с пассивным ФНЧ 2-го порядка (а) и активным ФНЧ 4-го порядка (б)

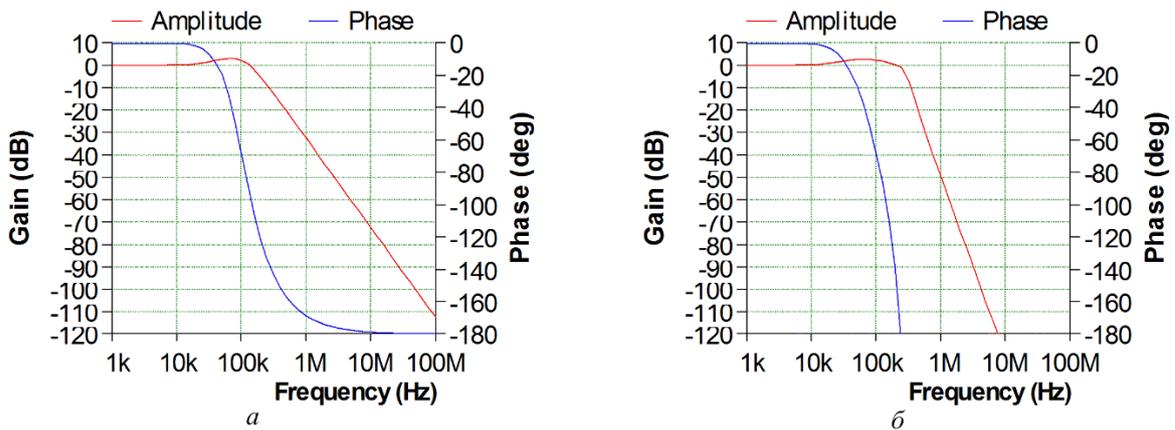


Рис. 6. Частотные характеристики синтезатора частот с пассивным ФНЧ 2-го порядка (а) и активным ФНЧ 4-го порядка (б)

## Выводы

В данной работе рассмотрены возможности улучшения характеристик синтезаторов частот с помощью повышения порядка системы ФАПЧ. Полученные результаты показывают, что максимальное быстродействие синтезатора обеспечивается при использовании в системе ФАПЧ наиболее простого пассивного ФНЧ второго порядка.

Применение ФНЧ третьего порядка (как пассивного, так и активного) позволяет незначительно увеличить ослабление паразитных составляющих спектра (примерно на 2 дБ) по сравнению с ФНЧ второго порядка, но при этом возрастает длительность переходных процессов (более чем на 4 мкс) и уровень фазовых шумов (на 1 – 2 дБ).

Применение пассивного ФНЧ четвертого порядка не позволяют улучшить ни одну из характеристик относительно ФНЧ второго порядка. Активный ФНЧ четвертого порядка с индуктивным элементом в выходном каскаде обеспечивает существенное увеличение ослабления паразитных составляющих спектра (примерно на 17 дБ) по сравнению с ФНЧ второго порядка. Применение ФНЧ четвертого порядка также позволяет снизить фазовые шумы (примерно на 2 дБ), но приводит к существенному росту времени установления заданной частоты (примерно на 10 мкс) в сравнении с ФНЧ второго порядка.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Развитие сетей 5G в России // TAdviser – портал выбора технологий и поставщиков. Государство. Бизнес. Технологии. 2020 URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Развитие\\_сетей\\_5G\\_в\\_России](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Развитие_сетей_5G_в_России) (дата обращения: 05.06.2022)
2. На каких частотах в России будет работать 5G? // Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, 2020 URL: <https://digital.gov.ru/ru/appeals/faq/370> (дата обращения: 05.06.2022)
3. *Бондаренко И.В., Пилипенко А.М.* Проектирование синтезатора частот для сетей связи 5G // Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении (КомТех-2021). Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Т.1, 08–11 июня 2021 г., Таганрог, 2021. С. 15-23
4. *Федосов В.П.* Современные алгоритмы обработки пространственно-временных сигналов в сетях связи : учебное пособие / В. П. Федосов, А. М. Пилипенко, С. В. Кучерявенко, А. В. Ломакина, А. А. Легин ; под редакцией В. П. Федосова ; Южный федеральный университет. Ростов-на-Дону; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2019. 98 с.

**Бондаренко Иван Владимирович**, студент гр. РТмо1-21, кафедра теоретических основ радиотехники, Южный федеральный университет. г. Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347922, телефон: +7(8634)37-16-32, e-mail: vanya5911@mail.ru.

**Пилипенко Александр Михайлович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теоретических основ радиотехники Южного федерального

университета, Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347922, телефон: +7(8634)37-16-32, e-mail: ampilipenko@sfnedu.ru.

**Bondarenko Ivan Vladimirovich**, student gr. RTmo1-21, Department of Fundamentals of Radio Engineering, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovskiy lane, 347922, phone: +7(8634)37-16-32, e-mail: vanya5911@mail.ru.

**Pilipenko Alexandr Mikhaylovich**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the department of Fundamentals of Radio Engineering, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovskiy lane, 347922, phone: +7(8634)37-16-32, e-mail: ampilipenko@sfnedu.ru.

УДК 621.396

Марьев Александр Александрович

**ДЕТЕКТОР СЕРЕДИНЫ СИМВОЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА НА ОСНОВЕ ИНТЕРПОЛИРУЮЩЕГО ФИЛЬТРА САВИЦКОГО-ГОЛЕЯ  
ДЛЯ  
СИСТЕМЫ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ**

*В работе предложена структура детектора середины символьного интервала, обеспечивающего одновременное подавление фазового шума при небольших вычислительных затратах. Предложенный алгоритм может быть использован в разнообразных системах цифровой связи для повышения помехоустойчивости и быстродействия.*

*Цифровая связь, символьная (тактывая) синхронизация, фильтр Савицкого-Голея, метод наименьших квадратов.*

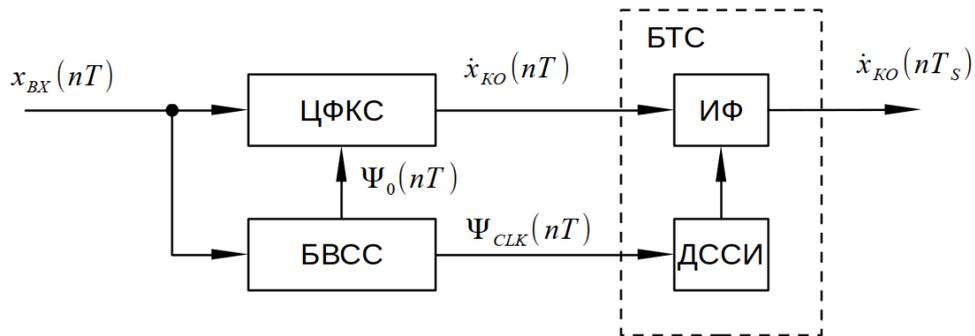
Alexandr Alexandrovich Maryev

**DETECTOR OF MIDDLE OF SYMBOL INTERVAL BASED ON  
INTERPOLATING SAVITZKY-GOLAY FILTER FOR DIGITAL  
COMMUNICATION SYSTEM**

*The structure of detector of middle of symbol interval is presented which provides simultaneous attenuation of phase noise and low computational complexity. Presented algorithm may be used in a various digital communication devices to achieve better noise stability and higher performance.*

### Введение

Структурная схема подсистемы тактовой синхронизации приемника цифровой связи, используя структурную схему на рис. 1 [1-6].



*Рис. 1. Структурная подсистемы тактовой синхронизации цифрового приемника*

Цифровой сигнал промежуточной частоты (ПЧ) поступает на входы цифрового формирователя квадратурных составляющих (ЦФКС) и блока восстановления сигналов синхронизации (БВСС).

БВСС формирует сигнал  $\Psi_0(nT)$ , пропорциональный полной фазе несущей и сигнал  $\Psi_{CLK}(nT)$ , пропорциональный полной фазе тактирующей последовательности (считается гармоническим сигналом).

ЦФКС выделяет комплексную огибающую сигнала ПЧ

$$\dot{x}_{KO}(nT) = I(nT) + Q(nT).$$

Сигналы  $\dot{x}_{KO}(nT)$  и  $\Psi_{CLK}(nT)$  поступают на входы блока тактовой синхронизации (БТС). Сигнал  $\dot{x}_{KO}(nT)$  подается на вход интерполирующего фильтра (ИФ), который восстанавливает мгновенные значения сигнала  $\dot{x}_{KO}$  в моменты, соответствующие серединам символьных интервалов. Эти моменты времени определяются детектором середины символьного интервала (ДССИ), на вход которого подается сигнал  $\Psi_{CLK}(nT)$ .

Представленная подсистема синхронизации относится к классу синхронизаторов с совместным оцениванием фазы несущей и фазы синхронизации без обратной связи по решению.

### Основная часть

Функцию узла ДССИ поясняет качественный график на рис. 2.

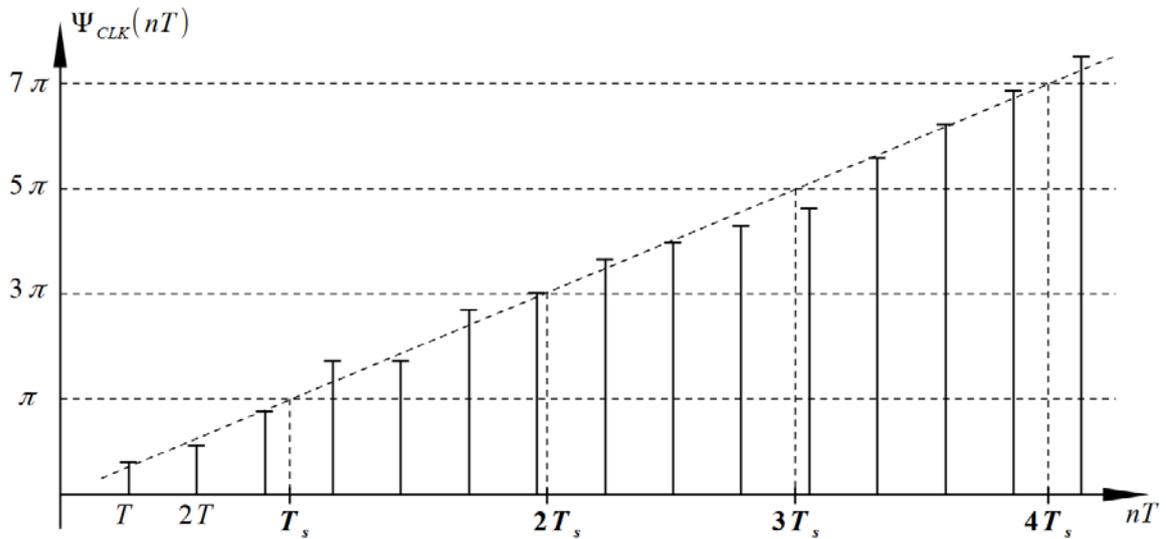


Рис. 2. К описанию функции узла ДССИ

В середине символьного интервала  $mT_s$  полная фаза тактирующей последовательности равна  $\pi + 2\pi k, k \in Z$ . В общем случае моменты  $mT_s$  находятся между отсчетами квадратурных составляющих, что обуславливает необходимость применения узла ИФ.

Поиск моментов времени  $mT_s$  может производиться также путем интерполяции по нескольким отсчетам  $\Psi_{CLK}(nT)$ , однако, как показано на рисунке 2, отсчеты  $\Psi_{CLK}(nT)$  содержат фазовый шум [7], который при интерполяции приведет к появлению ошибки в оценке  $mT_s$ , а значит, к увеличению межсимвольных искажений (МСИ) [8].

Линейная фильтрация позволяет подавить фазовый шум перед интерполяцией, однако раздельное решение задач фильтрации фазового шума и интерполяции привело бы к излишним вычислительным затратам.

Более эффективным является совместное решение задач подавления фазового шума и определения моментов  $mT_s$  путем перехода от задачи интерполяции к задаче аппроксимации.

Вид истинной зависимости  $\Psi_{CLK}(t)$  – прямая (если длина линии связи постоянна), то есть аппроксимирующая функция является многочленом 1-й степени:

$$\Psi_{CLK}(t) = a_0 + a_1 t = \sum_{k=0}^1 a_k t^k,$$

где  $a_0, a_1$  – неизвестные константы.

Значения  $a_0, a_1$  определим методом наименьших квадратов. Для этого в скользящем окне из  $L$  отсчетов введем квадратичную ошибку:

$$\xi(a_0, a_1) = \sum_{l=0}^{L-1} \left( \sum_{k=0}^1 a_k \tau_l^k - \Psi_{CLK}([n-l]T) \right)^2,$$

где  $\tau_l = \frac{(n-l)T}{T} - n = -l$  – нормированное время.

Для определения значений  $a_0, a_1$ , минимизирующих квадратическую ошибку  $\xi(a_0, a_1)$ , приравняем к нулю частные производные функции  $\xi(a_0, a_1)$ :

$$\frac{\partial \xi}{\partial a_i} = \frac{\partial}{\partial a_i} \sum_{l=0}^{L-1} \left( \sum_{k=0}^1 a_k \tau_l^k - \Psi_{CLK}([n-l]T) \right)^2 = 0, \quad i = 0, 1.$$

Полученное выражение приводится к виду:

$$\sum_{k=0}^1 a_k \sum_{l=0}^{L-1} \tau_l^{k+i} = \sum_{l=0}^{L-1} \tau_l^i \Psi_{CLK}([n-l]T),$$

из которого следует, что это уравнение является линейным алгебраическим. Запишем систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) в матричном виде:

$$C \times A = B,$$

где  $C$  – матрица коэффициентов СЛАУ,  $C_{ij} = \sum_{l=0}^{L-1} (-l)^{i+j}$ ,  $i, j = 0, 1$ ;

$A$  – вектор неизвестных коэффициентов многочлена,  $A_i = a_i$ ;

$B$  – столбец свободных членов  $B_i = \sum_{l=0}^{L-1} (-l)^i \Psi_{CLK}([n-l]T)$ .

Решение СЛАУ имеет вид линейных комбинаций отсчетов  $\Psi_{CLK}([n-l]T)$ , что позволяет использовать для вычисления коэффициентов  $a_{0,1}$  КИХ-фильтры с постоянными коэффициентами и приводит к структуре ДССИ, приведенной на рис. 3.

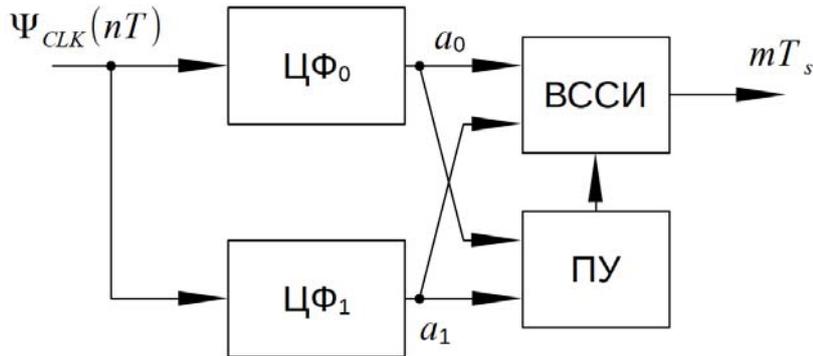


Рис. 3. Структурная схема ДССИ

ДССИ состоит из двух КИХ-фильтров порядка  $L - 1$  с постоянными коэффициентами, каждый из которых вычисляет мгновенное значение ко-

эффициента аппроксимирующей прямой по критерию наименьших квадратов. Пороговое устройство (ПУ) выполняет поиск пересечений ключевых уровней  $\pi + 2\pi k, k \in Z$  и при передаче вычислителю середины символьного интервала (ВССИ) команду на вычисление значения  $mT_s$  для передачи в ИФ.

Поскольку аппроксимирующая функция – линейная, в ПУ достаточно проверять значения двух соседних отсчетов, если они лежат по разные стороны от уровня сравнения, значит, произошло пересечение. Кроме того, достаточно сравнивать аппроксимированную функцию с одним уровнем  $\pi$ , если перед сравнением предусмотреть деление на  $2\pi$  по модулю.

Полученная структура ДССИ относится к классу фильтров Савицкого-Голея [9, 10], выполняющих сглаживание сигнала по методу наименьших квадратов. В то же время традиционный фильтр Савицкого-Голея вычисляет отклик лишь в моменты времени  $nT$ , благодаря чему его структура проще (содержит лишь один КИХ-фильтр для вычисления  $a_0$ ). Предложенный ДССИ выполняет вычисления между отсчетами  $nT$ , и в этом смысле он является интерполирующим.

### **Выводы**

Предложенный ДССИ обеспечивает одновременное решение задач определения середины символьного интервала и подавления фазовых шумов. При этом структура фильтра проста, а вычислительная сложность пропорциональна  $O(L)$ , что позволяет выбирать  $L$  достаточно большим для эффективной борьбы с фазовым шумом и минимизации МСИ.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Финк Л.М.* Теория передачи дискретных сообщений. Изд. 2-е, переработанное и дополненное.: Изд-во "Советское радио", 1970. – 728 с.
2. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. – 1104 с.
3. *Прокис Дж.* Цифровая связь. Пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. – М. Радио и связь. 2000. – 800 с.
4. *Benvenuto, Nevio & Cherubini, Giovanni.* Algorithms for Communications Systems and Their Applications. – 2002.
5. *Rice, Michael D.* "Digital Communications: A Discrete-Time Approach." – 2008.
6. *Ling, Fuyun.* Synchronization in Digital Communication Systems. – 2017.

7. Экспериментальное измерение относительной нестабильности частоты колебаний цифровым умножительно-преобразовательным методом, Неусе Х.М.Б., Федосов В.П., Кучерявенко С.В. // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. № 5 (207). С. 69-80.
8. Передача цифрового сигнала по узкополосным каналам. Межсимвольная интерференция и формирующие фильтры Найквиста [https://ru.dsplib.org/content/signal\\_isi/signal\\_isi.html](https://ru.dsplib.org/content/signal_isi/signal_isi.html) (дата обращения: 05.06.2022)
9. *Savitzky A. and Golay M. J. E.* "Soothing and differentiation of data by simplified least squares procedures," *Anal. Chem.*, vol. 36, pp. 1627–1639, 1964
10. *Sadeghi, Mohammad & Behnia, Fereidoon & Amiri, Rouhollah.* (2020). Window Selection of the Savitzky–Golay Filters for Signal Recovery From Noisy Measurements. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement.*

**Марьев Александр Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретических основ радиотехники Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, Ростовская область, 347922, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, учебно-лабораторный корпус "Д", аудитория Д-110; Телефон: +7 (8634) 37-16-32, email: [aamarev@sfedu.ru](mailto:aamarev@sfedu.ru).

**Maryev Alexandr Alexandrovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor, Department of fundamentals of Radioengineering, Southern Federal University, 347922, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovsky lane, phone: +7 (8634) 37-16-32, email: [aamarev@sfedu.ru](mailto:aamarev@sfedu.ru).

УДК 004.7

Соловьева Виктория Олеговна

## **ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МАРШРУТОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ ЯЧЕЙСТЫХ СЕТЕЙ**

*Беспроводные ячеистые сети (англ. wireless mesh networks, WMN) являются ключевой технологией для беспроводных сетей нового поколения. В статье рассматриваются различные алгоритмы маршрутизации для WMN, направленные в том числе на оптимизацию потребляемой мощности батареи.*

*Ячеистая сеть, алгоритмы маршрутизации, потребляемая мощность.*

*Solovyeva Viktorya Olegovna*

## **FEATURES OF BUILDING DATA TRANSMISSION ROUTES FOR WIRELESS MESH NETWORKS**

*Wireless mesh networks (WMN) are a key technology for next-generation wireless networks. The article discusses various routing algorithms for WMN aimed, among other things, at optimizing battery power consumption.*

*WMN, LPWAN, routing algorithms, power consumption.*

### **Введение**

Беспроводная ячеистая сеть позволяет расширить зону покрытия, продлить срок службы батареи конечного устройства и обеспечить бесперебойную связь [1]. WMN надежны в плане отказоустойчивости. Даже если некоторые из узлов сети не работают, существует множество других альтернативных узлов, которые могут помочь в ретрансляции данных. Ячеистая сеть состоит из двух типов узлов: маршрутизаторов и клиентов. Первые, промежуточные узлы, выполняют функции маршрутизации и являются опорной сетью для клиентов. Клиенты, конечные устройства, имеют большое разнообразие по своему функциональному назначению (ноутбук, IP-телефон, различные сенсоры и пр.), некоторые из них также могут также работать в качестве маршрутизаторов [2]. Маршрутизация является важным фактором при пересылке пакетов данных от источника к конечному узлу назначения [3].

### **Сценарии однонаправленной связи**

Выбор эффективных алгоритмов маршрутизации для их последующего развития требует проведения поисковых исследований в данной области. Эффективность того или иного алгоритма может быть оценена по целому ряду критериев. Так, например, подходы к организации передачи данных по каналам связи для приложений Интернета вещей зачастую требуют учета срока службы батареи [3]. Иногда узлы сети могут выбирать однонаправленные соединения (передача данных) для сбережения энергии. Например, пусть максимальный уровень мощности, при котором узлы могут передавать сообщения при достаточном запасе энергии, составляет  $p$  ватт. Это позволяет при передаче данных достигать узлов на расстоянии до  $d'$  единиц расстояния. Однако, когда уровень энергии узла снижается, уменьшается максимальная мощность передачи до  $p'$  ватт. В результате диапазон может уменьшиться до  $d'$  (рис. 1). Уровень энергии узла А сни-

жен, но узлы В и С все еще имеют достаточно энергии. Таким образом, в то время как А может принимать данные от В и С, только В может принимать сообщения от А. Это определяет двунаправленную связь между А и В и однонаправленную связь между С и А. За счет снижения энергопотребления А может оставаться в рабочем состоянии в течение более длительного периода времени и обеспечивать потенциально эффективное подключение к сети.

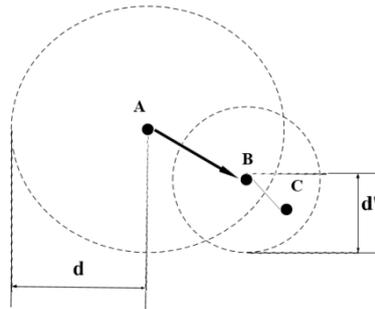


Рис. 1. Наличие однонаправленных связей из-за снижения уровня энергии

Таким образом, в сети может встречаться однонаправленная передача данных, особенно с учетом возможного снижения уровня энергии узлов сети или постоянных и сильных помех. При этом однонаправленная передача данных может быть временным явлением, когда канал переключается с состояния однонаправленной в состояние двунаправленной передачи. Частота таких переходов и продолжительность пребывания в каждом состоянии могут зависеть от предлагаемого трафика, топологии местности, мобильности и определяются алгоритмически [4].

Другой вариант учета энергопотребления узлов сети при реализации алгоритма маршрутизации PARA (англ. Power Aware Routing Algorithm) рассмотрен в [5]. Алгоритм реализует возможность выбора маршрута передачи данных между беспроводными узлами в ячеистой сети на основе критерия, определяющего энергопотребление конкретного узла. Это позволяет выбрать маршрут передачи данных с минимальными энергетическими затратами, что особенно важно для случаев, когда нет возможности восстановить энергию узлов сети (например, в случае вредного влияния окружающей среды на человека). Для этого задается специальное пороговое соотношение  $R$  ( $p > R$ ), определяющее достаточную мощность узлов сети по маршруту передачи данных. Соотношение мощностей на маршруте должно быть достаточным для отправки всего пакета информации за один раз без прерывания питания [6].

Оптимальный маршрут рассчитывается на основе числовой метрики [7], которая накапливается в зависимости от количества переходов по пути передачи данных к конечному устройству:

$$\begin{aligned} & \text{Метрика маршрута} \\ & = \sum \{ \alpha * (\text{мощность маршрутизатора}) * \text{качество связи} * A \\ & + \\ & + \beta * (\text{мощность клиента} * \text{качество связи}) * B \}, \\ & \alpha > \beta > 0, \end{aligned}$$

где,  $\alpha$  и  $\beta$  – весовые коэффициенты для узлов маршрутизаторов и клиентов по пути передачи данных соответственно; значения  $A$  и  $B$  добавляются для распознавания типа (клиент или маршрутизатор) и количества узлов сети.

Например, на рис. 2 узел-клиент  $k$ , например сенсор, решает отправить сообщение узлу-маршрутизатору  $c$  на базовую станцию. Каждый узел сети хранит текущее состояние батареи, определяющее уровень энергии узла и максимальную мощность сигнала. В данном случае посредством объявления о состоянии канала (англ. Link-state Advertisement, LSA) узел  $k$  отправляет сигнал для проверки информации о соседних узлах, обратно узлу  $k$  отправляются пакеты приветствия, содержащие информацию о предыдущем уровне мощности (PL) соседних узлов. На первом этапе узел  $k$  начинает проверять уровень мощности соседних узлов –  $j$ ,  $i$  и  $l$ . Если узел  $j$  имеет достаточный уровень мощности, то его статусу мощности присваивается значение 2, причем тип узла – клиент, поэтому узел  $j$  блокируется. При этом узел  $l$  имеет меньшую мощность, поэтому его статусу мощности присваивается значение 3, несмотря на его тип – маршрутизатор, поэтому узел  $l$  также заблокирован. Уровень мощности является приоритетным критерием для успешного достижения данными узла  $c$ . Таким образом, узлы  $j$  и  $l$  заблокированы во время первого шага (T1) [6].

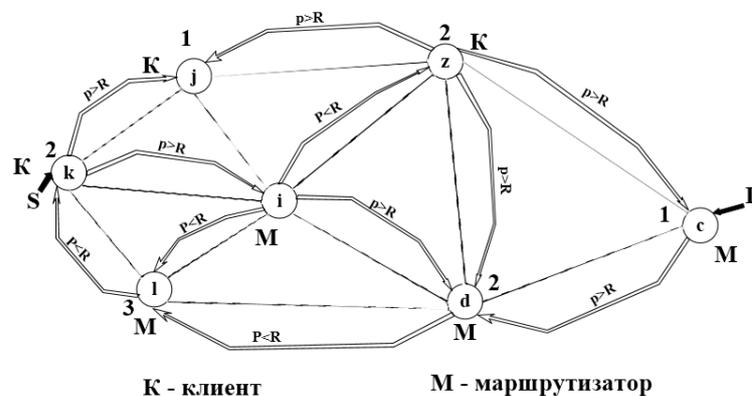


Рис. 2. Модель мощности ячеистой сети

Узел  $i$  обладает высоким уровнем мощности и ему присваивается значение 1, тип узла – маршрутизатор, поэтому узел  $i$  выбирается для передачи данных на пути к узлу  $c$ , как показано на рис. 3.

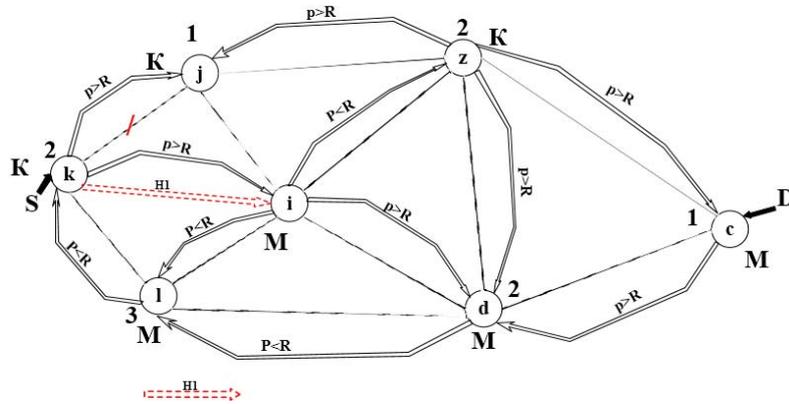


Рис. 3. Алгоритм мощности за время  $T1$

Далее узел  $i$  проверяет состояние своих соседних узлов:  $j$ ,  $l$ ,  $z$  и  $d$ . Узлы  $j$  и  $l$  заблокированы на предыдущем шаге  $T1$ . Узлам  $z$  и  $d$  присваивается значение состояния мощности 2, но  $z$  блокируется, поскольку это клиент, тогда как узел  $d$  является маршрутизатором, как показано на рис. 4.

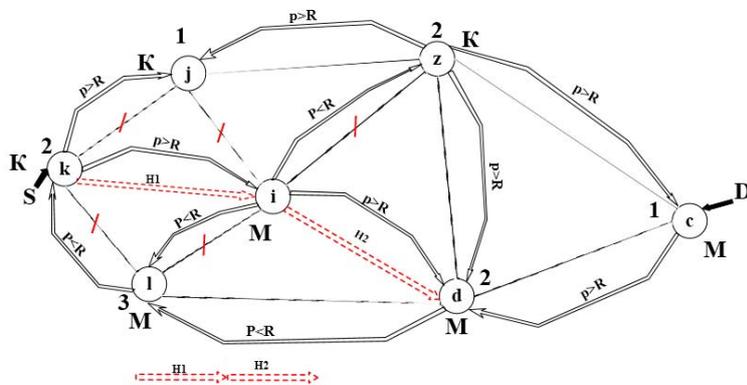


Рис. 4. Алгоритм за время  $T2$

Узел  $d$  проверяет состояние соседей  $z$ ,  $l$  и  $c$ . Узлы  $z$  и  $l$  заблокированы на шаге  $T2$ . Таким образом, узел  $c$  является конечным узлом назначения, ему присваивается значение мощности 1, тип узла – маршрутизатор (рис. 5).

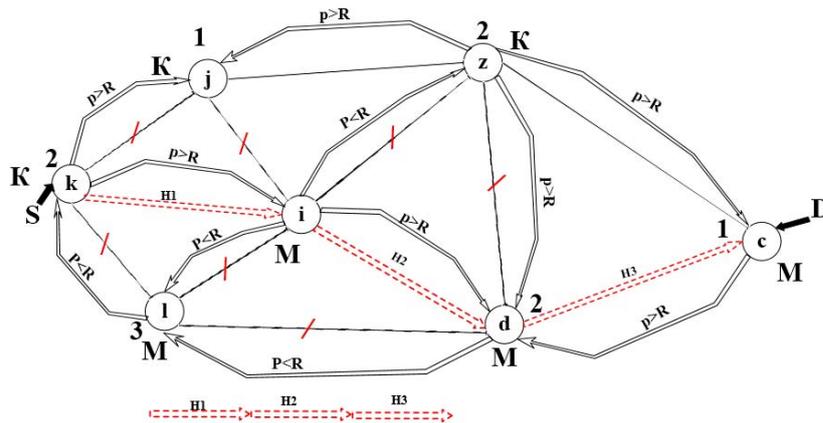


Рис.5. Алгоритм мощности за время T3

Полная мощность пути на маршруте передачи данных гарантирует бесперебойную связь в течение заданного времени (рис. 6).

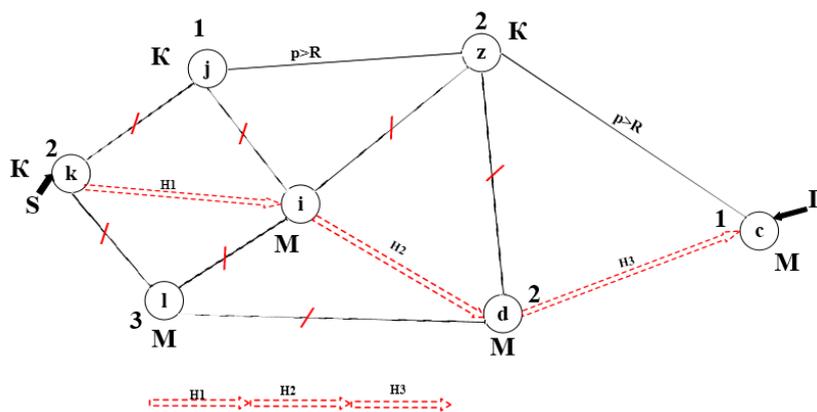


Рис. 6. Путь SD на основе алгоритма мощности

Существуют некоторые особые случаи при выборе маршрута, например, если у узла  $i$  было два или более соседних узла, таких как  $z$  и  $d$ , которые являются маршрутизаторами на T2, предпочтение второго пути будет сохранено для избыточности канала, его разнообразия. Разнообразие каналов отдает приоритет путям на основе значений уровня мощности (1, 2 и 3) и типа узла сети [7].

### Вывод

В работе рассмотрены алгоритмы маршрутизации на основе критерия, определяющего уровень заряда батареи и мощность сигнала узлов сети. Кроме того, для поиска оптимального маршрута передачи данных между узлами сети учитывается тип промежуточных узлов, что позволяет по-

высить производительность сети за счет снижения сетевых издержек и поддержания высокого коэффициента доставки с низкой задержкой.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wireless Mesh Networks Design — A Survey Djohara Benyamina, Abdelhakim Hafid, and Michel Gendreau
2. Что такое ячеистая сеть и ячеистый маршрутизатор URL: <https://myroad.club/chto-takoe-yacheistaya-set-i-yacheistyj-marshrutizator/> (дата обращения 12.06.2022)
3. Анализ алгоритмов маршрутизации для узкополосных сетей дальнего радиуса действия с поддержкой самоорганизации, В. Д. Фам 1, Р.В. Киричек
4. Модель системы идентификации для энергоэффективных ячеистых сетей на базе Архитектуры Цифровых Объектов, Д. Д. Сазонов1, Р. В. Киричек
5. Applications of Geometric Algorithms to Reduce Interference in Wireless Mesh Network. Hung-Chin Jang
6. Алгоритмическое обеспечение для маршрутизации с поддержкой качества обслуживания данных в беспроводных вычислительных сетях, Поженко Михаил Александрович
7. Алгоритмы маршрутизации, URL: <https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php>, (дата обращения 12.06.2022)
8. Power aware routing algorithms (PARA) in wireless mesh networks for emergency management, Tawfik Al-Hadhrami, Supervision,1, Faisal Saeed, Supervision,2 and Funminiye Olajide, Investigation1 Lixiang Li, Editor
9. Unsupervised Machine Learning for Improved Delaunay Triangulation, Tao Song 1,2, Jiarong Wang 1 , Danya Xu 3,\* , Wei Wei 1 , Runsheng Han 1 , Fan Meng 4 , Ying Li 1 and Pengfei Xie
10. Исследование энергоэффективных MANET-протоколов маршрутизации / А. А. Егоров. —Молодой ученый. — 2017. — № 20 (154). — С. 131-137. — URL: <https://moluch.ru/archive/154/43494/> (дата обращения: 11.06.2022).

**Соловьева Виктория Олеговна**, магистрант 1 курса Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, email: [vsoloveva@sfnu.ru](mailto:vsoloveva@sfnu.ru).

**Solovieva Victoria Olegovna**, 1st year master's students of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, email: [vsoloveva@sfnu.ru](mailto:vsoloveva@sfnu.ru).

УДК 004.422.8

Балабаева Ирина Юрьевна, Пьявченко Олег Алексеевич

**ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ФАСЕТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ  
СВЕДЕНИЙ О ТОВАРАХ ПО ИХ АТТРИБУТАМ ДЛЯ  
ПРИЛОЖЕНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ**

*В статье рассматривается архитектура программного модуля фасетной фильтрации сведений о товарах по их атрибутам, предназначенного для встраивания в приложения электронной коммерции. Модуль разработан на основе клиент-серверной архитектуры и объединяет в себе клиентскую и серверные части, поисковую систему и хранилище кэшированных данных. Такое решение позволило обеспечить необходимые производительность и релевантность поддерживаемых модулем поисковых запросов, кросс-платформенность его построения и функциональную законченность разработки.*

*Клиент-серверная архитектура, хранилище данных, поисковая система, фасетная фильтрация, динамическая категоризация, поисковый запрос, атрибут, формат JSON, веб-приложение электронной коммерции.*

Balabaeva Irina Yurievna, Pyavchenko Oleg Alekseevich

**SOFTWARE MODULE FOR FACET FILTERING OF INFORMATION  
ABOUT PRODUCTS BY THEIR ATTRIBUTES FOR E-COMMERCE  
APPLICATIONS**

*The article discusses the architecture of the software module for faceted filtering of information about products by their attributes, designed for embedding in e-commerce applications. The module is developed on the basis of a client-server architecture and combines the client and server parts, a search engine and a cached data storage.*

*Such a solution made it possible to ensure the necessary performance and relevance of search queries supported by the module, cross-platform construction of the module, and functional completeness of development.*

*Client-server architecture, data warehouse, search engine, faceted filtering, dynamic categorization, search query, attribute, JSON format, e-commerce web application.*

## **Введение**

В настоящее время электронная коммерция играет жизненно важную роль в нашей повседневной жизни. Электронная коммерция представляет собою программную веб-платформу, предназначенную для осуществления покупок и продаж через Интернет товаров различного назначения и различных производителей.

В «допандемийный» период по разным оценкам на долю электронной коммерции приходилось до 20% всех розничных продаж [1] и с каждым годом эта цифра только росла. При этом только 2,2% посещений электронной коммерции конвертируются в покупки. Это означает, что у владельцев интернет-магазинов есть много потенциальных возможностей при наличии оптимизации веб-сайта. Хорошее качество обслуживания клиентов сейчас имеет еще более важное значение, поскольку глобальная пандемия изменила поведение клиентов в сторону покупок в Интернет [2].

Неслучайно компании все больше инвестируют в поиск товаров по сайту. Ведь зачастую при отсутствии оптимизированной фильтрации поиск клиентом желаемого товара на веб-сайте можно сравнить с поиском иголки в стоге сена. Долгий и безрезультатный поиск окажет негативное действие на покупателя, тем самым он уйдет на сайт конкурента.

Статистика неумолима – до 27% от общего числа неудачных сеансов покупок являются результатом невозможности найти нужные товары на веб-сайте из-за неоптимизированной встроенной системы поиска [3]. В то же время, когда успешный поиск товаров по сайту быстро дает клиенту точные результаты, то это не только экономит время клиента, но и с большей долей вероятности может привести к активизации процесса покупки выбранного товара.

Как известно, релевантность поискового запроса означает тщательное соответствие между запросом пользователя и выданной ему информацией. Релевантность по атрибутам товара также предполагает соответствие искомым пользователем атрибутов с найденными атрибутами у товаров. Таким образом уровень обеспечения релевантности поиска по атрибутам товара является наилучшим показателем эффективности применяемого механизма фильтрации.

Одним из способов повышения уровня обслуживания клиентов является фасетная фильтрация товаров по атрибутам разных типов. Целью фасетной фильтрации является улучшение впечатления от покупок, позволяя покупателям находить предпочитаемые товары за как можно меньшее ко-

личество времени. При этом поиск товара или нескольких товаров осуществляется по некоторым характеристикам (фильтрам), будь то бренд, размер, цена и так далее. При выборе нескольких фильтров они группируются в наборы фильтров по атрибутам, что означает динамическую категоризацию искомых товаров на сайте Интернет-магазина.

Для покупателей, которые знают, чего хотят, фасетная фильтрация позволяет сузить результаты поиска в соответствии с наиболее релевантными атрибутами. Для тех, кто не уверен в том, что ищет, фасетная фильтрация служит руководством, которое даст им понимание, какие товары есть в магазине, а также выступит в качестве навигации среди множества товаров. К тому же, с точки зрения бизнеса, фасетная фильтрация товаров является огромным источником информации о поведении покупателей, предоставляя компании ценные аналитические данные. Эта информация, при умелом использовании, может повысить «коэффициент конверсии и удержания» клиентов.

Таким образом, фасетная фильтрация товаров интернет-магазина имеет прямое отношение к качеству обслуживания клиентов, влияет на объемы покупок/продаж в Интернете, на выбор стратегии и тактики развития Интернет-бизнеса. Отсюда актуальность и необходимость в проработке настоящей тематики.

### **Основная часть**

В Интернете присутствует большое количество интернет-магазинов, обобщение опыта эксплуатации которых показывает, что программные средства поиска товаров по их атрибутам должны обладать рядом ключевых свойств [4, 5], сведенных в табл. 1, и которые были взяты за основу для текущей разработки программного продукта.

Таблица 1

Сравнение разрабатываемого программного модуля с ближайшими аналогами

Параметры, характеризующие действующие аналоги и разработку	Разрабатываемый программный модуль	Vendela	Express Шина
Наличие фасетной фильтрации	Да	Да	Да
Наличие сортировки товаров	Да	Да	Да
Загрузка списка товаров частями	Да	Да	Да
Поиск опции фильтра по названию	Да	Нет	Да
Наличие фильтров разного типа	Да	Нет	Да

(минимум 3)			
Загрузка данных без визуальной перезагрузки страницы	Да	Да	Нет
Наличие кнопки очистки всех фильтров	Да	Да	Нет
Адаптивный дизайн	Да	Да	Нет
Кэширование данных	Да	Нет	Нет
Отображение списка фильтров в видимой пользователю области	Да	Нет	Нет

Как видно из табл. 1 оба таких ближайших аналога, как Vendella [6] и Express Шина [7], поддерживают механизм фасетной фильтрации, позволяют сортировать товары и загружать их описание, но при этом имеют значительные ограничения в выборе и назначении фильтров, в адаптивности дизайна к результатам многопараметрического поиска; не поддерживают кэширование данных, что существенно снижает общие скоростные характеристики поиска, в особенности в случае необходимости возврата к уже пройденной поисковой ветке. На взгляд автора, указанными недостатками новая разработка не обладает. Рассмотрим разработанный программный продукт более подробно.

В качестве архитектуры программного модуля была выбрана клиент-серверная архитектура, что позволило ускорить загрузку страницы и перераспределить основную нагрузку на сервер.

Разработанный программный модуль состоит из четырех компонентов (рис. 1): клиент, сервер, хранилище кэшированных данных, поисковая система. Такое решение необходимо для разграничения обязанностей компонентов модуля. Клиент отвечает за часть модуля, видимую пользователю, сервер же – за предварительную отрисовку страницы, отправку и обработку запросов, а также за функциональность, связанную с кэшированием. Хранилище данных отвечает за хранение и кэшированные данных, а поисковая система – за хранение данных о товарах, фильтрах и их атрибутах в формате JSON, загруженных платформой электронной коммерции. Данные, хранящиеся в поисковой системе, имеют определенную структуру, которая во многом регламентируется как средствами ее реализации, так и требуемой функциональностью поиска, разнообразием применяемых фильтров.

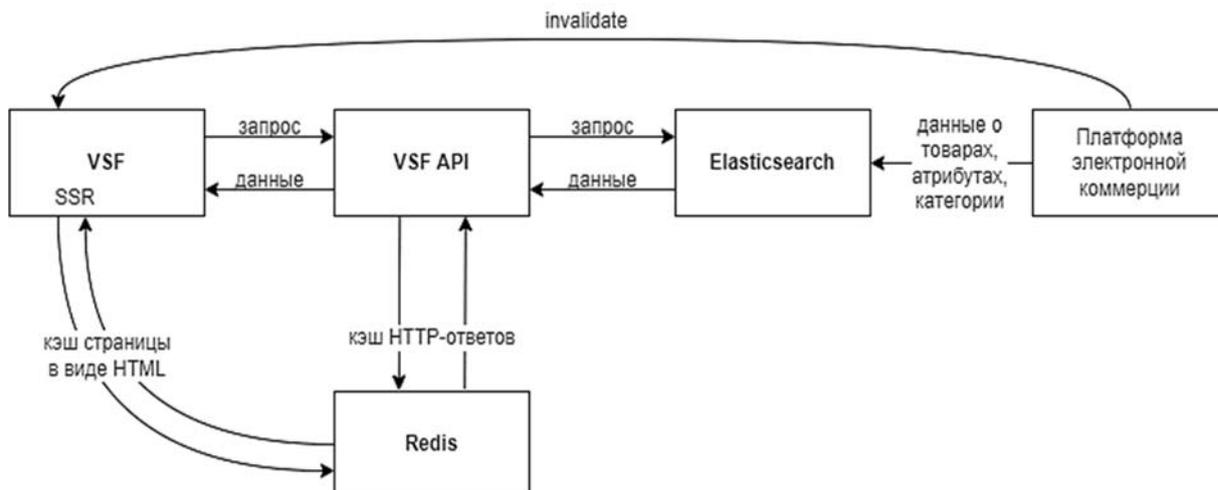


Рис. 1. Структура модуля с указанием схемы взаимодействия его компонентов

Таким образом, клиент лишь отправляет запрос серверу на получение нужных ему данных, а сервер уже отправляет запрос в поисковую систему с последующей передачей полученных данных клиенту.

Реализация клиентской части модуля выполнена с применением технологии Vue Storefront, которая подходит для масштабируемых интернет-магазинов. Данная технология использует фреймворк Vue.js, поддерживающий SSR, который необходим для предварительной отрисовки (рейдеринга) веб-страницы на стороне сервера [8]. Кроме того, на наш взгляд Vue.js функционально собрал в себе все лучшее из библиотеки React и фреймворка Angular. Как и React, он использует виртуальный DOM (англ. Document Object Model – объектная модель документа) [9] и основан на компонентах, что делает его чрезвычайно быстрым. С другой стороны, как и Angular, он имеет директивы и функции двусторонней привязки данных, что делает его реактивным фреймворком [8].

В роли серверной части модуля выступает Vue Storefront API, использующий фреймворк Express для реализации обработки запросов в Node.js. Vue Storefront API представляет собой своего рода прослойку между фронтенд и бэкенд платформами [10]. Для Vue Storefront API была разработана реализация кэширования и обработка запросов в Elasticsearch (см. рис. 1).

*Замечание.* Node.js – это кроссплатформенная среда, включающая все необходимое для выполнения программы, написанной на JavaScript в процессе создания интерактивных веб-приложений с использованием, например, HTML5, CSS3, сборщика статических модулей Webpack [11 – 15].

Под компонентом Redis (Remote Dictionary Server) понимается усовершенствованное хранилище данных NoSQL типа "ключ-значение", как

правило, используемое в качестве базы данных и кэша [16]. Компонент Redis был выбран по причине поддержки им быстрых операций чтения и записи, разнообразных типов данных и расширенной структуры памяти. Благодаря вышесказанному, компонент Redis подходит для разработки высокопроизводительных масштабируемых веб-приложений, что позволило, в частности, применить его для хранения кэшированных данных.

При реализации модуля в качестве поисковой системы выбрана Elasticsearch, так как данная система выступает в роли хранилища данных и поискового движка с JSON REST API. Плюсами такой системы являются масштабируемость, отказоустойчивость, быстрое индексирование данных.

Согласно [17], Elasticsearch позволяет хранить, быстро и практически в режиме реального времени искать и анализировать большие объемы данных, отвечать на запросы в пределах миллисекунд. Эта система обеспечивает быстрые ответы при поиске, поскольку вместо прямого поиска текста она выполняет поиск по индексам. Elasticsearch использует структуру, основанную на документах, а не на таблицах и схемах, и поставляется с обширными API-интерфейсами REST для хранения и поиска данных. Так, например, поисковые запросы могут иметь следующий вид:

- Запрос *terms* – возвращает документы, содержащие полное совпадение с условием.

- Запрос *range* – возвращает документы, содержащие поле в указанном диапазоне.

- Агрегация *filter* – агрегация из нескольких сегментов, в которой каждый сегмент содержит документы, соответствующие запросу.

- Агрегация *histogram* – агрегирование значений с несколькими сегментами на основе источника. Документы группируются, учитывая заданный интервал с указанием их количества для каждого интервала.

Проведенное в рамках работы покомпонентное и комплексное тестирование разработанного программного продукта доказало реализуемость и эффективность предложенного подхода.

### **Выводы**

В описанном выше модуле реализованы фасетная фильтрация товаров по атрибутам разных типов, сортировка товаров, загрузка фильтров с их атрибутами, загрузка списка товаров, загрузка части товаров при нажатии на кнопку Load More, отображение товаров по страницам и сброс номера отображающейся страницы при применении фильтра. Разработанный модуль также характеризует поддержка веб-дизайна, адаптивного к парамет-

рам мобильного устройства ввода/вывода при многопараметрическом поиске; кэширования веб-страницы и ответов HTTP-запросов в Elasticsearch, очистки кэша при запросе invalidate и ряда других функций.

Здесь следует отметить, что в ходе разработки был применен Vue Storefront первой версии – это фронтенд платформа электронной коммерции, которая позволяет создавать сверхбыстрые веб-сайты и приложения электронной коммерции без изменения серверной платформы. Необходимо отметить, что Vue Storefront использует современные технологии, такие как Vue.js и PWA (Progressive Web Application) [18]. Система интегрируется с Magento, BigCommerce, Shopify, Shopware и другими backend платформами электронной коммерции. Все это означает, что архитектура разработанного программного модуля динамична и имеет перспективы развития.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 19 New E-Commerce Statistics [Электронный ресурс].– Электрон. текстовые дан. – Режим доступа URL: <https://sleeknote.com/blog/e-commerce-statis-tics#:~:text=In%202020%2C%20e%2Dcommerce%20sales,of%20all%20retail%20sales%20worldwide.&text=Notice%20the%20big%20jump%20from,and%2021.8%20percent%20in%202024> (дата обращения: 10.05.2022).
2. Coronavirus Aftermath For Ecommerce [Электронный ресурс].– Электрон. текстовые дан. – Режим доступа URL: <https://searchnode.com/blog/coronavirus-aftermath-for-ecommerce/> (дата обращения: 10.05.2022).
3. What is Faceted Search and Best Practices for eCommerce Sites [Электронный ресурс].– Электрон. текстовые дан. – Режим доступа URL: <https://boostcommerce.net/blogs/all/faceted-search-and-best-practices> (дата обращения: 12.05.2022).
4. *Вигерс К., Битти Д.* Разработка требований к программному обеспечению. 3-е изд., дополненное / Пер. с англ. – М.: Издательство «Русская редакция»; СПб.: БХВ-Петербург, 2014 – 736 с.
5. Реактивность в программировании [Электронный ресурс].– Электрон. текстовые дан. – Режим доступа URL: <https://doka.guide/js/reactivity/> (дата обращения: 14.05.2022).
6. Vendella [Электронный ресурс].– Электрон. текстовые дан. – Режим доступа URL: <https://www.vendella.co.nz/shop/vendella-guest/beds/beds-beds> (дата обращения: 12.05.2022).

7. Express Шина [Электронный ресурс].– Электрон. текстовые дан. – Режим доступа URL: <https://taganrog.express-shina.ru/search/legkovyie-shinyi> (дата обращения: 12.05.2022).
8. Что такое Vue.js? [Электронный ресурс].– Электрон. текстовые дан. – Режим доступа URL: <https://vueframework.com/docs/v3/ru/ru/guide/introduction.html> (дата обращения: 17.05.2022).
9. Что такое Virtual DOM? [Электронный ресурс].– Электрон. текстовые дан. – Режим доступа URL: <https://webdevblog.ru/chto-takoe-virtual-dom/> (дата обращения: 16.05.2022).
10. Введение во Vue Storefront [Электронный ресурс].– Электрон. текстовые дан. – Режим доступа URL: <https://habr.com/ru/company/rshb/blog/518746/> (дата обращения: 18.05.2022).
11. Руководство по Node.js [Электронный ресурс].– Электрон. текстовые дан. – Режим доступа URL: <https://habr.com/ru/company/ruvds/blog/422893/> (дата обращения: 19.05.2022).
12. Флэнаган Д. JavaScript. Подробное руководство. – Пер. с англ. – СПб: Символ-Плюс, 2008. – 992 с.
13. Что такое HTML5? [Электронный ресурс].– Электрон. текстовые дан. – Режим доступа URL: <https://code.tutsplus.com/ru/tutorials/what-is-html5--cms-25803> (дата обращения: 20.05.2022).
14. CSS3 с погружением [Электронный ресурс].– Электрон. текстовые дан. – Режим доступа URL: <https://habr.com/ru/post/137348/> (дата обращения: 20.05.2022).
15. Руководство по Webpack [Электронный ресурс].– Электрон. текстовые дан. – Режим доступа URL: <https://nuancesprog.ru/p/14841/> (дата обращения: 22.05.2022).
16. Introduction to Redis [Электронный ресурс].– Электрон. текстовые дан. – Режим доступа URL: <https://redis.io/docs/about/> (дата обращения: 19.05.2022).
17. Elasticsearch Guide [Электронный ресурс].– Электрон. текстовые дан. – Режим доступа URL: <https://www.elastic.co/guide/en/elasticsearch/reference/7.0/index.html> (дата обращения: 19.05.2022).
18. Что такое PWA? Внедрение и преимущества технологии для владельцев сайтов [Электронный ресурс].– Электрон. текстовые дан. – Режим доступа URL: <https://seo.ru/blog/chto-takoe-pwa-prosto-o-tehnologii/> (дата обращения: 17.05.2022).

**Балабаева Ирина Юрьевна** – Южный федеральный университет; e-mail: [ibalabaeva@sfnedu.ru](mailto:ibalabaeva@sfnedu.ru); 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; кафедра математического обеспечения и применения ЭВМ; старший преподаватель.

**Пьявченко Олег Алексеевич** – Южный федеральный университет; e-mail: [oaryavchenko@sfnedu.ru](mailto:oaryavchenko@sfnedu.ru); 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; кафедра математического обеспечения и применения ЭВМ; студент.

**Balabaeva Irina Yurievna** – Southern Federal University; e-mail: [ibalabaeva@sfnedu.ru](mailto:ibalabaeva@sfnedu.ru); 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; the Department of Mathematical Support and Application of Computers; Senior Lecturer

**Pyavchenko Oleg Alekseevich** – Southern Federal University; e-mail: [oaryavchenko@sfnedu.ru](mailto:oaryavchenko@sfnedu.ru); 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; the Department of Mathematical Support and Application of Computers; student.

УДК 004.422.8+004.4'22

Пьявченко Олег Алексеевич

## **ВОПРОСЫ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ФАСЕТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СВЕДЕНИЙ О ТОВАРАХ ПО ИХ АТТРИБУТАМ**

*В статье излагаются общие подходы к тестированию как неотъемлемой части жизненного цикла разработки программного обеспечения с упором на их применение для проверки встраиваемых веб-программных продуктов на соответствие требованиям спецификации.*

*Рассматриваются методика и вопросы реализации тестирования разработанного программного модуля фасетной фильтрации сведений о товарах по их атрибутам, предназначенного для встраивания в приложения электронной коммерции. На основе полученных результатов делается вывод об уровне работоспособности программного продукта.*

Pyavchenko Oleg Alekseevich

## THE QUESTIONS OF THE SOFTWARE MODULE TESTING FOR FACET FILTERING OF INFORMATION ABOUT GOODS BY THEIR ATTRIBUTES

*The article outlines general approaches to testing as an integral part of the software development life cycle, with a focus on their application to verify embedded web software products against specification requirements. The methodology and issues of testing the developed software module for faceted filtering of information about products by their attributes, designed for embedding in e-commerce applications, are considered. Based on the results obtained, a conclusion is made about the level of performance of the software product.*

### **Введение**

Как известно, жизненный цикл разработки программного обеспечения – это «процедурный процесс в разработке программного продукта». При этом тестирование программного обеспечения является, несомненно, одним из наиболее важных этапов жизненного цикла программного продукта (ПП). Ведь именно на этом этапе определяется, насколько правильно и эффективно работает продукт согласно требованиям согласованной с заказчиком спецификации [1 – 3].

Тестирование программного продукта – это процесс поиска ошибок (дефектов) и отказов как в автономном режиме работы, так и при комплексном использовании тестируемого объекта в составе программной среды, куда ПП предполагается интегрировать.

Как отмечается в [1, 2], причиной дефектов могут быть как ошибки, допущенные разработчиком в основном программном коде, в некорректных сервисных вызовах используемых внешних программных библиотек, при обращениях к драйверам управления оборудованием, в эффективности использования программно-доступных ресурсов, в обеспечении безопасности и ремонтпригодности, и даже в удобстве и в перспективах применения нового программного продукта.

Как правило, отказы возникают в процессе отладки и эксплуатации ПП в результате возникающих функциональных и нефункциональных отклонений между ожидаемым и фактическим результатом. Однако не все дефекты могут приводить к сбоям, а тем более отказам. Дефект может проявиться не сразу, например, из-за изменений, выполненных пользователем в конфигурации системных ресурсов, либо в результате очередного

обновления программного окружения по месту применения тестируемого программного продукта на стадии эксплуатации. Отсюда, на наш взгляд, процесс тестирования программного обеспечения потенциально бесконечен, но в реальности же ограничен по времени и по финансированию в связи с необходимостью получения заинтересованными сторонами работоспособного конечного программного продукта в приемлемые сроки и за оговоренную цену.

Таким образом, от эффективности выполненных проверок зависит как качество самого ПП, так и конечная цена на него. Именно поэтому разработчики заинтересованы в эффективных методиках тестирования и средствах их реализации.

### **Основная часть**

В рамках настоящей статьи объектом тестирования является разработанный ранее автором программный модуль фасетной фильтрации сведений о товарах по их атрибутам. Данный модуль состоит из четырех компонентов (клиент, сервер, хранилище кэшированных данных и поисковая система Elasticsearch) и предназначен для встраивания в приложения электронной коммерции, например, в веб-сайты Интернет -магазинов.

Особенностью разработанного ПП является то, что для его реализации был использован технологический стек таких программных инструментов, как TypeScript, Vue.js, Node.js, Elasticsearch, Redis. При этом модуль реализует функции фасетной фильтрации продуктов по атрибутам разных типов; сортировки продуктов; загрузки и применения фильтров с их атрибутами; загрузки списка продуктов с последующим страничным отображением их образов; адаптивного веб-дизайна с поддержкой механизмов кэширования страниц и ответов HTTP-запросов в Elasticsearch; очистки кэша по соответствующему запросу и некоторые другие.

Как заявлено, имеется возможность совместного использования модуля с одним из браузеров: наличие одного из браузеров: Google 70 или более поздней версии (далее укажем знак +), Яндекс.Браузер 18+, Safari 9+, Opera 64+, Firefox 70+, Microsoft Edge 79+. Для полноценной работы модуля наличие доступа в Интернет является обязательным условием.

Для верификации и валидации разработанного ПП было предложено использовать каскадную методику тестирования, базирующуюся на методах ручного и автоматизированного тестирования с возможностью итерационных проходов наиболее критически важных участков [3, 4]. Именно эти методы включают в себя покомпонентное тестирование ПП, верифи-

кацию их внутренних и внешних взаимосвязей, проверку их согласованности; содержат вопросы системного тестирования, включая отказоустойчивость и оценку производительности при разных условиях применения, альфа- и бета-тестирование как средство приёмо-сдаточных испытаний [3].

Ручное тестирование, исходя из названия, подразумевает, что тестирование программного обеспечения выполняется вручную, то есть тестировщик не использует какие-либо автоматизированные сценарии или инструменты. Таким образом, во время ручного тестирования тестировщик является конечным пользователем и тестирует ПО на наличие ошибок и дефектов, исходя из собственных знаний и опыта в этой области.

Для проверки соответствия разработанного ПО требованиям спецификации был разработан тест-сьют (набор тестов), состоящий из профильных тест-кейсов, снабженных чек-листами и формирующих по результату необходимые даш-борды (графические и текстовые, включая файловые, сообщения). Разработанный тест-сьют составлен в форме тест-плана и в целом ориентирован на функциональное и нефункциональное тестирование ПП на соответствие требованиям спецификации. Тест-сьют обеспечивает соответствующую проверку как отдельных компонентов модуля, так и всего модуля в целом.

В тест-сьюте для каждого тест-кейса указаны его идентификационный номер, название, шаги, которые должны быть выполнены для достижения фактического результата, а также указаны ожидаемый результат модуля и фактический. Последнее поле при отсутствии автоматизации заполняется вручную по результатам выполнения текущего тест-кейса. Статус выполнения тест-кейса отражается в соответствующем даш-борде при внедренной в тест активирующей его опции. Пример фрагмента описания такого тест-кейса представлен в таблице на рис. 1.

В результате были проверены на корректность операции формирования и выполнения запросов к серверной части, к поисковой системе, архивации/разархивации данных при доступе к хранилищу, корректность работы клиентской части модуля при выполнении запросов, при прорисовке таблиц и отображении в них полученных результатов поиска и т.п. По окончании таких интерактивных проверок вновь осуществленное разработчиком тестирование программного модуля позволило доказать непротиворечивость и безошибочность функционирования разработанного программного продукта в рамках заявленной спецификации на него.

Здесь следует отметить, что общими элементами для всех тест-кейсов являются окружение и аппаратная платформа с возможностью сетевого доступа в Интернет, на которых тестировалось разработанное ПО. Окружение – Linux Mint 20 Ulyana, Google Chrome 70. В качестве тестовой аппаратной платформы использовался ASUS VivoBook с объемом ОЗУ, равным 32 Гбайта, с встроенным SSD – 512 Гбайт, с поддержкой сетевого обмена по сети Ethernet на скорости вплоть до 1Гбит/сек.

ID	Название	Предусловие	Шаги	Ожидаемый результат	Фактический результат
ID -1	Фильтр Size	1. Открыта страница <a href="https://mytesta.local">https://mytesta.local</a>	1. Выбрать фильтр Size 2. Выбрать значения из чекбокса 3. Нажать на кнопку APPLY	1. При наведении на название фильтра курсор меняется на pointer, срабатывает hover-эффект 2. При нажатии на название фильтра открывается чекбокс с возможными размерами товара 3. При наведении курсора на значение чекбокса оно подсвечивается белым 4. При выборе значения флажок чекбокса отображается как галка на зеленом фоне, кнопка APPLY становится красной (активной) 5. При наведении курсора на APPLY она становится тусклее 6. При нажатии на APPLY фильтр применяется и отображается ниже (см. рис. 2)	Заполняется в процессе тестирования
...	...	...	...	...	...
ID - 38	Запрос при открытии фильтра	1. Открыта страница <a href="https://mytesta.local">https://mytesta.local</a>	1. Обновить страницу 2. Открыть фильтр Brand	1. На сервер отправлен запрос на получение опций фильтра Brand. Структура запроса представлена на рис. 3 2. Код ответа 200 3. Ответ запроса имеет структуру, представленную на рис. 4	Заполняется в процессе тестирования

Рис. 1. Пример фрагмента описания разработанного тест-сьюта из 38 тест-кейсов

## 12 Results



Рис. 2. Отображение примененных опций фильтра Size

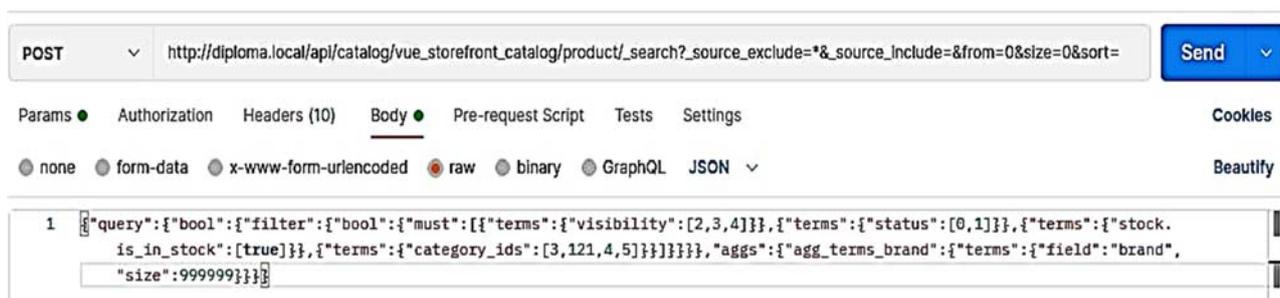


Рис. 3. Структура запроса на получение опций фильтра Brand

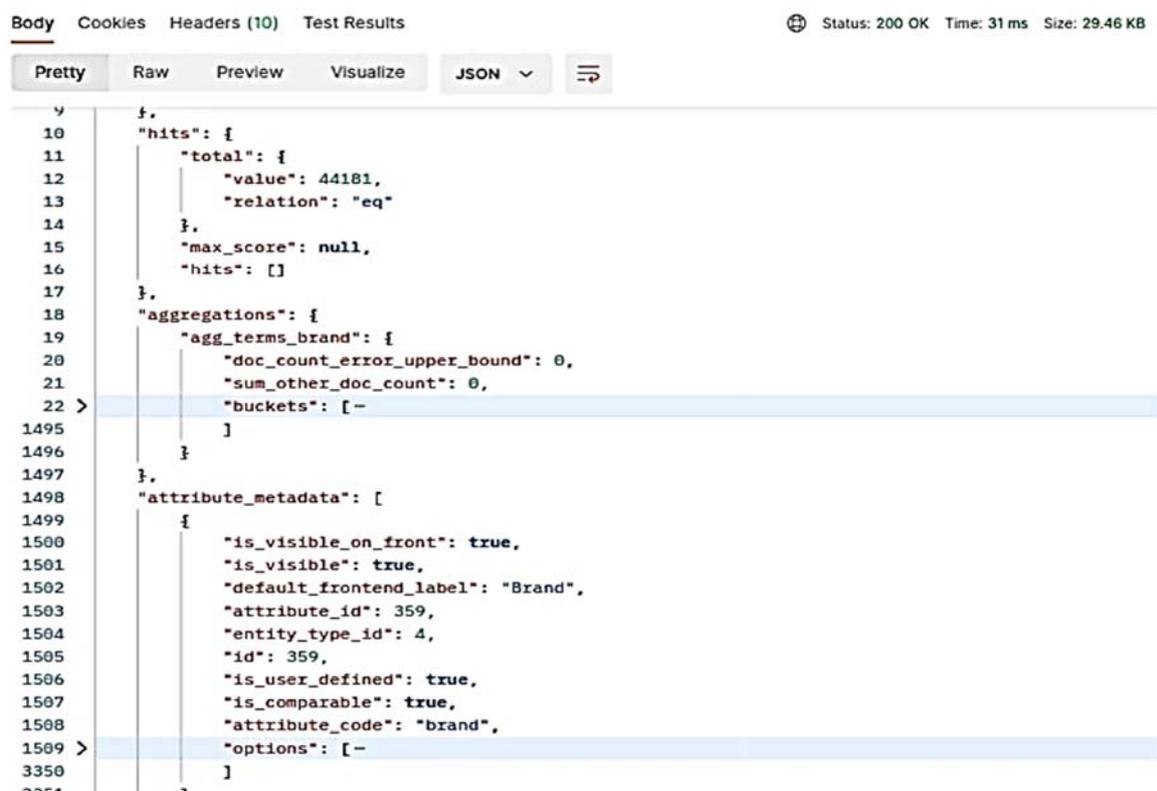


Рис. 4. Структура ответа запроса на получение опций фильтра Brand

Применительно к веб-программированию автоматизация тестирования заключается в разработке компьютерной программы – тестера в виде скриптов для тестирования [5]. Такие тестеры могут быть написаны как вручную, так и с применением так называемых шаблонов (template) и специализированных средств автоматизации. К последним можно отнести Winrunner, LoadRunner, SilkTest, Quick Test Professional (QTP), Rational Robot, и т. д.[3] Средства автоматизации также включает в себя сервисные инструменты, такие как TestDirector и многие другие. В нашем случае использовался инструмент К6, описание которого можно найти в [6].

В качестве методов нефункционального тестирования использовались метод стресс-тестирования и метод тестирования стабильности.

Стресс-тестирование – тип нефункционального тестирования, при котором целевой ПП подвергается воздействию тестовых условий, как правило, выходящих за рамки нормальных условий работы ПО. После достижения критической точки, полученные результаты записываются. В нашем случае метод стресс-тестирования использовался для оценки показателей (метрик) производительности серверной части приложения. Ниже приведены основные измеряемые в процессе тестирования метрики:

- `vus` – текущее количество виртуальных пользователей;
- `duration` – продолжительность тестирования;
- `http_req_duration` – время выполнения запроса;
- `iterations` – общее количество отправленных запросов и количество отправленных запросов в секунду;
- `checks` – процент успешно выполненных запросов.

Проведено тестирование запроса на получение первых 15 товаров при загрузке страницы. Тем самым, используя специально разработанный для этого случая скрипт стресс-тестирования на языке программирования JavaScript, были получены метрики производительности сервера для их оценки (см. рис. 5).

При оценке полученных метрик необходимо учитывать наличие кэширования ответов HTTP-запросов в Elasticsearch. При проведении стресс-тестирования на указанной выше программно-аппаратной платформе с созданием 250 виртуальных пользователей количество отправленных запросов в секунду было примерно равно 247, среднее время выполнения запроса – 0.3 секунды, причем минимальное время выполнения запроса – 0.012 секунды, а максимальное – 0.6 секунды. Таким образом, результаты тестирования можно считать вполне приемлемыми.

```

default ✓ [=====] 250 VUs 10s

✓ Successful request

checks.....: 100.00% ✓ 2500      x 0
data_received.....: 311 MB 31 MB/s
data_sent.....: 3.8 MB 372 kB/s
http_req_blocked.....: avg=751.48µs min=926ns med=3.04µs max=55.19ms p(90)=91.57µs p(95)=918.83µs
http_req_connecting.....: avg=670.52µs min=0s med=0s max=55.15ms p(90)=4.77µs p(95)=811.12µs
http_req_duration.....: avg=317.32ms min=12.56ms med=329.42ms max=607.49ms p(90)=503.67ms p(95)=525.77ms
  { expected_response:true }...: avg=317.32ms min=12.56ms med=329.42ms max=607.49ms p(90)=503.67ms p(95)=525.77ms
http_req_failed.....: 0.00% ✓ 0      x 2500
http_req_receiving.....: avg=116.7µs min=48.97µs med=93.44µs max=2.58ms p(90)=204.13µs p(95)=264.76µs
http_req_sending.....: avg=143.87µs min=5.31µs med=16.84µs max=43.64ms p(90)=156.26µs p(95)=501.11µs
http_req_tls_handshaking.....: avg=0s min=0s med=0s max=0s p(90)=0s p(95)=0s
http_req_waiting.....: avg=317.06ms min=12.38ms med=329.05ms max=607.32ms p(90)=503.53ms p(95)=525.65ms
http_reqs.....: 2500 246.902456/s
iteration_duration.....: avg=318.78ms min=13.11ms med=330.8ms max=609.7ms p(90)=503.92ms p(95)=526.12ms
iterations.....: 2500 246.902456/s
vus.....: 250 min=250 max=250
vus_max.....: 250 min=250 max=250

```

Рис. 5. Результат стресс-тестирования

Метод тестирования стабильности – метод нефункционального тестирования, который используется для проверки производительности веб-приложения при длительных рабочих нагрузках. Для реализации тестирования стабильности был написан скрипт, результаты выполнения которого приведены на рис. 6.

Тестирование стабильности проведено с использованием 20 виртуальных пользователей при длительности, равной 10 минутам. При этом общее количество запросов, отправленных пользователями за этот период, составило 12000, а среднее время выполнения одного запроса – ~0.035 секундам. Что позволило сделать вывод об успешно пройденном тестировании: модуль работал стабильно, с приемлемой производительностью без каких-либо выявленных в процессе тестирования сбоев.

```

default ✓ [=====] 20 VUs 10m00.4s/10m0s 12000/12000 shared iters

✓ Successful request

checks.....: 100.00% ✓ 12000 x 0
data_received.....: 1.5 GB 2.5 MB/s
data_sent.....: 18 MB 30 kB/s
http_req_blocked.....: avg=7.27µs min=1.34µs med=5.02µs max=1.19ms p(90)=8.34µs p(95)=9.57µs
http_req_connecting.....: avg=804ns min=0s med=0s max=1.16ms p(90)=0s p(95)=0s
http_req_duration.....: avg=34.59ms min=5.96ms med=34.87ms max=78.38ms p(90)=51.51ms p(95)=54.63ms
  { expected_response:true }...: avg=34.59ms min=5.96ms med=34.87ms max=78.38ms p(90)=51.51ms p(95)=54.63ms
http_req_failed.....: 0.00% ✓ 0 x 12000
http_req_receiving.....: avg=104.27µs min=51.62µs med=89.46µs max=4.17ms p(90)=129.9µs p(95)=168.99µs
http_req_sending.....: avg=94.88µs min=6.89µs med=33.5µs max=3.93ms p(90)=303.9µs p(95)=494.44µs
http_req_tls_handshaking.....: avg=0s min=0s med=0s max=0s p(90)=0s p(95)=0s
http_req_waiting.....: avg=34.39ms min=5.75ms med=34.66ms max=78.23ms p(90)=51.35ms p(95)=54.49ms
http_reqs.....: 12000 19.986221/s
iteration_duration.....: avg=35.09ms min=6.4ms med=35.33ms max=78.92ms p(90)=52.01ms p(95)=55.15ms
iterations.....: 12000 19.986221/s
vus.....: 20 min=20 max=20
vus_max.....: 20 min=20 max=20

```

Рис. 6. Результат тестирования стабильности

## Выводы

Проведенное в рамках работы покомпонентное и комплексное тестирование разработанного программного продукта доказало устойчивость, целостность использованных в нем программных решений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вигерс, К. Разработка требований к программному обеспечению. 3-е изд., дополненное [Текст] / К. Вигерс, Д. Битти; Пер. с англ. – М.: Издательство «Русская редакция»; СПб.: БХВ-Петербург, 2014 – 736 с.
2. Тестирование программного обеспечения. Учебное пособие. [Электронный ресурс].– Электрон. текстовые дан. – Режим доступа URL: <http://juice-health.ru/program/software-testing/488-software-testing-tutorial> (дата обращения: 31.05.2022).
3. Методы тестирования программного обеспечения. [Электронный ресурс].– Электрон. текстовые дан. – Режим доступа URL: <http://juice-health.ru/program/software-testing/495-software-testing-methods> (дата обращения: 31.05.2022).
4. Майерс, Г. Искусство тестирования программ/Пер. с англ. под ред. Б. А. Позина. – М.: Финансы и статистика, 1982 – 176 с.
5. Аксёнов Д. О., Хафизов Е. У., Рябов М. А. Система управления тестированием программного обеспечения. Патент на изобретение

№ RU 2774659 C1, Заявка № 2021113580; Заявл.: 13.05.2021; Опубл.: 21.06.2022.

6. Тестирование производительности API с помощью k6 [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа URL: <https://testengineer.ru/testirovanie-proizvoditelnosti-api-s-pomoshchyu-k6/> (дата обращения: 27.05.2022).

**Пьявченко Олег Алексеевич** – Южный федеральный университет; e-mail: [opyavchenko@sfedu.ru](mailto:opyavchenko@sfedu.ru); 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; кафедра математического обеспечения и применения ЭВМ; студент.

**Pyavchenko Oleg Alekseevich** – Southern Federal University; e-mail: [opyavchenko@sfedu.ru](mailto:opyavchenko@sfedu.ru); 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; the Department of Mathematical Support and Application of Computers; student.

УДК.621.382

Зикий Анатолий Николаевич, Кочубей Алексей Сергеевич

### **ДЕТЕКТОР ДЕЦИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН**

*Исследован полупроводниковый коаксиальный детектор дециметрового диапазона волн. Даны: схема и конструкция детектора. Приведены методика и результаты эксперимента. Основным результатом исследования являются частотная зависимость чувствительности по току и амплитудная характеристика детектора. Показано достижение следующих параметров:*

- *диапазон рабочих частот не менее 0,1 – 3 ГГц;*
- *чувствительность по току не менее 35 мкА/мВт;*
- *динамический диапазон входных сигналов не мене 25 дБ;*
- *сопротивление источника сигнала 50 Ом;*
- *неравномерность чувствительности по току не более 6 дБ.*

*Полупроводниковый детектор, частотная характеристика чувствительности по току, динамический диапазон, неравномерность чувствительности, дециметровый диапазон длин волн.*

Zikiy Anatoly Nikolaevich, Kochubey Alexey Sergeevich

### **DECIMETER WAVE DETECTOR**

*A semiconductor coaxial detector of the decimeter wave range is investigated. The scheme and design of the detector are given. The method and results of the experiment are presented. The main result of the study is the frequency dependence of the current sensitivity and the amplitude characteristic of the detector. The following parameters are shown to be achieved:*

- *operating frequency range of at least 0.1-3 GHz;*
- *current sensitivity of at least 35  $\mu$ A / mW;*
- *the dynamic range of the input signals is not less than 25 dB;*
- *the resistance of the signal source is 50 ohms;*
- *uneven current sensitivity of no more than 6 dB.*

*Semiconductor detector, frequency response of current sensitivity, dynamic range, sensitivity unevenness, decimeter wavelength range.*

## Введение

Детекторы являются обязательным элементом в приёмной и передающей аппаратуре. Их описанию и исследованию посвящено значительное число работ, в том числе монографии [1, 2], учебные пособия [3, 4], статьи [5, 6], диссертации [7, 8], реклама [9, 10], однако эта тема далеко ещё не исчерпана в связи с повышением требований к электрическим параметрам, появлением новой элементной базы, новых конструктивно-технологических решений. Целью данной работы является исследование основных параметров и характеристик детектора дециметрового диапазона волн. Объектом исследования является коаксиальный детектор с корпусированным диодом.

К детектору предъявляются следующие требования:

- диапазон рабочих частот от 100 МГц до 3 ГГц;
- чувствительность по току не менее 35 мкА/мВт;
- динамический диапазон входных сигналов не менее 25 дБ;
- сопротивление источника сигнала 50 Ом;
- сопротивление нагрузки типовое 1 – 10 кОм;
- неравномерность чувствительности по току не более 6 дБ;
- полярность выходного сигнала отрицательная.

## Схема и конструкция

На рис. 1 представлена схема исследуемого детектора.

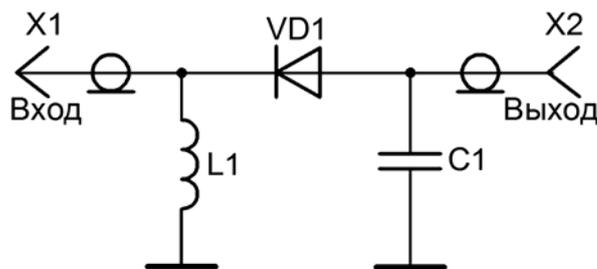


Рис. 1. Принципиальная схема детектора

Детектор состоит из полупроводникового диода VD1, катушки L1 для замыкания постоянной составляющей тока диода, конструктивного конденсатора C1 за диодом. Нагрузка обычно составляет от 1 до 10 кОм. В эксперименте нагрузкой детектора являлось входное сопротивление мультиметра в режиме измерения тока. Представление о конструкции детектора можно получить из рис. 2, на котором можно видеть фото детектора. Входной соединитель X1 представляет собой вилку тип III ГОСТ 13317-89.



Рис. 2. Фото детектора

### Эксперимент

Эксперимент проводился на установке, структурная схема которой представлена на рис. 3.

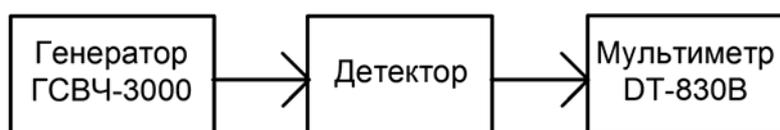


Рис. 3. Структурная схема измерительной установки

В качестве источника сигналов использован генератор стандартных сигналов типа ГСВЧ-3000. В качестве индикатора выходного сигнала использован мультиметр типа ДТ-830В.

В первом эксперименте снималась амплитудно-частотная характеристика детектора (зависимость выходного тока от частоты входного сигнала) при входной мощности 0 дБм. Результаты измерений представлены в таблице 1. По данным таблицы 1 построен график на рис. 4.

Во втором эксперименте снималась амплитудная характеристика детектора (зависимость выходного тока от мощности входного сигнала) с шагом 1 дБ. Результаты измерения представлены в табл. 2. По данным табл. 2 построен график на рис. 5. Из этого графика видно, что амплитудная характеристика близка к квадратичной, так как прирост входной мощности на 1 дБ вызывает прирост выходного тока на 2 дБ.

Таблица 1

Амплитудно-частотная характеристика детектора

f, ГГц	I <sub>ВЫХ</sub> , мкА	f, ГГц	I <sub>ВЫХ</sub> , мкА
0.1	35.4	1.6	47.1
0.2	38.9	1.7	49.6
0.3	38.1	1.8	46.1
0.4	42.9	1.9	39.2
0.5	39.0	2.0	46.6

0.6	49.5	2.1	39.1
0.7	47.7	2.2	53.3
0.8	53.9	2.3	41.3
0.9	39.1	2.4	49.1
1.0	37.9	2.5	45.7
1.1	40.8	2.6	44.7
1.2	38.3	2.7	54.0
1.3	64.7	2.8	46.4
1.4	53.5	2.9	39.9
1.5	66.2	3.0	36.7

Таблица 2

Амплитудная характеристика детектора

$P_{вх}$ , дБм	$I_{вых}$ , мкА (отрицательное)	$I_{вых}$ , дБ/мкА
-25	0.10	-20
-24	0.2	-14
-23	0.2	-14
-22	0.3	-10.46
-21	0.4	-7.96
-20	0.5	-6
-19	0.7	-3.09
-18	0.9	-0.9
-17	1.2	1.58
-16	1.5	3.52
-15	2.0	6
-14	2.6	8.3
-13	3.4	10.62
-12	4.4	12.87
-11	6.2	15.85
-10	7.9	17.95
-9	10	20
-8	12.6	22
-7	16.1	24.1
-6	20.0	26
-5	24.4	27.75

-4	29.7	29.45
-3	40.4	32.12
-2	48.1	33.64
-1	56.8	35.08
0	66.7	36.48

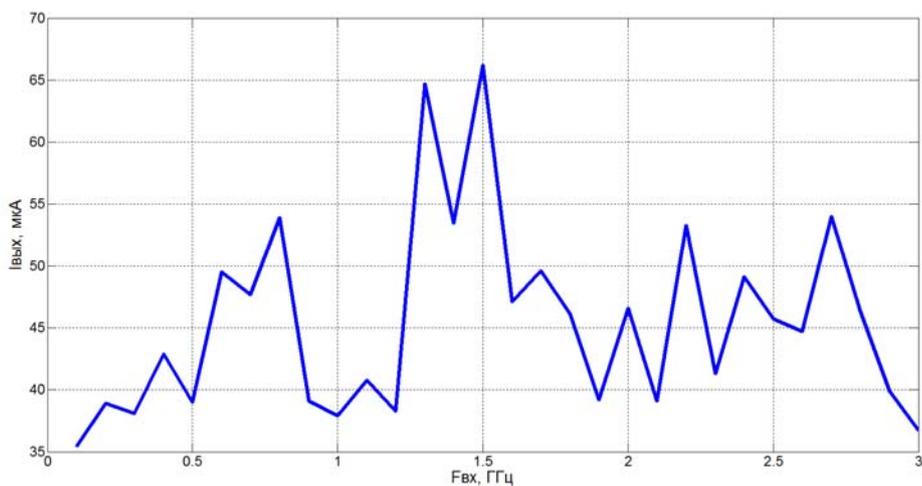


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика детектора 0,1 – 3 ГГц

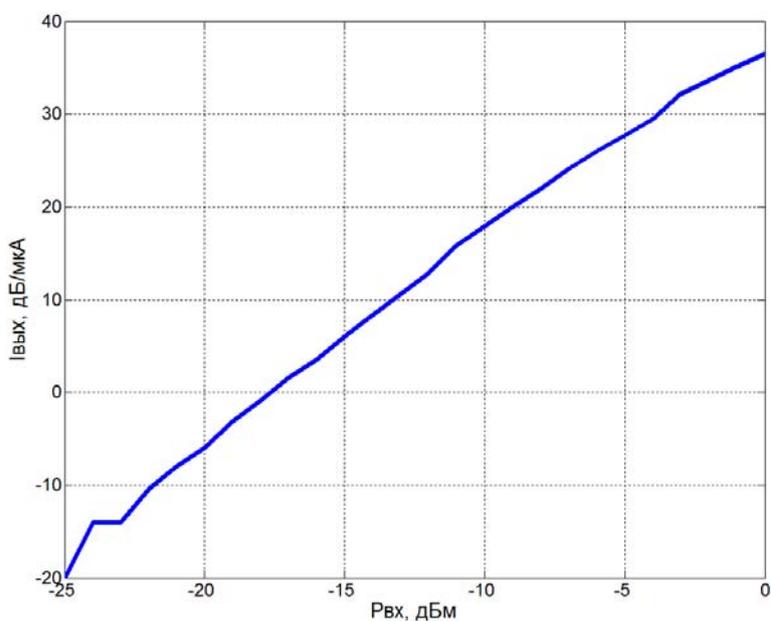


Рис. 5. Амплитудная характеристика детектора

### Выводы

Ниже в табл. 3 приведено сравнение заданных и измеренных параметров детектора.

Таблица 3

## Основные параметры детектора

Наименование параметра, размерность	Задано	Измерено
Диапазон рабочих частот, ГГц	0,1 – 3	0,1 – 3
Чувствительность по току не менее, мкА/мВт	35	35,4
Динамический диапазон входных сигналов не менее, дБ	25	25
Сопротивление источника сигнала, Ом	50	50
Сопротивление нагрузки, кОм	1 – 10	–
Неравномерность чувствительности по току, не более, дБ	6	5,5
Полярность выходного сигнала	отрицательная	отрицательная

Из этой таблицы видно, что детектор соответствует предъявленным требованиям. Детектор рекомендуется использовать в измерительных целях.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Силаев М.А., Комов А.Н.* Измерительные полупроводниковые СВЧ преобразователи. – М.: Радио и связь, 1984. – 152 с.
2. Радиоизмерительная аппаратура СВЧ и КВЧ. Узловая и элементная базы. Под ред. А.М. Кудрявцева. – М.: «Радиотехника», 2006. – 208 с.
3. *Румянцев К.Е.* Приём и обработка сигналов. Учебное пособие. – М.: «Академия», 2004. – 528 с.
4. *Пахомов В.В., Вечканова Р.А., Галдина Н.М.* Устройства СВЧ на полупроводниковых диодах. Учебное пособие. Куйбышев, КУАИ, 1989 г. – 96 с.
5. *Бутков В.П., Зикий А.Н., Зламан П.Н.* Сверхширокополосный детектор. Электротехнические и информационные комплексы и системы, 2014, №2, с. 111 – 116.
6. *Бутков В.П., Губарев Д.Е., Зикий А.Н., Зламан П.Н.* Серийные детекторы СВЧ (обзор). Инженерный вестник Дона, 2017 №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4032/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4032/).

7. *Загородний А.С.* Измерители мощности сигналов СВЧ и КВЧ диапазонов на основе диодных детекторов. Диссертация на соискание учёной степени к.т.н. Томск, ТУСУР, 2014. – 120 с.
8. *Юнусов И.В.* Разработка и исследование СВЧ гетероструктурных GaAs и монокристаллических интегральных схем на их основе. Диссертация на соискание учёной степени к.т.н. Томск, ТУСУР, 2017. – 151 с.
9. Контрольно-измерительная аппаратура и элементы СВЧ тракта. Томск, НПФ «Микран», 2016. – 100 с.
10. Коаксиальные, волноводные и оптические устройства. Каталог. Нижегородский научно-исследовательский приборостроительный институт «Кварц». Нижний Новгород, 2002. – 81 с.

**Зикий Анатолий Николаевич**, к.т.н.; с.н.с.; доцент. Южный федеральный университет, кафедра информационной безопасности телекоммуникационных систем, Россия, г. Таганрог, ул. Чехова, 2, 347922; телефон: 89185822295, e-mail: zikiy50@mail.ru.

**Кочубей Алексей Сергеевич**, магистр, инженер-конструктор 2 категории, Таганрогский научно-исследовательский институт связи; Россия, г. Таганрог, пер. Донской, 22, к. 8; 347900, телефон: 89896270939, e-mail: [l.co4ubey@yandex.ru](mailto:l.co4ubey@yandex.ru).

**Zikiy Anatoly Nikolaevich**, Candidate of Technical Sciences; senior researcher; associate professor. Southern Federal University, Department of Information Security of Telecommunication Systems, Russia, Taganrog, Chekhov str., 2, 347922; phone: 89185822295, e-mail: zikiy50@mail.ru .

**Kochubey Alexey S.**, Master's degree, Design Engineer of the 2nd category, Taganrog Scientific Research Institute of Communications; Russia, Taganrog, lane. Donskoy, 22, k. 8; 347900, phone: 89896270939, e-mail: [l.co4ubey@yandex.ru](mailto:l.co4ubey@yandex.ru) .

УДК 621.396

Лазарева Анна Эдуардовна, Радио Любовь Петровна

## **РЕЗУЛЬТАТЫ КОРРЕКЦИИ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА МАКСИМАЛЬНО ПРИМЕНИМОЙ ЧАСТОТЫ, ПОЛУЧЕННОГО ПО ДАННЫМ МЕЖДУНАРОДНОЙ СПРАВОЧНОЙ МОДЕЛИ IRI**

*Приводятся результаты прогнозирования максимально применимой частоты по данным модели IRI–2016 для трассы Хабаровск–Торы. Получены*

оценки эффективности оперативного прогноза МПЧ, а также его коррекции по данным вертикального зондирования в пункте приёма и передачи.

*Наклонное зондирование (НЗ), вертикальное зондирование (ВЗ), КВ-радиотрасса, максимальная наблюдаемая частота (МНЧ), максимальная применимая частота (МПЧ), ЛЧМ-зондирование, оперативный прогноз.*

Anna Eduardovna Lazareva, Radio Lyubov Petrovna

## **THE RESULTS OF CORRECTION OF THE REAL-TIME FORECAST OF THE MAXIMUM USABLE FREQUENCY USING THE IRI INTERNATIONAL REFERENCE MODEL**

*The results of forecasting of the maximum usable frequency using the IRI-2016 model for path Khabarovsk-Tory. Estimates have been obtained for real-time forecast MUF and its correction according to the vertical sounding data at point of receiving and point of transmission.*

*Oblique sounding, vertical sounding, HF radio path, maximum observable frequency (MOF), maximum usable frequency (MUF), chirp sounding, real-time forecast.*

### **Введение**

Наиболее эффективным методом оперативного определения характеристик КВ-радиоканала является метод наклонного зондирования. С его помощью определяется наиболее важная – максимально наблюдаемая частота (МНЧ). На основе МНЧ прогнозируется максимально применимая частота (МПЧ) на заданное время упреждения.

Актуальной проблемой остается повышение надежности, устойчивости и оперативности радиосвязи. Для её решения требуется повышение эффективности планирования КВ-радиосвязи, которая определяется, в первую очередь, точностью используемого ионосферного прогноза. Для повышения точности Международный союз электросвязи ИТУ [1] рекомендует повсеместный переход от долгосрочного прогноза к оперативному с периодом упреждения (с промежутком времени, на который разрабатывается прогноз) 1–2 часа [2].

Для прогнозирования МПЧ используются различные ионосферные модели. Наиболее известной и развитой является Международная справочная ионосферная модель IRI (International Reference of Ionosphere) [3,4], рекомендованная для международного использования Комитетом по кос-

мическим исследованиям (COSPAR) [5] и Международным союзом радио-наук (URSI) [6]. Одним из ее преимуществ является возможность осуществления коррекции модели по данным текущей диагностики параметров ионосферы.

В данной работе основное внимание уделяется оценке погрешности прогнозирования МПЧ по данным модели IRI–2016. Приведены оценки эффективности прогноза для трассы НЗ Хабаровск–Торы как без коррекции, так и с коррекцией по данным вертикального зондирования в пунктах приёма и передачи.

### **Основная часть**

Для проверки прогноза использовалась база данных: ионограммы наклонного ЛЧМ–зондирования на трассе НЗ Хабаровск–Торы, ионограммы вертикального зондирования для пункта приёма (Торы) и значения критической частоты для пункта передачи (Хабаровск).

Ранее в работе [7] проведена оценка отклонений измеренных значений МНЧ от прогнозируемых максимальных применимых частот (МПЧ) для этой трассы. Прогноз выполнялся с помощью ПО «Трасса» [8,9]. Ионосфера вдоль трассы задавалась моделью IRI–2016 [3,4]. Среднее значение отклонений прогнозных значений от наблюдаемых составило 16,3% (1.7 МГц). Максимальная погрешность прогноза наблюдалась в ночное время и достигала в отдельные дни >40 %. Минимальные значения (3–6%) приходились на полуденные часы. Все наблюдения проводились в 2018 году, когда наблюдались минимальные значения солнечной активности ( $W=11$ ).

На основе этих данных сделан вывод о целесообразности коррекции оперативного прогноза по данным текущей диагностики. В настоящем исследовании модель IRI корректировалась по данным двух ионозондов вертикального зондирования (ВЗ), расположенных в точке приёма (Торы) и передачи (Хабаровск) сигнала. Исследование критических частот по данным ВЗ приведены в работе. [10]

Коррекция модели осуществлялась по параметру – критическая частота ионосферного слоя F2 –  $f_0F2$ . Процедура коррекции была следующей. Значения частот  $f_0F2$  ВЗ определялись по ионограммам вертикального зондирования, зарегистрированным с интервалом 15 минут. Для времени, соответствовавшего времени зондирования, определялось значение  $f_0F2(URI)$  из модели IRI в точках расположения станций зондирования. Для начала и конца трассы в каждый момент времени находился корректирующий коэффициент (K):  $K = f_0F2(URI) / f_0F2(ВЗ)$ . Во время расчета (прогнозирова-

ния) МПЧ по программе [11] критическая частота  $f_0F_2$  профиля ионизации в узловых точках, следующих вдоль трассы с шагом 2302 км, находилась с учетом корректирующего коэффициента, вычисленного для точек приёма и передачи. [12]

Для оценки эффективности коррекции ионосферного прогноза суточные сеансы разбивались на четыре четырёхчасовых интервала: 00:00–04:00, 06:00–10:00, 12:00–16:00, 19:00–23:00 по местному времени. Далее вычислялось среднее абсолютное отклонение значений МНЧ, усредненных с окном 2 часа шагом 5 минут, и скорректированными значениями МПЧ.

Для пункта приёма (Торы) среднее отклонение прогнозных значений от наблюдаемых составило ~15,5%. Максимальная погрешность прогноза наблюдалась в ночные часы (21%). Минимальные значения (8–13 %) приходились на полуденные часы.

Для пункта передачи (Хабаровск) среднее отклонение составило ~15%. Максимальная погрешность прогноза наблюдалась в ночное время (22%) Минимальные значения (4–16 %) приходились на полуденные часы.

В табл. 1 для каждого временного интервала приведены средние значения средних отклонений (СО) измеренных значений МНЧ, усредненных со скользящим средним за 2 часа, от прогнозируемых значений МПЧ, а также от скорректированных значений МПЧ по данным ВЗ в точке приёма и передачи соответственно.

Таблица 1

Сравнение эффективности прогноза без коррекции и с коррекцией по данным ВЗ в пунктах приёма и передачи трассы НЗ

	Значения средних абсолютных отклонений.							
	00:00–04:00		06:00–10:00		12:00–16:00		19:00–23:00	
	МГц	%	МГц	%	МГц	%	МГц	%
Без коррекции	2.0	26.9	1.7	10.8	1.5	8.3	1.6	19.0
Коррекция по данным ВЗ Хабаровск	1.7	22.4	1.7	11.0	1.2	6.6	1.7	20.0
Коррекция по данным ВЗ Торы	1.6	21.1	1.8	13.4	1.7	10.4	1.4	17.1

На рис. 1 представлено графическое сопоставление суточного хода МНЧ и МПЧ (без коррекции модели IRI–2016 и с коррекцией по данным ВЗ в точке приёма и передачи) за 20.02.2018.

Хабаровск-Торы, 20.02.2018

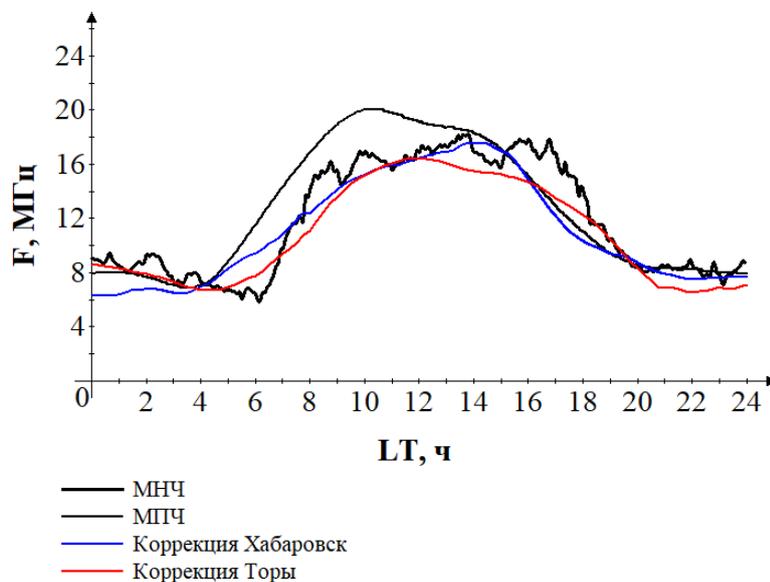


Рис.1. Сопоставление суточного хода МНЧ и МПЧ (без коррекции модели IRI–2016 и с коррекцией по данным ВЗ в точке приёма и передачи)

Сделан вывод о том, что используемая коррекция модели не привела к значительному уменьшению погрешности прогноза. Это обусловлено большой протяженностью исследуемой трассы. Представляет интерес коррекция модели по данным текущей диагностики в пункте, близком к средней точке трассы. В [13] представлены результаты коррекции прогноза по данным ВЗ в центре трассы. Здесь коррекция базовой модели позволило уменьшить среднюю абсолютную погрешность оперативного прогноза МПЧ в  $\sim 2$ – $3$  раза. Для исследуемой трассы НЗ Хабаровск–Торы в качестве центра трассы может быть предложена ионосферная станция, расположенная в Чите.

### Выводы

1 Рассчитана погрешность применения данных ионосферной модели IRI–2016 для прогноза МПЧ. Среднее значение отклонения прогнозных значений от наблюдаемых составило 16,3% (1.7 МГц).

2. Проведена оценка эффективности коррекции модели IRI–2016 для прогнозирования МПЧ по данным ВЗ. Для пункта приёма (Торы) погрешность прогноза в среднем за все время составила около 15,5%, для пункта передачи (Хабаровск) – около 15%.

3. Максимальные значения отклонений мгновенных значений МНЧ от прогнозных МПЧ (с коррекцией и без нее) наблюдалось в ночные и восходные часы местного времени.

4. Представляет интерес коррекция прогноза по данным ВЗ в пункте, близком к центру исследуемой трассы (Чита).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Международный союз электросвязи (МСЭ) // URL: <https://www.itu.int>.
2. ITU–R. Real–time channel evaluation of HF ionospheric radio circuits. ITU–R Rec. Report 889–2 (1990).
3. *Bilitza D.* IRI the International Standard for the Ionosphere. // Adv. Radio Sci. 2018. Vol. 16, pp. 1–11.
4. International Reference Ionosphere – IRI (2016) // URL: [https://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/iri2016\\_vitmo.php](https://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/iri2016_vitmo.php).
5. COSPAR // URL: <https://cosparhq.cnes.fr>.
6. Union Radio–Scientifique Internationale // URL: <https://ursi.org>.
7. *Лазарева А.Э., Радио Л.П.* Результаты прогнозирования максимально применимой частоты с использованием Международной справочной модели IRI–2016 // Тезисы докладов. – Таганрог. 2020
8. *Барабашов Б.Г., М.М. Анишин М.М.* Программный комплекс прогнозирования траекторных и энергетических характеристик радиоканалов диапазона 2–30 МГц «Трасса» (часть 1) // Техника радиосвязи. 2013. Вып. 1 (19). С. 3–10.
9. *Barabashov B.G., Anishin M.M., and Pelevin O.Y.* High–frequency field strength prediction for ionospheric propagation at short– and medium– range radio paths, Radio Sci., 44, RS0A18, doi:10.1029/2008RS004038.
10. *Лазарева А.Э.* Результаты исследования вариаций критических частот по данным вертикального зондирования // Тезисы докладов – Екатеринбург. 2022
11. ITU–R. Real–time channel evaluation of HF ionospheric radio circuits. ITU–R Rec. Report 889–2 (1990).
12. *Барабашов Б. Г, Анишин М. М, Лаврентьев О. А, Русин С. В.* Результаты наклонного зондирования на трассе протяженностью 2770 км (часть 1) // Техника радиосвязи. 2018. Вып. 3 (38).
13. *Барабашов Б. Г., Анишин М. М., Лаврентьев О. А., Радио Л. П.* Оценка эффективности использования ионосферной модели IRI для оперативного прогноза МПЧ //Техника радиосвязи. 2019. Вып. 3 (42).

**Лазарева Анна Эдуардовна**, студентка 4 курса 6 группы физического факультета Южного федерального университета, Россия, город Ростов–на–Дону, улица Зорге, 21м, квартира 57, 344015, телефон +7 918–857–97–26, email: [anna.anla.lazareva@mail.ru](mailto:anna.anla.lazareva@mail.ru).

**Радио Любовь Петровна**, кандидат физико–математических наук, доцент кафедры радиофизики, физический факультет ЮФУ, Россия, г. Ростов–на–Дону, ул. Жданова, 15, квартира 439, 344049, телефон +7 906–414–66–55, email: [lpradio@sfedu.ru](mailto:lpradio@sfedu.ru).

**Lazareva Anna Eduardovna**, student of 6<sup>th</sup> group of 4<sup>th</sup> course of the Faculty of Physics, Southern Federal University, 344015, Russia, Rostov–on–Don, 21m Zorge street, apt 57, phone: +7 918–857–97–26, email: [anna.anla.lazareva@mail.ru](mailto:anna.anla.lazareva@mail.ru).

**Radio Lyubov Petrovna**, PhD of Physics and Mathematics, associate professor of Radiophysics, Faculty of Physics of Southern Federal University, Russia, Rostov–on–Don, 15 Zhdanova street, apt 439, 344049, phone: +7 906–414–66–55, email: [lpradio@sfedu.ru](mailto:lpradio@sfedu.ru).

УДК 621.396.67

Бережной Данил Александрович, Ваганова Анастасия Алексеевна,  
Кисель Наталья Николаевна, Панычев Андрей Иванович

## **МИКРОПОЛОСКОВАЯ АНТЕННА 5G С РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ТОПОЛОГИЕЙ**

*Разработана конструкция реконфигурируемой микрополосковой слабонаправленной антенны 5G с дискретной перестройкой по частоте и переключением линейной и круговой поляризации. Выполнено моделирование конструкции антенны средствами ANSYS HFSS. Исследованы диаграммы направленности и поляризационные диаграммы антенны в частотном K-диапазоне.*

*Микрополосковая антенна, 5G, реконфигурирование, переключение частоты, переключение поляризации.*

Berezhnoy Danil Alexandrovich, Vaganova Anastasia Alekseevna,  
Kisel Natalia Nikolaevna, Panychev Andrey Ivanovich

## **5G MICROSTRIP ANTENNA WITH RECONFIGURABLE TOPOLOGY**

*The design of a reconfigurable microstrip weakly directional 5G antenna with discrete frequency tuning and switching of linear and circular polarizations has been developed. Modeling of the antenna design by means of ANSYS HFSS is performed. Radiation patterns and polarization diagrams of the antenna in the frequency K-band are investigated.*

*Microstrip antenna, 5G, reconfiguration, frequency switching, polarization switching.*

### **Введение**

К реконфигурированию конструктивных элементов антенны с целью управления ее параметрами целесообразно прибегать в микроволновом диапазоне ввиду небольших размеров антенн и возможности применения слаботочных быстродействующих электронных переключателей, таких как pin-диоды или МЭМС-переключатели [1, 2]. Известно применение реконфигурируемых антенн S и C-диапазонов в составе систем ММО [3], реализующих дублирование передаваемой информации с разделением сигналов по частоте и поляризации. Как правило, за счет реконфигурирования осуществляют либо дискретную перестройку по частоте в пределах одного диапазона [3, 4], либо переключение ортогональных поляризаций [5-8]. В [9, 10] предложена комбинированная микрополосковая симметричная антенна с набором рабочих частот в пределах участков диапазонов S и C, используемых сетями Wi-Fi, и возможностью переключения линейной и эллиптической поляризациями, для чего pin-диоды расположены как на излучающей, так и на экранирующей поверхностях.

### **Постановка задачи**

Поставим задачу разработки и исследования модели микрополосковой антенны с реконфигурируемой топологией полосков, дискретно перестраиваемой по частоте и поляризации на участке диапазона K, предполагаемого к использованию в беспроводных локальных сетях связи 5G. Моделирование выполним средствами САПР электромагнитного моделирования ANSYS HFSS.

## Разработка модели

За основу конструкции микрополосковой антенны взята топология, предложенная в [9, 10]. В отличие от симметричной антенны-прототипа в разрабатываемой антенне для создания круговой поляризации радиоволн используем возбуждение излучающего элемента в пространственной и временной квадратурах. Топология излучающей и экранирующей поверхностей полученной модели приведена на рис. 1.

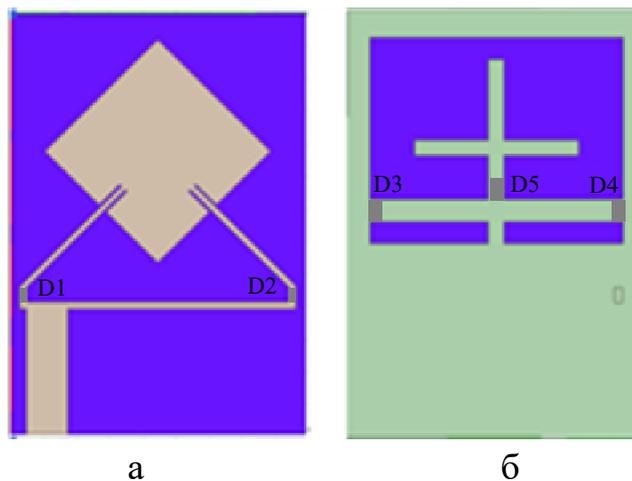


Рис. 1. Модель микрополосковой с реконфигурируемой топологией

Основу конструкции антенны составляет подложка из диэлектрика FR4 с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 4,7$  и тангенсом угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta = 0,019$ , имеющая габариты  $5 \times 7,25 \times 0,4$  мм. Излучающий элемент представляет собой ромб размером  $2,7 \times 2,7$  мм, повернутый относительно сторон подложки на  $90^\circ$  (рис. 1,а). К серединам двух смежных сторон ромба подведены линии питания с соответствующими щелями, что обеспечивает пространственное квадратурное возбуждение. Общее возбуждение антенны производится точечным источником, подводящая микрополосковая линия передачи имеет характеристическое сопротивление 50 Ом. Временное квадратурное возбуждение формируется за счет того, что правое плечо тройника длиннее левого на 3,75 мм, что составляет четверть длины волны на частоте 20 ГГц. Реконфигурация излучающей части производится изменением состояния рin-диодов D1 и D2, что влечет переключение режимов возбуждения антенны между эллиптической и линейной поляризацией.

Заземляющая сторона подложки имеет свободное от металлизации окно, позиционированное под излучающим элементом (рис. 1,б). В окне

расположена система полосок различной толщины с тремя включенными в разрывы проводников  $\text{pin}$ -диодами D3, D4, D5. Реконфигурация геометрии заземляющей поверхности с помощью переключения диодов приводит к скачкообразному изменению резонансной частоты в диапазоне 20 ГГц.

Таким образом, реконфигурирование топологии излучающей стороны антенны позволяет переключать поляризацию, а реконфигурирование топологии заземляющей стороны обеспечивает изменение рабочей частоты.

Проводящее и непроводящее состояния  $\text{pin}$ -диодов моделируются соответственно наличием и отсутствием металлической перемычки в месте их расположения.

### Результаты моделирования

По результатам моделирования различных вариантов реконфигурации топологии антенны выявлены три рабочие частотные поддиапазона, характеризующиеся не превышающими 2,0 значениями коэффициента стоячей волны. Эти поддиапазоны соответствуют разным комбинациям состояний  $\text{pin}$ -диодов D3, D4, D5 на заземляющей поверхности и локализованы вблизи частот 17,4, 18,0 и 20,0 ГГц.

На всех резонансных частотах антенна является слабонаправленной, ширина диаграммы направленности (ДН) по уровню нулей составляет от  $120^\circ$  до  $180^\circ$  в вертикальных плоскостях при коэффициенте усиления около 5,1 дБи. Для примера на рис. 2,а приведена объемная ДН антенны на частоте 18,201 ГГц, на рис. 2,б – на частоте 19,662 ГГц.

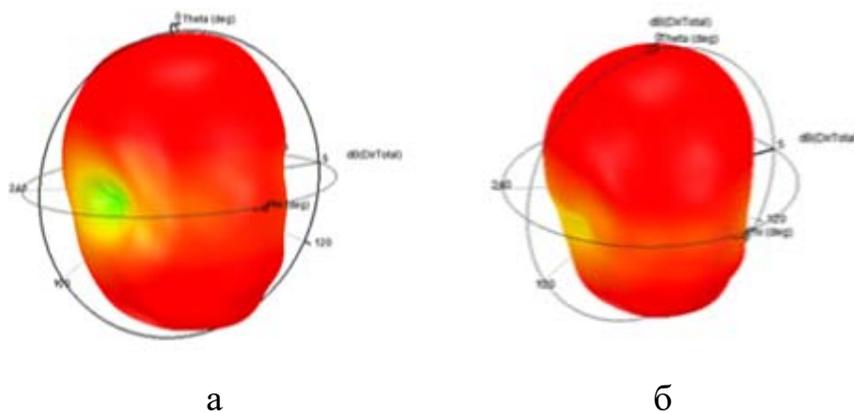


Рис. 2. Диаграммы направленности антенны на разных частотах

Поляризационные свойства антенны определяются состоянием  $\text{pin}$ -диодов D1, D2 на излучающей поверхности. В табл. 1 приведены значения коэффициента эллиптичности (КЭ) излучения антенны, вычисленного как отношение максимальной по модулю к минимальной по модулю ортого-

нальной компоненты, на резонансных частотах. Вид поляризации определен из условия, что линейной можно считать поляризацию с КЭ более 30 дБ, круговой – с КЭ менее 10 дБ, а промежуточные значения соответствуют эллиптической поляризации.

Таблица 1

Значения коэффициента эллиптичности (макс/мин) для различных конфигураций топологии антенны

Коэффициент эллиптичности, дБ	Вид поляризации	Частота, ГГц	Состояния pin-диодов
13	эллиптическая	18,013	D1+D2+D3-D4-D5-
13,6	эллиптическая	19,662	D1+D2-D3+D4+D5+
66	линейная	17,384	D1+D2-D3+D4+D5-
35	линейная	18,201	D1-D2+D3+D4+D5-
83,85	линейная	20,161	D1+D2+D3+D4+D5-
4,6	круговая	20,000	D1+D2+D3+D4+D5+

Формирование линейной и круговой поляризаций излучения поясняет рис. 3, на котором представлены соответствующие этим режимам работы распределения электрического тока на излучающем элементе антенны.

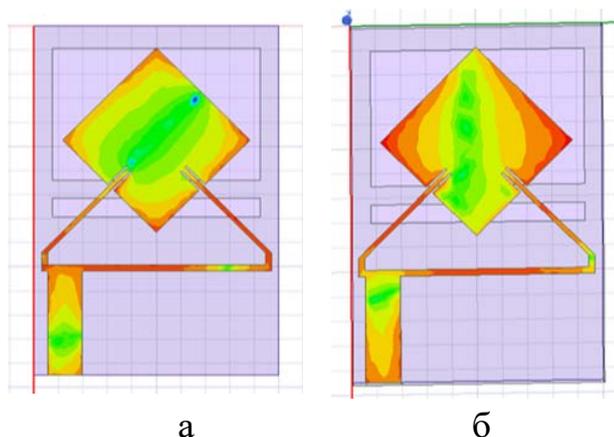


Рис. 3. Распределение электрического тока по поверхности излучающего элемента антенны при различных поляризациях излучения

В случае, когда в проводящем состоянии находится только pin-диод D2, формируется линейная поляризация (рис. 3,а), когда включены оба диода D1, D2 излучается волна с круговой поляризацией (рис. 3,б).

Рис. 4 иллюстрирует пространственное распределение коэффициента эллиптичности на различных частотах и при различных поляризациях.

Учитывая, что с сетях 5G определяющее значение имеет вид поляризации в секторе углов  $\pm 60^\circ$  относительно нормали к плоскости подложки, можно утверждать, что в поддиапазоне 20 ГГц возможно формирование как линейной (рис. 4,а), так и круговой поляризации (рис. 4,б). В поддиапазоне 18,0 ГГц также возможно формирование линейной (рис. 4,в) и близкой к круговой (рис. 4,г) поляризации.

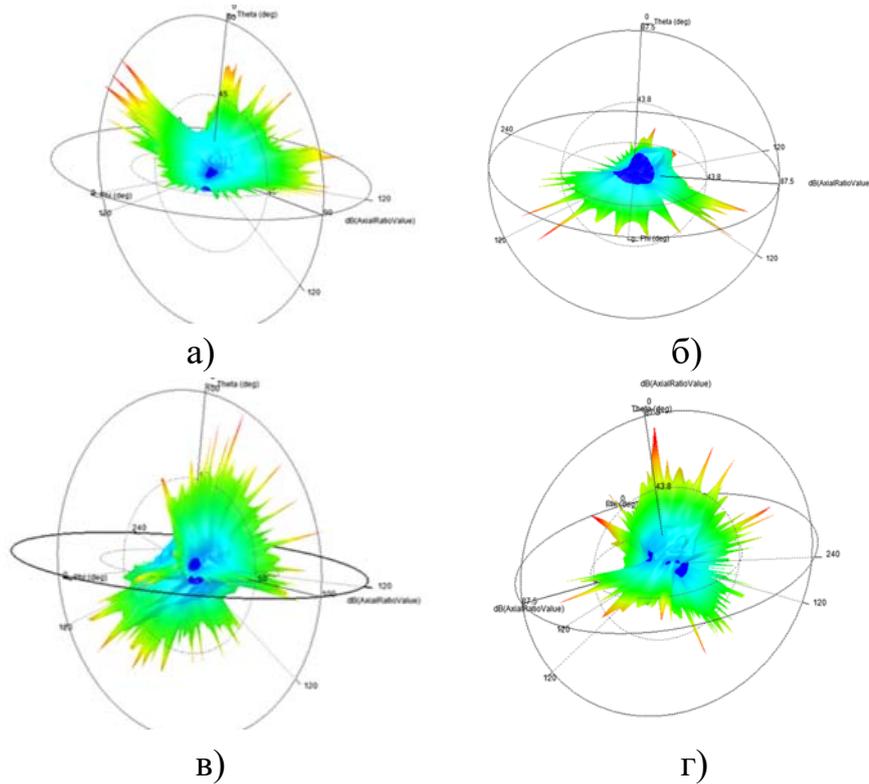


Рис. 3. Пространственные диаграммы распределения коэффициента эллиптичности излучения антенны на разных частотах

Таким образом, разработанная конструкция антенны обеспечивает переключение между ортогональными линейной и круговой поляризациями в двух частотных поддиапазонах К-диапазона. В поддиапазоне 17,4 ГГц возможность переключения поляризации отсутствует, антенна всегда имеет линейную поляризацию.

### Выводы

Разработанная микрополосковая антенна с реконфигурируемой топологией полосков имеет антенные параметры, соответствующие требованиям к оборудованию сетей 5G: является слабонаправленной, в верхней и нижней полусферах ширина ДН по уровню нулей составляет от  $120^\circ$  до  $180^\circ$ , коэффициент усиления 5,1 дБи, рабочая полоса частот имеет ширину

до 400 МГц. При этом вследствие возможности реконфигурирования топологии полосков на обеих сторонах подложки антенна работает в одном из трех поддиапазонов с центральными частотами вблизи 17,4, 18,0 и 20,0 ГГц с возможностью переключения линейной и круговой поляризации в двух верхних поддиапазонах.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Haupt R.L., Lanagan M.* Reconfigurable antennas // *IEEE Antennas Propag. Mag.* 2013, vol. 55(1), pp. 49–61.
2. *Borhani M., Rezaei P., Valizade A.* Design of a Reconfigurable Miniaturized Microstrip Antenna for Switchable Multiband Systems // *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 15, 2016, pp.822-825.
3. *Hassan M.M., Zahid Z., Khan A.A., Rashid I., Rauf A., Maqsood M.* Two element MIMO antenna with frequency reconfigurable characteristics utilizing RF MEMS for 5G applications // *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 34, 2020 - Issue 9: Massive MIMO Toward 5G. pp. 1210-1224.
4. *Han L., Wang C., Chen X., et al.* Compact frequency–reconfigurable slot antenna for wireless applications // *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.* 2016, vol. 15, pp. 1795-1798.
5. *Roseli W.I., Mokhtar N.H., Ali M.T.* Polarization Reconfigurable Microstrip Patch Antenna for Wireless Communication Applications // 2018 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Busan, Korea (South), 23-26 Oct. 2018.
6. *Ji L.Y., Qin P.Y., Guo Y.J., Fu G., Mittra R.A.* Wideband Polarization Reconfigurable Antenna for WLAN Applications // 2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 10-15 April 2016, Davos, Switzerland.
7. *Lee S.W., Sung Y., Lee S.J., Yoon H.S. and Park H.J.* A reconfigurable patch antenna with symmetrical structure for polarization diversity // 2015 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 13-17 April 2015, Lisbon, Portugal.
8. *Song T., Lee Y., Ga D., Choi J.* A Polarization Reconfigurable Microstrip Patch Antenna using PIN Diodes // *Proceedings of APMC 2012*, Kaohsiung, Taiwan, Dec. 4-7, 2012, pp. 616-618.
9. *Vaganova A.A., Kisel N.N., Panychev A.I.* Microstrip reconfigurable antenna with tunable frequency and polarization // *Conference Proceedings – 2021 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves, RSEMW 2021*, 2021, pp. 127-130.

10. *Ваганова А.А., Кисель Н.Н., Паньчев А.И.* Направленные и поляризационные свойства микрополосковой реконфигурируемой антенны, перестраиваемой по частоте и поляризации // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2021. – № 2 (219). – С. 74-83.

**Бережной Данил Александрович**, студент института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, email: diardberg@mail.ru.

**Ваганова Анастасия Алексеевна**, ассистент института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, email: vaganova@sfnedu.ru.

**Кисель Наталья Николаевна**, кандидат технических наук, доцент института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (8634) 37-16-34, email: nnkisel@sfnedu.ru.

**Паньчев Андрей Иванович**, кандидат технических наук, доцент института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (8634) 37-16-34, email: aipanychev@sfnedu.ru.

**Berezhnoy Danil Aleksandrovich**, student of the Institute of Radio Engineering Systems and Management of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 44, 347922, e-mail: diardberg@mail.ru.

**Vaganova Anastasia Alekseevna**, Assistant at the Institute of Radio Engineering Systems and Management of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 44, 347922, e-mail: vaganova@sfnedu.ru.

**Kisel Natalia Nikolaevna**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), associate Professor of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 44, 347922, phone: +7 (8634) 37-16-34, e-mail: nnkisel@sfnedu.ru.

**Panychev Andrey Ivanovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), associate Professor of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 44, 347922, phone: +7 (8634) 37-16-34, email: aipanychev@sfnedu.ru.

УДК 621.371

Косак Роман Эдуардович, Геворкян Армен Валерьевич,  
Юханов Юрий Владимирович

## **ИЗЛУЧАТЕЛЬ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ УЗКОУГОЛЬНОГО СКАНИРОВАНИЯ**

*В статье приведены результаты исследования улучшения характеристик излучения излучателя фазированной антенной решетки на основе антенны Вивальди. Рассмотрено влияние размера и местоположения металлических пластин на краях излучателя. Характеристики получены для сканирования в E-плоскости в секторе углов  $\pm 30^\circ$  в сверхширокой полосе частот. Определено, что введение вставок высотой 120,5 и шириной 2 мм обеспечивает наилучший средний уровень КСВН при коэффициенте перекрытия более 3. Практически во все рабочей полосе частот КСВН  $\leq 1,85$ . Использование же вставок высотой 100,5 и шириной 2,5 мм обеспечивает наибольший коэффициент перекрытия по уровню КСВН  $\leq 3$ : рабочая полоса частот располагается в диапазоне 289 – 1053 МГц (3,644:1). Излучатель Вивальди, режим сканирования, фазированная антенная решетка, сверхширокая рабочая полоса частот, КСВН, КУ.*

Roman Eduardovich Kosak, Armen Valerievich Gevorkyan,  
Yury Vladimirovich Yukhanov

## **RADIATOR PHASED ARRAY IN NARROW-ANGLE SCANNING MODE**

*This paper presents the results of improving the radiation characteristics of a Vivaldi antenna in phased array. The effect of the size and location of metal inserts along sides of antenna are showed. The results were obtained with scanning mode in the E-plane in the sector of angles up to  $\pm 30^\circ$  in the ultra-wide frequency band.*

*It was determined that using inserts with the height is equal to 120.5 mm and the width is equal to 2 mm provides the best average level of VSWR with an overlap ratio of more than 3. In almost all operating frequency band VSWR  $\leq 1.8$ .*

*Using inserts with the height is equal to 100.5 mm and the width is equal to 2.5 mm provides maximum overlap ratio on the level of VSWR  $\leq 3$ : the operating frequency band is in the range of 289 – 1053 MHz (3.644:1).*

*Vivaldi radiator, scanning mode, phased array, ultra-wide operating frequency band, VSWR, RG.*

## **Введение**

Современные беспроводные системы передачи информации должны быть широкополосными или сверхширокополосными, недорогими в изготовлении, а также должны обладать высокой скоростью передачи сообщений. В последнее время довольно большое распространение получили сверхширокополосные антенны – устройства, характеристики излучения которых слабо меняются при изменении частоты колебаний. В традициях российской радиотехники сверхширокополосными (СШП) считаются радиосигналы с шириной полосы более октавы. Основное преимущество СШП сигналов перед узкополосными и широкополосными сигналами заключается в том, что они могут передавать большее количество информации. В связи с этим разработка антенн и фазированных антенных решеток (ФАР), имеющих хорошие характеристики излучения в сверхширокой полосе частот, является актуальной задачей [1]. Довольно перспективным для построения СШП ФАР является использование антенны Вивальди. Она представляет собой подложку из диэлектрика, на которую нанесён слой металлизации со щелью, расширяющейся по экспоненциальному закону. Эта антенна была представлена на 9-й Европейской конференции по СВЧ в 1979 году Петером Гибсоном. На ее характеристики влияют толщина и диэлектрическая проницаемость подложки, форма конструкции. Направление максимума излучения соответствует направлению, в котором происходит расширение конической щели [2].

Электрическое сканирование позволяет осуществлять сопровождение движущихся объектов и определение их угловых координат. Применение ФАР позволяет реализовать высокую скорость обзора пространства [3].

## **Основная часть**

### *1. Излучатель Вивальди без вставок*

Рассмотрим излучатель Вивальди, выполненный на основе [4]. Геометрические размеры антенны: высота 200 мм, ширина 80 мм, ширина экрана 100 мм. Питание производится с помощью коаксиального кабеля. Подложка выполнена из материала RT/duroid 5880 с относительной диэлектрической проницаемостью 2,2. Ее толщина 0,5 мм (рис. 1).

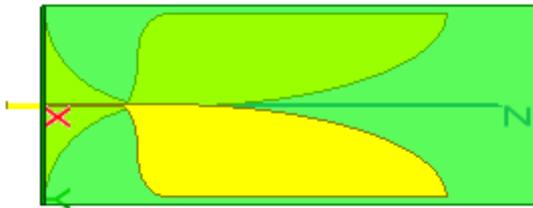


Рис. 1. Вид излучателя без вставок

Исследуем характеристики излучения излучателя: коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) и коэффициент усиления (КУ) в диапазоне от 200 до 1200 МГц. Здесь и далее, на всех графиках характеристик излучения каждой кривой соответствует своё значение угла сканирования:  $0^\circ$  (темно-зеленая сплошная линия),  $15^\circ$  (фиолетовый короткий пунктир) и  $30^\circ$  (красный длинный пунктир). Для излучателя, представленного на рис. 1, графики КСВН и КУ приведены на рис. 2 и 3 соответственно.

Следует отметить, что КУ на всех графиках будет выводиться в децибелах.

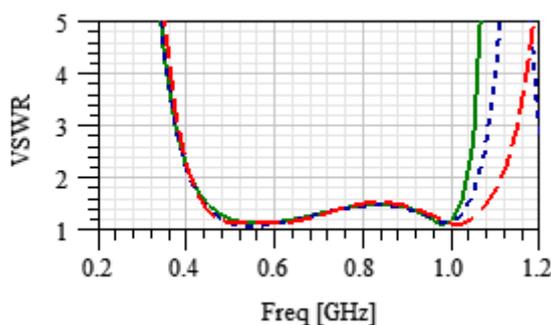


Рис. 2. КСВН излучателя без вставок

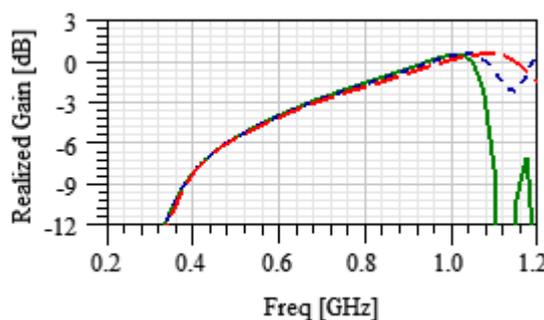


Рис. 3. КУ излучателя без вставок

Из графиков, представленных на рис. 2, видно, что рабочая полоса частот по уровню КСВН  $\leq 3$  располагается в диапазоне 381 – 1052 МГц (2,761:1). Согласно графикам, представленным на рис. 3, КУ в рассматриваемом диапазоне от -9,1 до 0,5 дБ.

## 2. Излучатель Вивальди с добавлением пластин размером $120,5 \times 2$ мм

Рассмотрим характеристики излучения излучателя при введении пластин различного размера по краям.



Рис. 4. Вид излучателя с пластинами размером  $120,5 \times 2$  мм

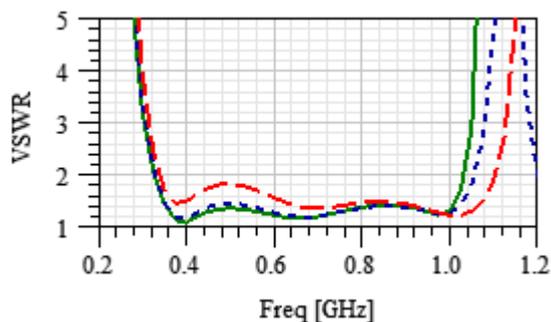


Рис. 5. КСВН излучателя с пластинами размером  $120,5 \times 2$  мм

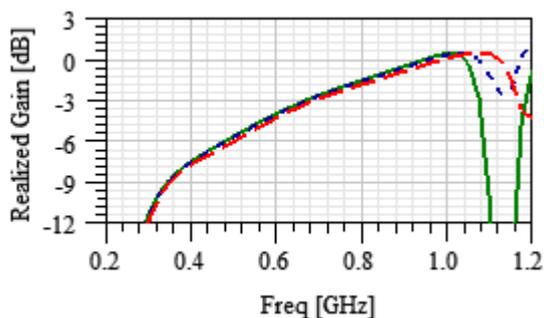


Рис. 6. КУ излучателя с пластинами размером  $120,5 \times 2$  мм

Из графиков, представленных на рис. 5, видно, что рабочая полоса частот по уровню КСВН  $\leq 3$  располагается в диапазоне 315 – 1050 МГц (3,333:1). Согласно графикам, представленным на рис. 6, КУ в рассматриваемом диапазоне от -10,8 до 0,4 дБ. Практически во всей рабочей полосе частот КСВН  $\leq 1,85$ .

3. Излучатель Вивальди с добавлением пластин размером  $100,5 \times 2,5$  мм

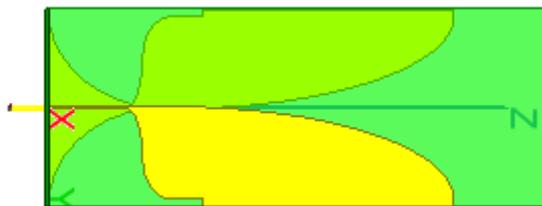
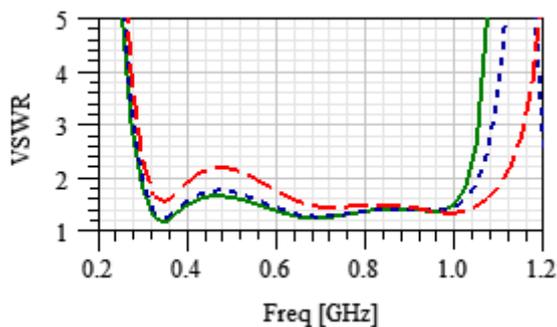
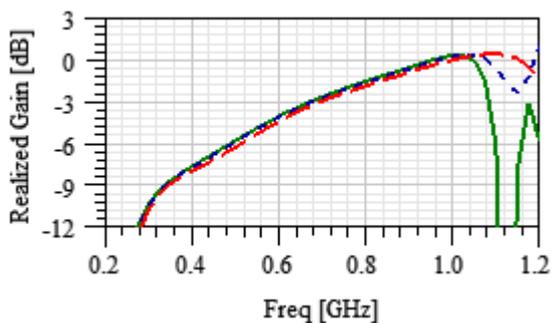


Рис. 7. Вид излучателя с пластинами размером  $100,5 \times 2,5$  мм



*Рис. 8. КСВН излучателя  
с пластинами  
размером  $100,5 \times 2,5$  мм*



*Рис. 9. КСВН излучателя  
с пластинами  
размером  $100,5 \times 2,5$  мм*

Из графиков, представленных на рис. 8, видно, что рабочая полоса частот по уровню КСВН  $\leq 3$  располагается в диапазоне 289 – 1053 МГц (3,644:1). Согласно графикам, представленным на рис. 9, КУ в рассматриваемом диапазоне от -11,5 до 0,4 дБ.

### **Выводы**

Таким образом, рассмотрено влияние сплошных металлических пластин различного размера на характеристики излучения излучателя Вивальди. Введение вставок размером  $120,5 \times 2$  мм обеспечивает наилучший средний уровень КСВН при коэффициенте перекрытия более 3. Практически во всей рабочей полосе частот КСВН  $\leq 1,85$ .

Использование вставок размером  $100,5 \times 2,5$  мм обеспечивает наибольший коэффициент перекрытия по уровню КСВН  $\leq 3$ . Рабочая полоса частот по уровню КСВН  $\leq 3$  располагается в диапазоне 289 – 1053 МГц (3,644:1).

Работа выполнена в Центре коллективного пользования «Прикладная электродинамика и антенные измерения» Южного федерального университета в г. Таганроге.

**Работа была выполнена в Лаборатории "Системы связи" в рамках реализации Программы Стратегического Академического Лидерства Южного Федерального Университета (Государственная программа поддержки университетов "Приоритет 2030").**

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Рязанов И. Г.* Анализ и синтез широкополосной планарной щелевой антенны с экспоненциальным изменением ширины щели для систем широкополосного доступа / И. Г. Рязанов, А. А. Бякин, О. А. Белоусов // Вопросы со-

- временной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2013. – № 2(46). – С. 297-306.
2. Образовательные материалы для подготовки операторов РЛС <https://www.radartutorial.eu/06.antennas/an40.ru.html> (дата обращения: 02.06.2022).
  3. Воскресенский Д.И., Гостюхин В.Л., Максимов В.М., Пономарев Л.И. Устройства СВЧ и антенны. – 2 изд. – Москва: Радиотехника, 2006. – 376 с.
  4. *Kosak R.E. and Gevorkyan A.V. "Research of Ways to Improve Radiation Characteristics of Phased Array Radiator Based on Vivaldi Antenna," 2021 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW), 2021, pp. 211-214.*

**Косак Роман Эдуардович**, магистрант, старший лаборант кафедры АиРПУ ИРТСУ ЮФУ, Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (8634) 37-17-33, email: kosak@sfnedu.ru.

**Геворкян Армен Валерьевич**, к.т.н., доцент кафедры АиРПУ ИРТСУ ЮФУ, Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (8634) 37-17-33, email: airpu@tgn.sfnedu.ru.

**Юханов Юрий Владимирович**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой АиРПУ ИРТСУ ЮФУ, Россия, г. Таганрог пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (8634) 37-17-33, email: airpu@tgn.sfnedu.ru.

**Kosak Roman Eduardovich**, Master's student, senior assistant of the Department of Antennas and Radiotransmitting Devices IRESC SFU, Russia, Taganrog, Nekrasovsky lane, 44, 347922, phone: +7 (961) 287-66-77, email: kosak@sfnedu.ru.

**Gevorkyan Armen Valerievich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.) in Engineering sciences, associate Professor of the Department of Antennas and Radiotransmitting Devices IRESC SFU, Nekrasovsky lane, 44, 347922, phone: +7 (8634) 37-17-33, email: airpu@tgn.sfnedu.ru.

**Yukhanov Yury Vladimirovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department Chair of Antennas and Radiotransmitting Devices IRESC SFU, Russia, Taganrog, Nekrasovsky lane, 44, 347922, phone: +7 (8634) 37-17-33, email: airpu@tgn.sfnedu.ru.

УДК 621.396.673

Пеньковская Татьяна Константиновна, Геворкян Армен Валерьевич,  
Юханов Юрий Владимирович

**ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ДИАГРАММООБРАЗУЮЩЕЙ СХЕМЫ  
ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ ПОДРЕШЕТКИ НА  
ОСНОВЕ НИЗКОПРОФИЛЬНЫХ ПЕЧАТНЫХ ДИПОЛЬНЫХ  
АНТЕНН**

*В настоящей работе, представлены варианты реализаций диаграммообразующей схемы фазированной антенной подрешетки на основе низкопрофильных печатных дипольных антенн и приведены характеристики их излучений. За основу взята диаграммообразующая схема синфазной антенной подрешетки на основе T-образного делителя мощности.*

*Диаграммообразующая схема, низкопрофильная антенна, печатная антенна, дипольная антенна, линия задержки, диаграмма направленности.*

Penkovskaya Tatyana Konstantinovna, Gevorkyan Armen Valerievich,  
Yukhanov Yury Vladimirovich

**IMPLEMENTATION OPTIONS FOR THE DIAGRAM-FORMING  
SCHEME OF A PHASED ANTENNA SUBLATTICE BASED ON  
LOW-PROFILE PRINTED DIPOLE ANTENNAS**

*In this paper, variants of implementations of the diagram-forming scheme of a phased antenna sublattice based on low-profile printed dipole antennas are presented and the characteristics of their emissions are given. They are based on a diagram-forming scheme of a common-mode antenna sublattice based on a T-shaped power divider.*

*Diagram-forming circuit, low-profile antenna, printed antenna, dipole antenna, delay line, directional pattern.*

**Введение**

Одной из наиболее быстро развивающихся областей радиотехники является техника антенн и устройств СВЧ. В данный момент времени особенно широко распространено использование печатных антенн. Вид и характеристики антенны зависят от способа их дальнейшей реализации. Довольно часто печатные антенны объединяют в антенные решетки [1-3],

включая фазированные [4], а также существует возможность их использования в многолучевых антенных решетках (МАР). Одним из используемых видов таких антенн являются низкопрофильные печатные дипольные антенны [5].

В настоящее время МАР имеют большое распространение и являются привлекательными для коммерческого использования в системе связи, а также радиолокации и радиопеленгации. Их привлекательность заключается в возможности одновременно поддерживать мощное излучение в разных направлениях [6].

Для МАР поворот луча является главным и необходимым условием. Существуют различные варианты поворота максимума диаграммы направленности (ДН). Яркими примерами могут являться реализация поворота луча за счет использования кривизны поверхности [7], диаграммообразующей схемы (ДОС) на основе линзы Ротмана [8], а также на основе питающих сетей [9] и других вариантов реализаций.

#### **Варианты реализации диаграммообразующей схемы фазированной антенной подрешетки и их характеристики излучения.**

В данной статье рассмотрены варианты реализации фазированной подрешетки МАР, разработанные на основе синфазной подрешетки с Т-образным делителем мощности, представленной ранее в [10], где за основу излучающей части взята печатная дипольная антенна [11].

Первый вариант реализации представлен на рис. 1(а) и имеет вид схожий с синфазной подрешеткой, но здесь в верхней части подложки присутствуют диэлектрические вставки с большей диэлектрической проницаемостью чем у подложки. Нормированные ДН этой подрешетки приведены на рис. 1(б). Здесь и далее ДН представлены на частотах 1,9 ( — ), 2,0 ( - - - ), 2,1 ( ··· ), 2,2 ( — — ), 2,3 ( - - - ) и 2,4 ГГц ( ····· ).

Из рисунка видно, что максимумы ДН, для данного варианта ДОС. Повернулись на не более 13 градусов.

В дальнейшем фазовый сдвиг в ДОС будут реализовываться с помощью увеличения длины полосков, то есть с помощью линии задержки (ЛЗ). Шаг ЛЗ рассчитывается с учетом диэлектрических характеристик материала.

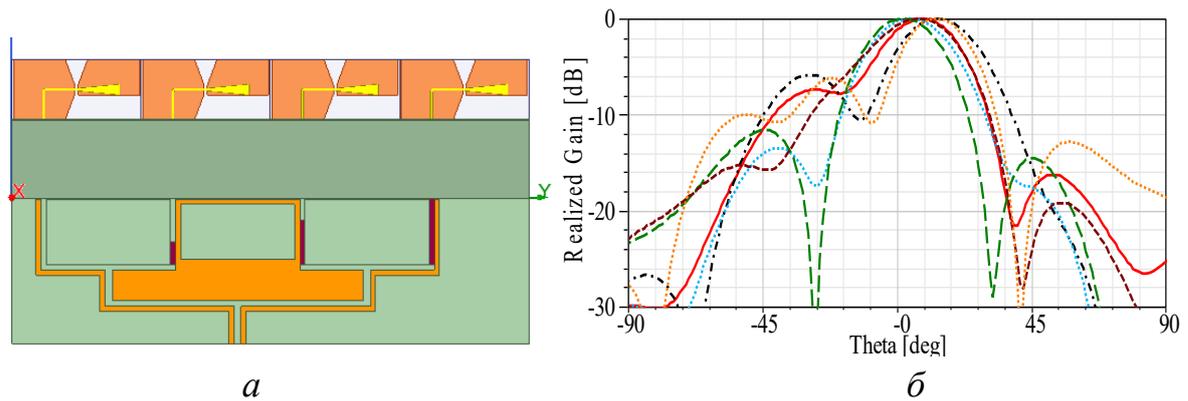


Рис.1. Вариант ДОС с диэлектрическими вставками: (а) модель, (б) нормированные ДН

Второй вариант реализации ДОС имеет вид, представленный на рис. 2 (а). Здесь шаг ЛЗ равен примерно 13,6 мм, а сама ЛЗ расположена в верхней и средней части ДОС. Тут же на рис. 2(б) представлены нормированные ДН.

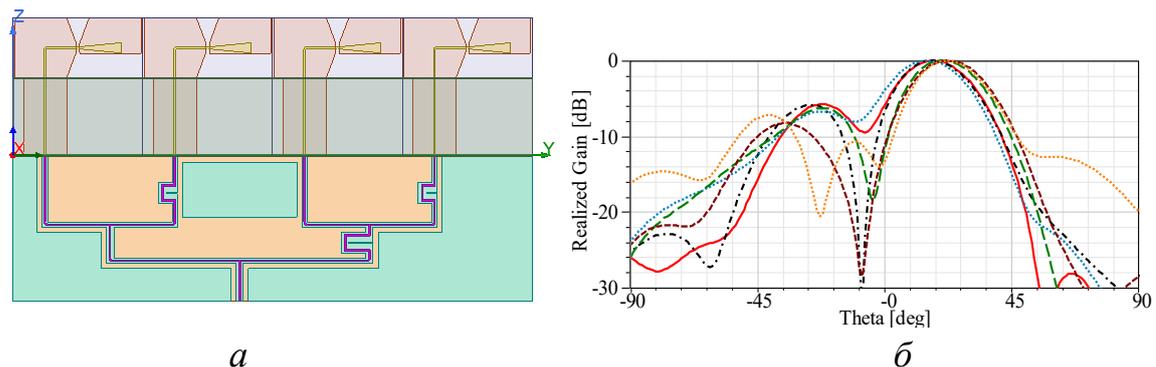


Рис.2. Вариант ДОС с ЛЗ без закруглений: (а) модель, (б) нормированные ДН

Исходя из представленных графиков видно, что максимумы ДН, для данного варианта реализации ДОС, согласно увеличению частоты от 1,9 до 2,4 ГГц с шагом 0,1 ГГц находятся на 17, 17, 15, 20, 22 и 22°. Уровень боковых лепестков не превышает -5,7 дБ, а ширина ДН по уровню - 3 дБ равна примерно 25 градусов.

Следующий, третий вариант, имеет вид, представленный на рис. 3(а). Здесь ЛЗ, расположены в верхней и средней части ДОС, как и в предыдущем варианте. Отличием является то, что в верхней части ЛЗ имеют скругления. Нормированные ДН для этой модели представлены на рис. 3(б).

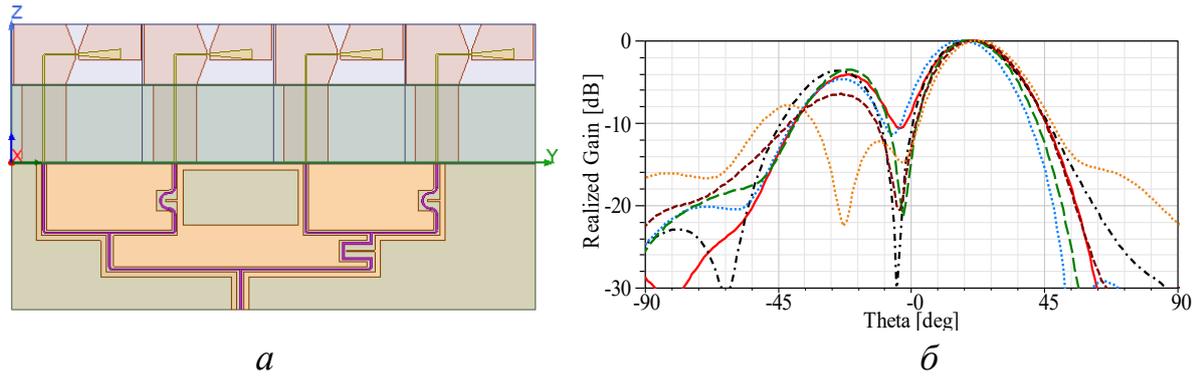


Рис.3. Вариант ДОС с закругленной ЛЗ: (а) модель, (б) нормированные ДН

Как видно из рисунка, ширина ДН по уровню - 3 дБ составляет примерно 25 градусов, а уровень боковых лепестков (УБЛ) достигает - 3,5 дБ.

Четвертый вариант реализации имеет следующую особенность его верхняя часть ДОС схожа с той, что представлена в предыдущем варианте, а ЛЗ с середины перенесена в нижнюю часть с помощью перемещения точки питания в сторону на расстояние равное задержке между соседними антеннами. Данная модель ДОС приведена на рис. 4(а), а ее нормированные ДН на рис. 4(б).

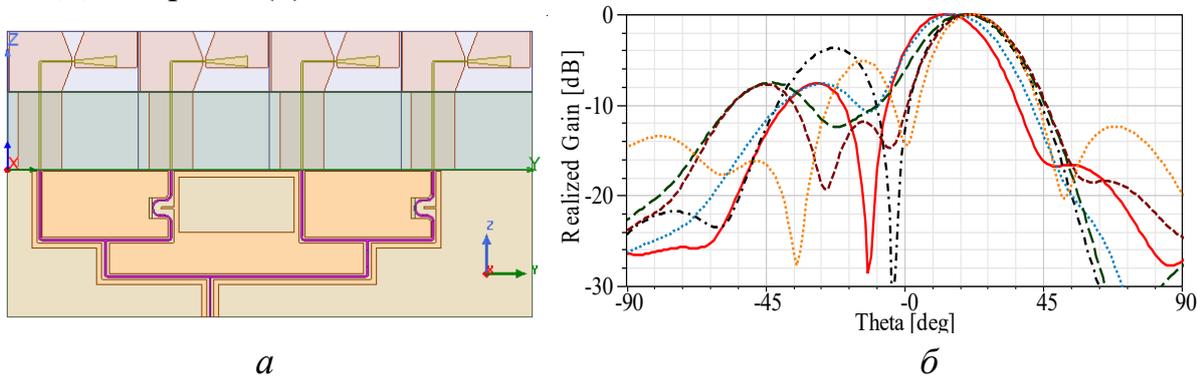


Рис.4. Вариант ДОС со сдвигом точки питания: (а) модель, (б) нормированные ДН

Исходя из представленных графиков видно, что максимумы ДН находятся на 13, 20, 16, 20, 21 и 22° в соответствии с возрастанием частоты от 1,9 до 2,4 ГГц с шагом 0,1 ГГц. Ширина ДН по уровню -3 дБ равняется примерно  $25 \pm 2^\circ$ , а УБЛ достигает -3,5 дБ.

Крайний, пятый, вариант реализации представлен на рис. 5(а) и имеет следующие особенности. Здесь все ЛЗ перенесены в верхнюю часть ДОС. Шаг ЛЗ, как и ранее, равен 13,6 мм.

Из графиков видно, что максимумы ДН находится на 22, 16, 17, 22, 21 и 22°, а УБЛ равен - 6,0; - 9,3; - 7,0; - 9,3; - 7,5 и -5,6 дБ в соответствии с

возрастанием частоты от 1,9 до 2,4 ГГц с шагом 0,1 ГГц. Ширина ДН по уровню -3 дБ изменяется в зависимости от частоты в диапазоне от 21 до 27 градусов.

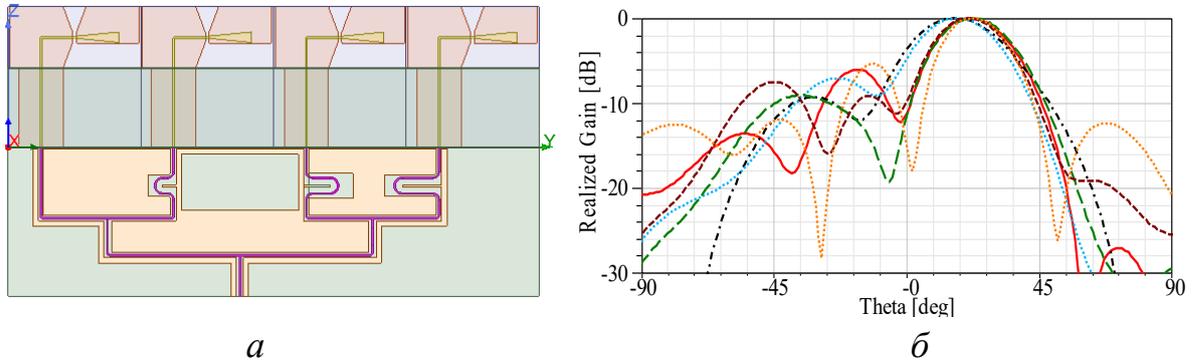


Рис.5. Вариант ДОС с линией задержки в верхней части: (а) модель, (б) нормированные ДН

Анализ ДН всех исследованных реализаций ДОС показывает, что последняя конструкция является наилучшей, так как в ее случае УБЛ наименьший. Частотные характеристики КСВН, коэффициент усиления и мощность излучения представлены, соответственно, на рис. 6-8.

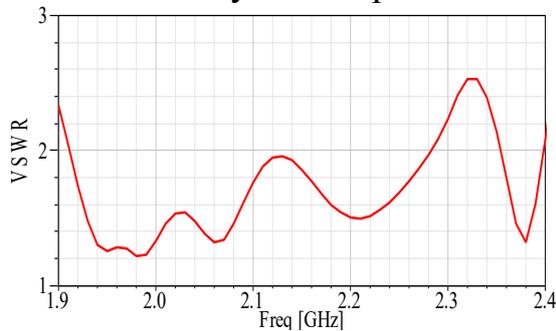


Рис.6. ЧХ КСВН

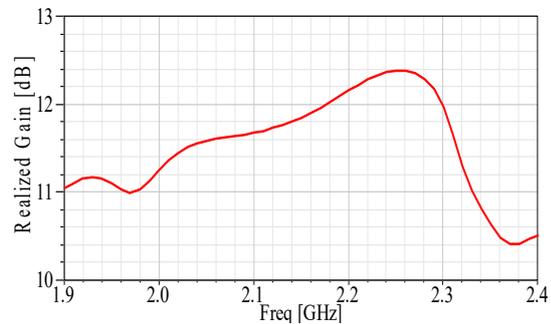


Рис.7. ЧХ КУ

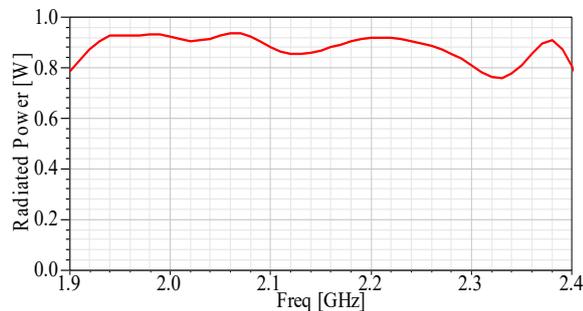


Рис.8. ЧХ мощность излучения

Из представленных графиков видно, что во всем рассматриваемом диапазоне частот от 1,9 до 2,4 ГГц КСВН не превышает 3, а рабочая полоса

частот подрешетки по уровню КСВН не более 2 находится в диапазоне от 1,91 до 2,26 ГГц. Значение коэффициента усиления в рабочей полосе частот составляет не менее 10,9 дБ, а значение мощности излучения не опускается ниже 0,8 Вт.

### **Выводы**

В ходе проведения анализа характеристик представленных вариантов реализаций ДОС фазированной антенной подрешетки на основе низкопрофильных печатных дипольных антенн, был выбран наилучший вариант, в котором все ЛЗ перенесены в верхнюю часть ДОС.

Рабочая полоса частот подрешетки по уровню КСВН не более 2 находится в диапазоне от 1,91 до 2,26 ГГц. Значение коэффициента усиления в рабочей полосе частот составляет не менее 10,9 дБ, а значение мощности излучения не опускается ниже 0,8 Вт.

Из графиков нормированных ДН в Е-плоскости видно, что максимумы ДН находятся в диапазоне углов от 16 до 22 градусов, а УБЛ не превышает -7дБ в рабочем диапазоне частот.

**Работа была выполнена в Лаборатории "Системы связи" в рамках реализации Программы Стратегического Академического Лидерства Южного Федерального Университета (Государственная программа поддержки университетов "Приоритет 2030").**

**Работа выполнена в Центре коллективного пользования «Прикладная электродинамика и антенные измерения» Южного федерального университета в г. Таганроге.**

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Milijić M., Nešić A. and Milovanović B.* Side lobe suppression of printed antenna array with perpendicular reflector // 2013 11th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services (TELSIKS). - Nis, Serbia: 2013. - PP. 517-520.
2. *Munir A., Pratiwi N. A.* Circular sector printed antenna array for S-band radar application // 2016 22nd Asia-Pacific Conference on Communications (APCC). - 2016. - PP. 609-612.
3. *Milijić M., Nešić A., Milovanović B. and Radnović I.* Wideband printed antenna array in corner reflector with cosecant square-shaped beam pattern // 2014 22nd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR). - 2014. - PP. 780-783.

4. *Ta S. X., Choo H. and Park I.* Broadband Printed-Dipole Antenna and Its Arrays for 5G Applications // *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters.* - 2017. - №16. - PP. 2183-2186.
5. *Gevorkyan A. V., Privalova T. Yu., and Yukhanov Yu. V.* Radiation Characteristics of the Low-Profile Dipole Antenna // *Progress in Electromagnetics Research Symposium.* - Japan: PIERS — Toyama, 2018. - PP. 1621-1625.
6. *Huang Kao-Cheng, Edwards David J.* Millimetre Wave Antennas for Gigabit Wireless Communications A Practical Guide to Design and Analysis in a System Context. - John Wiley & Sons Ltd, 2008. - 171-176 pp.
7. *Пеньковская Т.К.* Трехлучевая решетка печатных дипольных антенн // *Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций.* - 2021. - № 4. - С. 101.
8. *Remez J., Segal A. and Shansi R.* Dual-polarized wideband widescan multibeam antenna system from tapered slotline elements array // *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters.* - 2005. - vol. 4. - pp. 293-296.
9. *Zhang Y., Li Y., Liu P. and Zhang Z.* Dual-Beam Antenna Array using Integrated Butler Feeding Network // *2019 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP).* - 2019. - pp. 1-2.
10. *Penkovskaya T. K., Gevorkyan A. V.* Cophased Subarray of Multibeam Array Based on Printed Dipole Antennas // *2021 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW).* - 2021. - pp. 207-210.
11. *Gevorkyan A. V.* An ultra-wideband printed dipole antenna of the frequency range from 1 to 3 GHz with wide-angle scanning in the E-plane and low level of cross polarization // *J. of Phys.* - 2020. - Conf. series vol. 1499 is. 1. - p. 7.

**Пеньковская Татьяна Константиновна**, магистрант, лаборант-исследователь лаборатории «Системы связи» ИРТСУ ЮФУ, Россия, г. Таганрог, ул. Энгельса, 1, 347922, телефон: +7 (8634) 37-17-33, email: penkovskaya@sfedu.ru.

**Геворкян Армен Валерьевич**, к.т.н., доцент кафедры АиРПУ ИРТСУ ЮФУ, Россия, г. Таганрог, ул. Энгельса, 1, 347922, телефон: +7 (8634) 37-17-33, email: airpu@tgn.sfedu.ru.

**Юханов Юрий Владимирович**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой АиРПУ ИРТСУ ЮФУ, Россия, г. Таганрог, ул. Энгельса, 1, 347922, телефон: +7 (8634) 37-17-33, email: airpu@tgn.sfedu.ru.

**Penkovskaya Tatyana Konstantinovna**, Master's student, laboratory researcher of the laboratory "Communication Systems" IRESC SFU, Russia, Taganrog, st. Engelsa, 1, 347922, phone: +7 (961) 287-66-77, email: kosak@sfnedu.ru.

**Gevorkyan Armen Valerievich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.) in Engineering sciences, associate Professor of the Department of Antennas and Radiotransmitting Devices IRESC SFU, st. Engelsa, 1, 347922, phone: +7 (8634) 37-17-33, email: airpu@tgn.sfnedu.ru.

**Yukhanov Yury Vladimirovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department Chair of Antennas and Radiotransmitting Devices IRESC SFU, Russia, Taganrog, st. Engelsa, 1, 347922, phone: +7 (8634) 37-17-33, email: airpu@tgn.sfnedu.ru.

УДК 681.5.01

Федосов Валентин Петрович, Джалил Садун Джамил,  
Кучерявенко Светлана Валентиновна

**АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ПЕРЕДАЧИ ИЗОБРАЖЕНИЙ И  
ДАНЫХ В СИСТЕМЕ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОДА ХЭММИНГА НА ОСНОВЕ  
ПРИНЦИПОВ ММО**

*Эффективность беспроводных систем по передаче информации в сложной помеховой обстановке является одним из основных показателей эффективности системы, который можно охарактеризовать вероятностью ошибки в передаваемом сообщении. Эта характеристика зависит от помеховой обстановки канала связи и характера распространения сигналов в среде. Если среда имеет многолучевой характер, сигнал создает помехи приемной антенне, вызывая затухание сигнала. Так что перед разработчиком устройств беспроводной связи стоит задача повышения помехоустойчивости системы. Ее можно увеличить различными способами, например, с помощью адаптивных алгоритмов обработки пространственно-временных сигналов. В данной работе решается задача повышения помехоустойчивости в системах беспроводной связи путем применения кода Хэмминга и алгоритма адаптивной пространственно-временной обработки сигналов в приемнике на основе адаптивной антенной решетки, позволяющей осуществлять пространственную фильтрацию в условиях сложной диаграммы направленности. распространение сигнала в канале с отражениями. Расчет весов алгоритма адаптации в статье основан на теории собственных значений и векторов матрицы пространственной корреляции. Ре-*

результаты моделирования показывают, что код Хэмминга имеет хорошие улучшения для исправления ошибок. С кодом Хэмминга мы получаем усиление до 4 дБ при использовании адаптивных алгоритмов и до 4 дБ без него. Также результаты показывают, что адаптивный алгоритм значительно снижает вероятность ошибки и увеличивает пропускную способность. Можно сделать вывод, что использование адаптивных пространственно-временных алгоритмов положительно влияет на помехозащищенность при обработке сигналов в приемной системе в условиях многолучевого распространения сигнала.

Система «один вход - один выход» (Single Input Single Output - SISO); система «множественный вход - множественный выход» (Multiple Input - Multiple Output - MIMO); вероятность битовых ошибок (Bit Error Rate - BER); мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM); совместимость для микроволнового доступа (Worldwide Interoperability for Microwave Access - WiMAX); многопутьность. Код Хэмминга (Hamming code), адаптивный алгоритм (adaptive algorithm).

Fedosov Valentin Petrovich, Jaleel Sadoon Jameel,  
Kucheryavenko Svetlana Valentinovna

## **ADAPTIVE ALGORITHM FOR TRANSMISSION IMAGES AND DATA IN WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM USING HAMMING CODE BASED ON MIMO PRINCIPLES**

*The efficiency of wireless systems to transmit information in a complex interference situation is one of the main indicators of the effectiveness of the system, which can be characterized by the probability of an error in the transmitted message. This characteristic depends on the interference situation of the communication channel and the nature of the signals propagation in the medium. If the medium has a multi-path character, the signal interferes with the receiving antenna, causing signal fading. So the developer of wireless communication devices is faced with the task of increasing the noise immunity of the system. It can be increased in various ways, for example, by using adaptive processing algorithms for spatio-temporal signals. In this paper we solve the problem of improving noise immunity in wireless communication systems by applying Hamming code and an algorithm of adaptive spatial-temporal signal processing in the receiver based on an adaptive antenna array, which allows spatial filtering under conditions of a complex pattern of signal propagation in a channel with reflections. Calculation of weights for the adaptation algorithm in the article is based on the theo-*

ry of eigenvalues and vectors of the spatial correlation matrix. The simulation results show that Hamming code have a good improvement for error correction. With hamming code, we get a gain of up to 4 dB when using adaptive algorithms and up to 4 dB without it. Also, the results show that the adaptive algorithm significantly reduces the probability of error and increases the throughput. It can be concluded that the use of adaptive spatio-temporal algorithms has a positive effect on noise immunity when processing signals in the receiving system under conditions of multipath signal propagation.

*Single Input Single Output (SISO); Multiple Input; Multiple Output (MIMO); Bit Error Rate (BER); Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM); WiMAX; multipath, Hamming code, adaptive algorithm.*

### **Введение.**

В настоящее время развитие беспроводных технологий затронуло все сферы человеческой деятельности. Устройства для беспроводной передачи данных можно найти повсюду: радиовещание, телевидение, различные устройства обмена информацией [1]. Качество передаваемой информации зависит от уровня принимаемого сигнала на шумовом фоне, при увеличении расстояния между передатчиком и приемником отношение сигнал/шум снижается, в результате чего вероятность ошибочного приема информации [1, 2]. Если канал многолучевой и сигнал приходит в точку приема после многократных отражений (например, разные здания), то возможна ситуация замирания сигнала в приемнике. Эффективно контролировать замирание можно с помощью многочастотных типов модуляции, позволяющих разделить общую полосу частот на множество медленно меняющихся сигналов, менее подверженных замираниям. Примером такого вида модуляции является OFDM (мультиплексирование с ортогональным частотным разделением) [3, 4]. Одной из особенностей данной технологии является эффективное использование выделенных частот за счет ортогонального выделения поднесущих. Множество параллельных потоков данных генерируется с использованием поднесущих в общей полосе частот, которые модулируются независимо, а затем передаются в одном OFDM-символе. Этот подход преобразует частотно-избирательный канал в параллельные плоские подканалы. Поскольку расстояние между поднесущими минимально, возможности демодуляции должны сохранять ортогональность [5-9].

Передача данных по каналу связи с малой вероятностью битовой ошибки возможна до определенной скорости передачи данных при заданном отношении сигнал/шум. Поэтому, помимо адаптивного алгоритма, для повышения помехозащищенности беспроводной системы рассмотрим использование схем канального кодирования. Такое кодирование представляет собой ряд преобразований исходной битовой последовательности, в результате которых передача информационного потока становится более устойчивой к ухудшению качества передаваемой информации, вызванному шумами, помехами и замираниями сигнала. Канальное кодирование позволяет достичь компромисса между пропускной способностью и вероятностью битовой ошибки.

Ситуацию можно улучшить, используя адаптивные алгоритмы пространственно-временной обработки сигналов [6, 10]. Адаптивные антенные решетки применяются в системах связи, где необходимо сформировать характеристику направленности необходимой формы для пространственной фильтрации сигналов. В статье рассматривается случай, когда необходимо сформировать характеристику направленности приемной антенны в направлении на источник полезного сигнала и нулевую на источниках помех, а направление на тот или иной заранее неизвестно. Пространственная фильтрация позволяет исключить влияние многолучевых составляющих канала на качество передаваемой информации за счет снижения вероятности ошибок, возникающих из-за влияния замираний [11].

Оптимальный весовой вектор зависит от критерия оптимальности (критерий максимального отношения сигнал/помеха плюс шум, критерий оптимальности минимума средней мощности на выходе антенны и минимума среднеквадратичной ошибки). На практике задачей адаптации является поиск оптимальных весов, соответствующих экстремумам целевых функций адаптивной антенной решетки. На эффективность пространственной фильтрации влияет то, насколько точно оценка весового вектора получается в процессе адаптации [12].

Введенный в статье критерий адаптации позволяет выбрать путь прихода с максимальной мощностью и подавить другие. Это уменьшает интерференционные сигналы в приемной антенне и повышает помехозащищенность системы.

Назначение помехоустойчивого кодирования – защита информации от помех и ошибок при передаче и хранении информации. Помехоустойчивое кодирование необходимо для устранения ошибок, которые возникают в

процессе передачи, хранения информации. При передаче информации по каналу связи возникают помехи, ошибки и небольшая часть информации теряется.

Без использования помехоустойчивого кодирования было бы невозможно передавать большие объемы информации (файлы), т.к. в любой системе передачи и хранения информации неизбежно возникают ошибки.[13]

Код Хэмминга — наиболее известный из первых самоконтролирующихся и самокорректирующихся кодов. Позволяет устранить одну ошибку и находить двойную [14].

Коды Хэмминга представляют собой простой блочный код, обозначаемый как  $(n, k)$ , с минимальным расстоянием  $d_m = 3$ , где  $n = 2^m - 1$  длина блока, а  $k = n - m$  длина сообщения с  $m$  битами контроля четности ( $m \geq 2$ ). Такой блочный код может исправить одну ошибку в каждом блоке [15, 16]. Этот вид кодов характеризуется минимальным расстоянием между кодами, равным 3 [14]. Они имеют низкую степень избыточности и могут находить и исправлять все одиночные биты ошибок и обнаруживать двойные. Однако он не является мощным средством исправления ошибок, поскольку не позволяет исправлять ошибки в нескольких битах. Коды Хэмминга имеют следующую структуру [13].

$$(m, k) = (2^m - 1, 2^m - 1 - m),$$

где  $m = 2, 3, \dots$

Коды Хэмминга должны кодировать больше битов в одном кадре по сравнению с кодом меньшей длины блока, поэтому он также увеличивает ошибку с каждым кадром. Поэтому, когда в кадре отображается более одной битовой ошибки, декодированный алгоритм не будет исправлен.

#### **Адаптивный алгоритм.**

Предлагаемый метод адаптации заключается в весовой обработке сигналов с выходов элементов антенной решетки приемной антенны и позволяет сформировать характеристику направленности антенны, характер которой будет зависеть от выбранного критерия адаптации. Критерий, выбранный в работе, основан на максимизации отношения сигнал/(помеха + шум), при котором адаптивный процессор будет формировать максимум характеристики направленности в направлении к тракту с максимальной мощностью и нули в остальные пути[17, 18].

Рассматриваемый метод основан на корреляционном подходе [19, 20]. Сначала необходимо рассчитать матрицу пространственной корреляции для задачи адаптации:

$$R_{xx}(i, j) = E\{X(i) \cdot X^H(j)\} = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^{L-1} X(i) \cdot X^H(j) . \quad (1)$$

Рассматриваемый метод основан на корреляционном подходе [19, 20]. Сначала необходимо рассчитать матрицу пространственной корреляции для задачи адаптации:

$$R_{xx}(i, j) = V \Lambda V^H , \quad (2)$$

где  $V$ - унитарная матрица собственных векторов;  $\Lambda$  - диагональная матрица собственных значений  $\lambda_n$ :

$$V = [V_1 \quad V_2 \cdots V_n], \Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_n \end{bmatrix} . \quad (3)$$



Рис.1. Алгоритм адаптивного процессора

Собственными значениями корреляционной матрицы являются мощности источников и, в данном случае, путей, по которым распространяется сигнал. Отсюда вытекает условие, что количество источников (трактов) не должно быть больше числа собственных значений матрицы пространственной корреляции, собственные векторы которой являются весовыми коэффициентами обработки сигнала с выхода элементов антенной решетки. Согласно теории адаптивных антенных решеток, если вы выбираете максимальное собственное значение, это число соответствует пути, по которому приходит сигнал с наибольшей мощностью, и вы должны использовать собственный вектор, соответствующий максимальному собственному значению, чтобы сформировать максимум в направлении этого источник [17].

Поскольку реальное значение корреляционной матрицы невозможно получить из-за ограничения времени усреднения, адаптивный процессор формирует характеристику направленности неточно. Еще одной особенностью представленного адаптивного алгоритма является требование высокой пространственной корреляции. Для этого расстояние между элементами приемной антенной решетки должно быть как можно меньше.

### **Системная Модель.**

Если между ячейками сети можно построить прямую линию без каких-либо препятствий, беспроводное коммуникационное соединение между передатчиком (Tx) и приемником (Rx) называется линией прямой видимости (LOS). Условие соединения, которое определяет, является ли путь прямой видимости или вне прямой видимости (NLOS), определяет потери на пути (PL), угловое распределение и другие критические параметры в моделях канала [21-23]. Канал распространения между каждой базовой станцией (BS) и пользовательским оборудованием (UE) в канале 3GPP 3D WiMAX моделируется как набор пространственных и временных многолучевых компонентов с использованием адаптивного алгоритма. Это трехмерная геометрическая модель, описывающая среду рассеяния между AR (антенной решеткой) и UE по азимуту и углу места. Трехмерная модель захватывает лучи и предоставляет информацию об амплитуде, фазе, времени, задержке, угле выхода (AOD) в BS и угле прихода (AOA) в UE для каждого многолучевого компонента. Трехмерная модель канала на основе антенных решеток использовалась для точной оценки производительности систем SISO и MIMO в WiMAX. Как обычные системы связи с одной при-

емной и одной передающей антенной, так и системы связи с пространственной обработкой сигналов с комбинацией передающих и приемных элементов антенной решетки могут быть созданы с помощью адаптивной обработки сигналов с помощью кода Хэмминга.

Обеспечить высокую скорость передачи данных в таких системах без расширения полосы пропускания можно за счет применения многопозиционных типов цифровой манипуляции несущей, например 16-КАМ, 32-КАМ и др. Однако такой подход приводит к снижению в помехозащищенности и при том же соотношении сигнал/шум ухудшается качество предоставляемых услуг в области беспроводной передачи данных. Таким образом, для поддержания качества предоставляемых услуг на высоком уровне необходимо решить задачу снижения вероятности битовой ошибки. Первое, что можно сделать, это применить помехоустойчивое кодирование, позволяющее исправлять ошибки в передаваемых информационных пакетах, один из таких подходов снизит эффективную скорость передачи, но позволит добиться приемлемой вероятности ошибки на фоне некоторого увеличения скорости. Второй подход заключается в разработке алгоритмов пространственной обработки сигналов, позволяющих фильтровать источники (тракты) по пространству (угловые координаты). Такая обработка возможна за счет формирования характеристики приемной антенны, которую можно адаптировать к изменяющимся условиям распространения сигнала.

3D модель канала может использоваться с несущими частотами в диапазоне от 2 до 3 ГГц и полосой пропускания до 100 МГц. Расстояние и высота расположения базы и мобильной станции будут выбраны из предполагаемой работы системы связи в зоне высот 100 м и дальности 20 км.

Математически поведение многолучевого канала можно описать временным вариантом  $h(t, \tau)$  [24, 25].

$$h(t, \tau) = \sum_{n=1}^N a_n(t) \delta(\tau - \tau_n(t)) \quad , \quad (4)$$

где  $a_n(t)$  - изменяющаяся во времени амплитуда n-го пути,  $\tau_n(t)$  - изменяющаяся во времени задержка распространения сигнала для n-го пути, N - количество путей.

Импульсная характеристика для рассматриваемого канала 3D WiMAX будет иметь вид [26].

$$h(t, \tau) = h^{LOS}(t, \tau) + h^{RB}(t, \tau) + h^{RO}(t, \tau) \quad , \quad (5)$$

где  $h^{LOS}(t, \tau)$  - компонента, описывающая прямой путь;  $h^{RB}(t, \tau)$  - компонент описывает отражение от здания;  $h^{RO}(t, \tau)$  - компонент описывает отражение от объектов.

### **Результаты.**

Компьютерное моделирование использовалось для оценки производительности предложенного метода оценки канала для SISO-OFDM и MIMO-OFDM для различных многолучевых радиоканалов. В этом разделе мы приводим результаты оценки производительности для передачи изображений в WiMAX с использованием новейшей модели 3D-канала 3GPP. Ненулевая частота 2,5 ГГц была выбрана для передающей и приемной антенн, чтобы иметь умеренное затухание сигнала для выбранного беспроводного диапазона. Для выбранного диапазона беспроводной связи это обеспечит умеренное затухание сигнала.

Расстояние и высота расположения базовой и мобильной станций будут выбираться исходя из предполагаемой работы системы связи в зоне высотой 70 м и удаленностью около 20 км в городской местности. Предполагается, что базовая станция неподвижна и находится в фиксированном положении, а мобильная станция движется с постоянной скоростью  $v_{MS} = 25$  км/ч. В этом исследовании будут смоделированы все узлы системы SISO и MIMO. Моделирование позволяет анализировать производительность отдельных узлов системы на основе параметров; в результате получаем вероятностные характеристики для каждого эксперимента, зависящие от нескольких случайных параметров. Различные типы модуляции, такие как BPSK, QPSK, 8-PSK и 16-QAM, используются для оценки производительности адаптивного алгоритма на трехмерном канале передачи.

На рис. 2 представлена вероятность ошибки для системы SISO-OFDM, на рисунке представлены четыре графика вероятности ошибки: для случая без кодирования и адаптации, только с кодированием, только с адаптацией и последний график – с адаптацией и кодированием. В качестве алгоритма кодирования использовались коды Хэмминга.

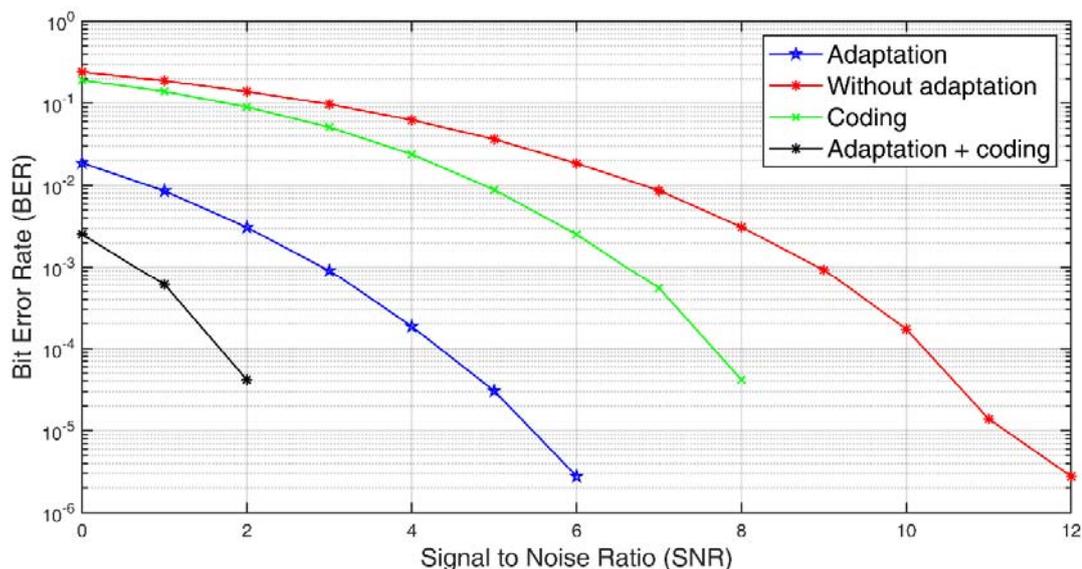


Рис. 2. Вероятность битовой ошибки для системы SISO-OFDM с различными комбинациями алгоритмов адаптации и кодов Хэмминга

Из рисунка видно, что помехозащищенность может быть до 4 дБ при использовании алгоритма адаптации и до 4 дБ без адаптивного алгоритма. При необходимости в процессе передачи данных по беспроводному каналу приемник и передатчик могут адаптивно использовать канальное кодирование при изменении помеховой обстановки.

Подобно системам SISO в системах пространственного кодирования MIMO, также может использоваться канальное кодирование. Рассмотрим нелогичную зависимость с кодами Хэмминга для системы  $2 \times 2$  MIMO на рис. 3 с теми же параметрами кодирования. И анализируя результаты, обнаруживаем, что аналогично предыдущему случаю, мы получаем прирост до 3 дБ при использовании адаптивного алгоритма и до 3 дБ без него.

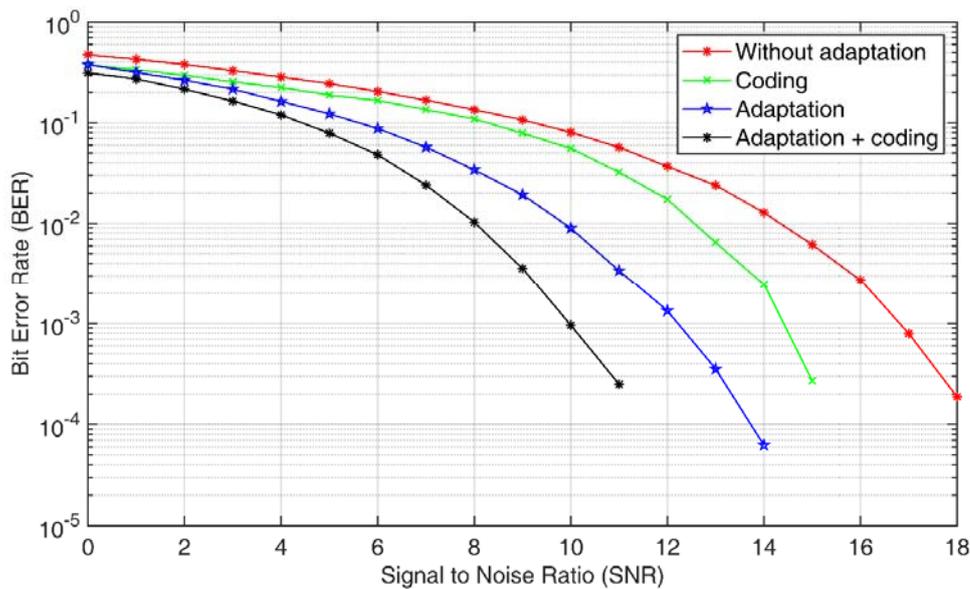


Рис. 3. Вероятность битовой ошибки для системы MIMO-OFDM с различными комбинациями алгоритмов адаптации и кодов Хэмминга

Проект также фокусируется на том, как системы MIMO-OFDM и SISO-OFDM могут передавать изображения в трехмерном канале связи на основе адаптивного алгоритма обработки. Исследуемое в данной работе изображение имеет разрешение  $700 \times 467$  пикселей и глубину 8 бит.

Среднеквадратическая ошибка (MSE) использовалась для оценки ошибок при передаче по каналу 3D WiMAX для количественной оценки влияния адаптации на качество передаваемого изображения [27].

$$MSE = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N (x_{j,k} - \hat{x}_{j,k})^2, \quad (6)$$

где  $M$  и  $N$  — размеры изображений в пикселях;  $x$  — исходное изображение;  $\hat{x}$  полученное изображение;  $x$  и  $\hat{x}$  — оттенки серого (8 бит информации) или яркость исходного и результирующего изображения соответственно.

Мы смоделировали систему MIMO-OFDM с параметрами полосы пропускания (BW) = 20 кГц, разброс подтрактов относительно основного тракта характеризуется значениями  $\sigma_{AOD} = 5^\circ$ , углами выхода (AoD) и  $\sigma_{AOA} = 35^\circ$ , углы прихода (AoA), для простоты считаются одинаковыми в обеих плоскостях.

Параметры сигнала OFDM соответствуют количеству поднесущих, равному 1024. Результирующая длительность всего кадра символов OFDM составит 0,41 мкс, количество пилот-сигналов равно 150, а длительность циклического префикса будет выбрана равной 1/4 длительности сигнала,

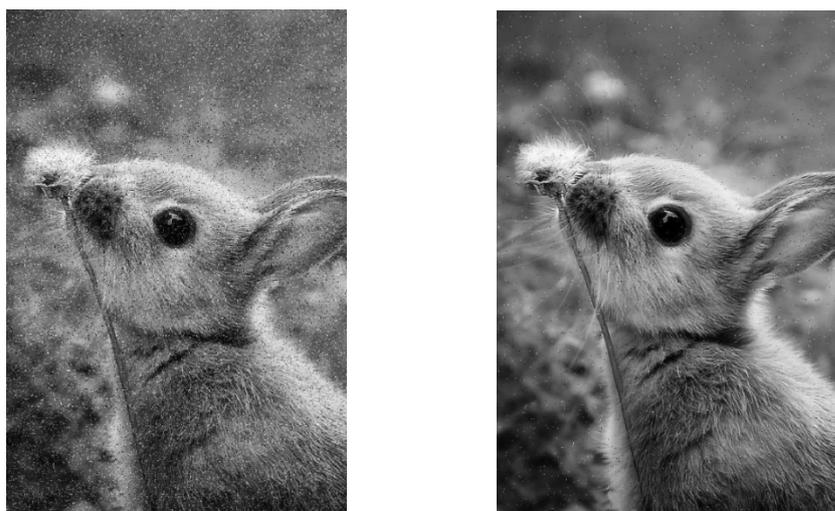
что позволит избежать межсимвольных помех, по полученной максимальной задержке сигнала при моделировании канала.

На рисунках ниже показаны результаты передачи изображения для случая с адаптивным алгоритмом и без него при  $SNR = 10$  дБ (а- исходное изображение; б- с адаптацией и; с- без адаптации). На рис. 4 и 5 показаны исходное и полученное изображения по каналу связи с системой SISO-OFDM для типа модуляции BPSK и 16-QAM соответственно. На рисунках 6 и 7 показан результат приема изображений по каналу связи для системы MIMO-OFDM с типом модуляции BPSK и 16-QAM соответственно.



(а) Исходное изображение (б) без адаптации ( $MSE=0.1 * 10^{-5}$ ) (в) с адаптацией ( $MSE=0$ )

*Рис.4. Передача изображения по каналу связи с системой SISO-OFDM для модуляции BPSK*



(б) без адаптации ( $MSE=0,078$ )

(с) с адаптацией ( $MSE=0,005$ )

*Рис.5. Передача изображения по каналу связи с системой SISO-OFDM для модуляции 16-QAM*

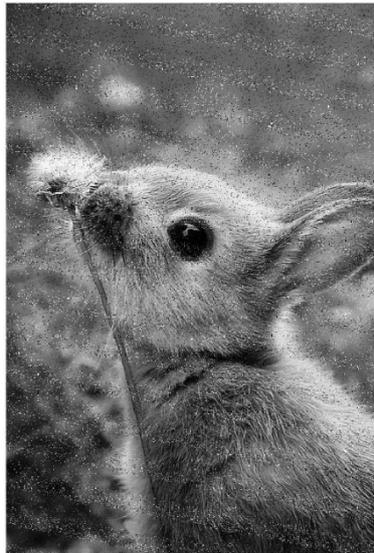


(b) без адаптации ( $MSE=7.8 * 10^{-3}$ )

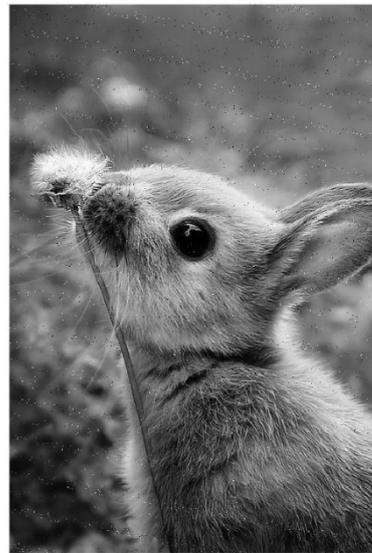


(c) с адаптацией ( $MSE=2.4 * 10^{-5}$ )

*Рис.6. Передача изображения по каналу связи с системой MIMO-OFDM для модуляции BPSK*



b) без адаптации ( $MSE=0,054$ )



с) с адаптацией ( $MSE=0,0063$ )

*Рис.7. Передача изображения по каналу связи с системой MIMO-OFDM для модуляции 16-QAM.*

Из рис. 4 и 5 выше видно, что при использовании алгоритма адаптивной обработки в SISO-OFDM СКО снижается более чем в 15 раз для типов модуляции BPSK и 16-QAM. Так же, как видно на рис. 6 и 7, MSE для типов модуляции BPSK и 16-QAM снижается более чем в 8 раз при использовании алгоритма адаптивной обработки в MIMO-OFDM.

При фиксированном уровне SNR 10 дБ представленные результаты передачи изображения показывают, как адаптивные алгоритмы могут повысить производительность передаваемого изображения в системе каналов 3D WiMAX.

### **Заключение.**

В данной работе также разработан алгоритм блока адаптивной обработки сигналов для амплитудно-фазовой системы. Также рассмотрены проблемы применения помехоустойчивого кодирования совместно с алгоритмами адаптации для повышения помехоустойчивости системы связи. В результате применения помехоустойчивости передача информационного потока становится более устойчивой к ухудшению качества передаваемой информации из-за воздействия шумов, помех и замираний сигнала. Замечено, что код Хэмминга имеет хороший инструмент исправления ошибок. С кодом Хэмминга мы получаем прирост до 4 дБ при использовании адаптивных алгоритмов и до 4 дБ без него.

На основе SISO-OFDM и MIMO-OFDM представлен алгоритм адаптивной системы обработки сигналов для 3D системы. Пример передачи изображения с алгоритмом адаптации и без него демонстрирует эффективность алгоритма адаптации. При фиксированном уровне SNR 10 дБ результаты показывают, что использование алгоритма адаптации снижает вероятность ошибок в передаваемом сообщении. При обработке сигналов в приемном устройстве в условиях многолучевого распространения сигналов использование адаптивных алгоритмов повышает помехозащищенность системы передачи информации.

**Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда №22-29-01389 от 21.12.2021 в Южном федеральном университете.**

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Cho Y. S., Kim J., Yang W. Y., and Kang C. G.* MIMO-OFDM wireless communications with MATLAB: John Wiley & Sons, 2010.
2. *Sklar B.* Digital communications vol. 2: Prentice hall Upper Saddle River, NJ, USA:, 2001.
3. *Proakis J. G. and Salehi M.* Digital communications vol. 4: McGraw-hill New York, 2001.
4. *Tse D. and Viswanath P.* Fundamentals of wireless communication: Cambridge university press, 2005.

5. *O'Neill R. and Lopes L. B.* "Envelope variations and spectral splatter in clipped multicarrier signals," in Proceedings of 6th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 1995, pp. 71-75.
6. *Fedosov V., Legin A., and Lomakina A.* "Adaptive algorithm for wireless data transmission (including images) based on SISO system and OFDM technique," *SJEE*, vol. 15, pp. 353-364, 2018.
7. *Polak L. and Kratochvil T.* "Simulation and measurement of the transmission distortions of the digital television DVB-T/H part 3: Transmission in fading channels," *Radioengineering*, vol. 19, pp. 703-711, 2010.
8. *Li X.* "and JL Cimini," "Effect of Clipping and Filtering on the performance of OFDM", *IEEE Com*," ed: Letters, 1998.
9. *Fedosov V., Kovtun D., Legin A., and Lomakina A.* "Research of Model OFDM Signal with Small Level of Out-of-Band Radiation," *Izvestiya SfedU, Engineering Sciences*, vol. 172, pp. 6-16, 2015.
10. *Stojanovic M.* *Low complexity OFDM detector for underwater acoustic channels: IEEE*, 2006.
11. *Paulraj A., Rohit A. P., Nabar R., and Gore D.* *Introduction to space-time wireless communications: Cambridge university press*, 2003.
12. *Yang Y. and Blum R. S.* "MIMO radar waveform design based on mutual information and minimum mean-square error estimation," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 43, pp. 330-343, 2007.
13. *Легин А.А.* "Адаптивный алгоритм обработки пространственно-временных сигналов для цифровой линии связи в среде с переотражениями."
14. *Скляр Б.* *Цифровая связь: Теоретические основы и практическое применение: Издательский дом Вильямс*, 2004.
15. *Lu Y., Higgins M. D., and Leeson M. S.* "Diffusion based molecular communications system enhancement using high order hamming codes," in 2014 9th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Sign (CSNDSP), 2014, pp. 438-442.
16. *Leeson M.S. and Higgins M. D.* "Forward error correction for molecular communications," *Nano Communication Networks*, vol. 3, pp. 161-167, 2012.
17. *Fedosov V., Jameel J., and Kucheryavenko S.* "Transmitting Image in 3D Wireless Channel using Adaptive Algorithm Processing with MMSE based on MIMO principles," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, p. 012131.
18. *Fedosov V. P., Jameel J. S., and Kucheryavenko S. V.* "Analysis of an Adaptive Algorithm for Processing Space-Time Signals for Image Transmission Based

- on 3D Wireless Channel Model," in 2021 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW), 2021, pp. 443-446.
19. Fedosov V., Legin A., and Lomakina A., "Algorithms based on MIMO-OFDM technology for realization of digital hydroacoustic communication channel," *Izvestiya SfedU, Engineering Sciences*, vol. 168, pp. 148-158, 2015.
  20. Fedosov V., Legin A., and Lomakina A., "Adaptive algorithm for data transmission in wireless channels based on MIMO—OFDM technique," in 2017 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW), 2017, pp. 218-221.
  21. Maccartney G. R., Rappaport T. S., Sun S., and Deng S. "Indoor office wideband millimeter-wave propagation measurements and channel models at 28 and 73 GHz for ultra-dense 5G wireless networks," *IEEE access*, vol. 3, pp. 2388-2424, 2015.
  - 22.. Nam Y.-H, Li Y., and Zhang J. C. "3D channel models for elevation beamforming and FD-MIMO in LTE-A and 5G," in 2014 48th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, 2014, pp. 805-809.
  23. Almesaeed R., Ameen A. S., Mellios E., Doufexi A, and Nix A. R., "A proposed 3D extension to the 3GPP/ITU channel model for 800 MHz and 2.6 GHz bands," in The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014), 2014, pp. 3039-3043.
  24. Andrews J.G., Ghosh A., and Muhamed R., *Fundamentals of WiMAX: understanding broadband wireless networking*: Pearson Education, 2007.
  25. Korowajczuk L., *LTE, WiMAX and WLAN network design, optimization and performance analysis*: John Wiley & Sons, 2011.
  26. Fedosov V., Lomakina A., Legin A., and Voronin V., "Three-dimensional model of hydro acoustic channel for research MIMO systems," in *Ocean Sensing and Monitoring IX*, 2017, p. 101860W.
  27. Yasakethu S. P., Fernando W., Kamolrat B., and Kondozi A., "Analyzing perceptual attributes of 3d video," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 55, pp. 864-872, 2009.

**Федосов Валентин Петрович** – Южный федеральный университет; e-mail: [vpfedosov@sfedu.ru](mailto:vpfedosov@sfedu.ru), 347928, г. Таганрог, ул. Некрасовский, 44; тел.: +78634371632; кафедра теоретических основ радиотехники; профессор.

**Джалил Садун Джамил** – e-mail: [jaleel.s.jameel@gmail.com](mailto:jaleel.s.jameel@gmail.com); кафедра теоретических основ радиотехники; аспирант.

**Кучерявенко Светлана Валентиновна** – e-mail: [svkucheryavenko@sfedu.ru](mailto:svkucheryavenko@sfedu.ru), кафедра теоретических основ радиотехники; доцент.

**Fedosov Valentin Petrovich** – Southern Federal University; e-mail: [vpfedosov@sfnu.ru](mailto:vpfedosov@sfnu.ru); 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371632; the department of theoretical foundations of radio engineering; professor.

**Jaleel Sadoon Jameel** – e-mail: [jaleel.s.jameel@gmail.com](mailto:jaleel.s.jameel@gmail.com); the department of theoretical foundations of radio engineering; postgraduate student.

**Kucheryavenko Svetlana Valentinovna** – e-mail: [svkucheryavenko@sfnu.ru](mailto:svkucheryavenko@sfnu.ru), the department of theoretical foundations of radio engineering; associate professor.

Секция – **Авиационные системы, технологии беспилотных  
летательных аппаратов**

УДК 621.371

Можайцев Виталий Павлович

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОРТАТИВНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ  
НА БОРТОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО СУДНА**

*В статье рассматриваются основные аспекты воздействия портативных электронных устройств на бортовое оборудование воздушного судна. Первый аспект определяет самолетную систему и рекомендации по квалификации оборудования, подверженного радиоизлучению, которые обеспечивают устойчивость к радиоизлучению от намеренно передающих переносных электронных устройств. Обычно это трактуется, как защита от воздействия портативных электронных устройств «через заднюю дверь».*

*Второй аспект определяет приемлемые помехи, вызывающие потери в полосе пропускания между самолетными радиоприемниками и переносными электронными устройствами с паразитным радиоизлучением. Это принято называть защитой от воздействия переносных устройств «через переднюю дверь».*

*Рассмотренные аспекты воздействия помогут определить объем и методики проведения испытаний для снятия ограничений использования портативных электронных на борту воздушного судна.*

*Портативные электронные устройства, высокоинтенсивные электромагнитные поля.*

*Mozhaytsev Vitaly Pavlovich*

**IMPACT OF PORTABLE ELECTRONIC DEVICES ON AIRCRAFT  
AVIONICS**

*The article discusses the main aspects of the impact of portable electronic devices on the on-board equipment of an aircraft. The first aspect defines the aircraft system and qualification guidelines for radio-exposed equipment that provide immunity to radio emissions from intentionally transmitting portable electronic devices. This is usually interpreted as protection against the impact of portable electronic devices "back door coupling." The recommendations closely follow established practices for protecting aircraft systems from exposure to high-intensity electromagnetic fields. Acceptable*

*test approaches have been identified to verify exposure of aircraft systems to RF emissions.*

*The second aspect defines acceptable interference causing bandwidth loss between aircraft radios and spurious radio portable electronic devices. This is commonly referred to as "front door coupling" protection against portable devices.*

*The considered impact aspects will help determine the scope and methods of testing to remove restrictions on the use of portable electronics on board aircraft.*

*Portable electronic devices, high-intensity radiated fields.*

## **Введение**

Эксплуатантов воздушных судов, изготовителей самолетов и представителей регулятивных органов с конца 1950-х стал беспокоить вопрос о возможном воздействии на электрические и электронные самолетные системы переносных электронных устройств, которые приносят пассажиры и члены экипажа на борт самолета. Специальный Комитет 88 RTCA был одним из первых, который опубликовал свои исследования и рекомендации в документе RTCA DO-119 в 1963 году [1]. После этого последовали другие нормативные документы: рекомендации специального Комитета 202 RTCA – RTCA DO-294B (2006 г.) [2], специального Комитета 156 RTCA – RTCA DO-199 (1988 г.) [3], специального Комитета 177 – RTCA DO-233 (1996 г.) [4].

Одной из постоянных рекомендаций в данных отчетах является рекомендация о том, что переносные электронные устройства не должны использоваться на борту самолета во время критических этапов полета. Однако исследования показывают, что пассажиры и члены экипажа продолжают использовать переносные электронные устройства, намеренно либо случайно, даже во время взлета и посадки [5, 6].

Портативные (переносные) электронные устройства, которые могут принести пассажиры и члены экипажа на борт самолета, повсеместно распространены. Эти переносные электронные устройства становятся все меньше, обладают более мощными вычислительными возможностями и содержат многие свойства и функции. Например, на данный момент ноутбуки обладают тактовой частотой в несколько гигагерц и оснащены многочисленными беспроводными РЧ-приёмопередатчиками. Другой пример, мобильные телефоны могут работать в многочисленных диапазонах, с большим количеством протоколов связи и обладают различными опциями, такими как gps, планировщик задач, календарь и камеры. Многие пользо-

ватели портативных электронных устройств не подозревают, что их устройства работают, или что их встроенные радиопередатчики активны.

Все портативные электронные устройства (PED) имеют неопределённый уровень непреднамеренного радиоизлучения или паразитные нежелательные сигналы. Эти ложные радиоизлучения образуются в результате внутренней работы электрооборудования. К тому же многие портативные электронные устройства намеренно передают энергию в радиочастотном диапазоне, так как используют сигналы для передачи сообщения или данных. Если устройство PED соединяется по проводам с самолетным источником питания или сетью данных самолета, то подсоединённое устройство также производит паразитные радиочастотные излучения, которые могут распространяться по цепям питания и линиям связи самолета. На практике, для устройств PED, которые напрямую подключаются к электропитанию самолета или систему данных через провода, на интерфейс провода распространяются требования по проектированию и сертификации, учитывающие кондуктивные паразитные излучения. Таким образом, аспект излучений устройств PED через цепи питания и линии связи не рассматривается в данном проекте.

Любые рекомендации по проектированию и сертификации самолета должны учитывать воздействия, как преднамеренно передающих портативных электронных устройств (Т-PED), так и непреднамеренных радиочастотных излучений от всех устройств PED.

Существует четыре условия, при которых возможно воздействие портативных электронных устройств на электрические и электронные системы самолета. Все четыре условия должны выполняться для воздействия на самолетные системы:

- портативное электронное устройство должно производить радиочастотные излучения, когда самолетная система может быть восприимчива к излучению;
- самолетная система должна быть чувствительна к излучениям портативных электронных устройств на определенных частотах излучения;
- излучения портативного электронного устройства должны иметь радиочастотное излучение с достаточным уровнем поля преодоления надлежащего уровня восприимчивости при замере на необходимой точке;
- должна быть полоса пропускания для излучения или проводимости на потенциально восприимчивую самолетную систему.

Другие детали определяют возможные воздействия устройств, чье излучение может быть оказано на электрические и электронные системы, и последствия этих воздействий. Эти детали включают в себя характеристики модуляции излучений устройств PED, и последствия для безопасности в случае отказа и неисправности бортового оборудования.

Правила сертификации самолета не регулируют радиочастотные излучения портативных электронных устройств. Поэтому подход по сертификации и проектированию самолета в части устойчивости к воздействию PED должен быть сконцентрирован либо на контроле полосы пропускания от портативных электронных устройств до самолетных систем, либо на контроле восприимчивости самолетной системы или защищенности от излучений устройств PED.

## **1. Пути воздействия**

### **1.1 Термин «путь воздействия»**

Радиосигналы, перемещаясь из одной точки в другую, могут передаваться при помощи проводов и излучения в пространстве. Кондуктивные помехи от устройства PED могут возникать, только если устройство PED напрямую подключено к самолету через провод или конструкцию. Излучения от устройства PED могут воздействовать на самолетные системы через отверстия в оборудовании самолета, наводить ток на жгуты БО или приниматься антеннами, обеспечивая прямой путь к бортовому оборудованию воздушного судна.

Термин «путь воздействия» используется для описания того, как распространяются излучения и воспринимаются системами. Для паразитных и преднамеренных излучений от устройств PED существуют два пути воздействия.

**«Воздействие через заднюю дверь»:** Радиочастотная энергия излучается от устройства PED и проникает напрямую в электрооборудование и электронику или в проводку, которая подсоединена к этому оборудованию. «Воздействие через заднюю дверь» может оказывать эффект на любое электрооборудование и электронное оборудование самолета. «Воздействие через заднюю дверь» также включает в себя радиочастотную энергию, излучаемую напрямую от портативного электронного устройства, где есть прямое проводное подключение от устройства PED к источнику электропитания самолета, системе данных, или системе управления. Такое воздействие может произойти через источники питания, встроенные в сиденья, или местные проводные сети на самолете.

**«Воздействие через переднюю дверь»:** Радиочастотная энергия излучается от устройства PED и принимается антенной радиоприемного устройства. «Воздействие через переднюю дверь» применяется только к радиоприемникам самолета.

Когда пути воздействия сочетаются с типами излучений устройств PED, то выделяют восемь классов воздействия устройств PED, которые определены в документе RTCA DO-294B и документе EUROCAE/ED-118 [7]. В документах DO-294B и ED-118 содержатся заключения о том, что три класса воздействия устройств PED должны рассматриваться при оценке использования устройств PED на самолете. В табл. 1 представлены классы воздействия устройств PED, которые выделены в документе EUROCAE/ED-118.

Таблица 1

Классы воздействия PED

Тип излучения устройства PED	Путь воздействия	Номенклатура	Способ воздействия	Выводы на основе предыдущих исследований
Преднамеренные излучения (полезные сигналы)	Воздействие через апертуру антенны	Преднамеренные излучения, связанные с антеннами оборудования	Через «Переднюю дверь»	Воздействие маловероятно в любом случае
	Прямое воздействие на агрегаты оборудования	Преднамеренные излучения, связанные с блоками оборудования	Через «заднюю дверь»	Следует рассмотреть
	Воздействие на интерфейсы оборудования и кабели	Преднамеренные излучения, связанные с кабелями оборудования	Через заднюю дверь	Следует рассмотреть
Непреднамеренные излучения (паразитные излучения)	Воздействие через апертуру антенны	Непреднамеренные излучения, связанные с антеннами оборудования	Через переднюю дверь	Следует рассмотреть
	Прямое воздействие на блоки оборудования	Непреднамеренные излучения, связанные с блоками оборудования	Через заднюю дверь	Воздействие маловероятно в любом случае

	Воздействие на интерфейсы оборудования и кабели	Непреднамеренные Излучения, связанные с кабелями оборудования	Через заднюю дверь	Воздействие маловероятно в любом случае
Кондуктивные паразитные излучения	Воздействие на интерфейсы оборудования	Кондуктивные паразитные излучения при перекрестном кабельном соединении	Через заднюю дверь	Уже рассматривается, как часть сертификации установки оборудования
	Перекрестные помехи (воздействие с кабеля на кабель)	Кондуктивные паразитные излучения, связанные с входными сигналами оборудования	Через заднюю дверь	Уже рассматривается, как часть сертификации установки оборудования

## 1.2 Непреднамеренные излучения, связанные с антеннами оборудования

В эксплуатационном диапазоне приемников паразитные излучения от устройств PED, полученные от антенн самолетных радиоприемников, могут повлиять на работу радиоприемников самолета по двум причинам:

- самолетные радиоприемники выполнены таким образом, что могут обнаружить сигналы с очень малой амплитудой в пределах диапазона с настроенной частотой, и, следовательно, являются очень чувствительными к помехам с очень малой амплитудой в этих диапазонах;

- паразитные излучения от устройств PED могут находиться в пределах диапазона, настроенной частоты радиоприемников самолета.

Паразитные излучения с шумоподобными характеристиками увеличивают уровень шума соответствующих радиоприемников, искажая заданные сигналы низкого уровня так, что они становятся бесполезными. Это эффективно увеличивает уровень заданного сигнала, необходимого для надлежащей связи или указания, тем самым уменьшая максимальный эксплуатационный диапазон для самолетной радиосистемы. Паразитные излучения от устройств PED с длительными (незатухающими) характеристиками могут быть также получены от самолетных радиоприемников и обнаружены в виде действительного сигнала, который приводит к ложным ответам радиоприёмников.

Проводимый анализ в документе DO-233 [4] и процесс оценки помех, описанный в Разделе 6 документа DO-294B [2] указывают на то, что лож-

ные излучения низкого уровня на частотах вне ширины полосы пропускания по промежуточной частоте приемника, сигнал которого подавляется помехой, не вызовут значительных помех.

Различные исследования и самолетные происшествия указывают на то, что помехи NIRA должны рассматриваться, когда будет установлена устойчивость самолета к излучениям устройств PED.

### **1.3 Преднамеренные излучения, связанные с антеннами оборудования**

Преднамеренные излучения от передающих устройств PED происходят либо в лицензированных диапазонах частот (как, например, диапазоны, относящиеся к мобильной телефонии), в строго ограниченных и особо нелицензированных диапазонах (как, например, нелицензированные национальные диапазоны информационной инфраструктуры), или в чрезвычайно широких диапазонах с ограниченными по мощности ограничителями (как, например, системы сверхшироких диапазонов). Во всех случаях эти диапазоны принадлежат международным и национальным властям по телекоммуникациям. Частотные диапазоны радиосвязи, навигации и наблюдения согласованы на международном уровне посредством договоров, и регулятивные органы телекоммуникаций гарантируют, что никакая другая радиочастотная служба не может иметь таких диапазонов.

Поэтому передающие устройства PED преднамеренно не передают в диапазонах частот, используемых для радиосвязи, навигации и наблюдения за самолетом. Самолетные радиоприемники для связи, навигации и наблюдения защищены от помех передатчиков вне их эксплуатационного диапазона. Лабораторные испытания по воздействию радиочастотных излучений на радиоприемники доказывают устойчивость к преднамеренным излучениям. Поэтому «воздействие через переднюю дверь» от преднамеренных излучений, связанных с антеннами оборудования уменьшено, и не требует отдельного рассмотрения в части устойчивости к излучениям устройств PED.

### **1.4 Преднамеренные излучения, связанные с кабелями, блоками оборудования**

Преднамеренные радиочастотные излучения от передающих портативных электронных устройств могут влиять на электрические и электронные системы, воздействуя на провода или непосредственно на самолетное оборудование. Возможность воздействия зависит от уровня сигнала передаю-

щего устройства PED, и подверженности самолетной системы воздействию портативных устройств на определённой частоте.

Электрические и электронные системы самолета защищены от воздействия электромагнитных помех, особенно от высокоинтенсивных электромагнитных полей (HIRF), и как прямых, так и косвенных воздействий молнии. Устойчивость системы к радиочастотным полям зависит от критичности системы и ее положения в самолете. Диапазон уровня среднего поля тестируемой радиочастотной системы составляет от 1 В/м до 300 В/м. Устойчивость бортового оборудования к воздействию HIRF и защита от молнии обеспечивают некоторую защищенность от «воздействия устройств PED через заднюю дверь».

Для частот ниже 400 МГц, радиочастотное подсоединение к системе, соединяющей провода, обеспечивает основной путь от устройства к самолетной системе. Поэтому в этом диапазоне частот амплитуда паразитных излучений устройств PED, воздействующая на провод, может непосредственно сравниться с амплитудами функционального сигнала электрических и электронных систем. Свыше 400 МГц, воздействие происходит непосредственно через соединительный провод ориентировочно в пределах расстояния длины волны от соединителя на электронном или электрическом оборудовании самолета, или через физически открытые отверстия непосредственно на электрическое или электронное оборудование.

Рядом с источником PED передающие устройства PED могут образовывать силу электрического поля порядка десятка вольт на метр, таким образом, существует значительная вероятность сигналов передающих устройств воздействовать на электрические и электронные системы самолета. Это «воздействие через заднюю дверь» от преднамеренных излучений устройств PED должно определено учитываться для оценки устойчивости к воздействию устройств PED.

### ***1.5 Непреднамеренные излучения, связанные с кабелями, блоками оборудования***

Паразитные излучения устройств PED производят поля излучения с очень малой амплитудой, обычно менее 0,1 В/м на расстоянии одного метра от устройства PED. Паразитные излучения от сотового телефона обычно в тысячу раз меньше, чем преднамеренный передающийся сигнал, сформированный телефоном для установки связи. По этой причине «воздействие через заднюю дверь» от преднамеренных радиочастотных паразитных излучений маловероятно, и не должно рассматриваться в ча-

сти воздействия устройств PED на самолет.

### ***1.6 Помехи от кондуктивных излучений***

Воздействие кондуктивных паразитных сигналов устройств PED, физически подсоединенных к питанию самолета или линии данных, считалось маловероятным, потому что:

1) самолетное питание и сети данных, предназначенные для подключения к устройствам PED, должны быть изолированы от питания самолета и сетей данных, требуемых для обеспечения безопасности самолета;

2) в эти источники питания и сети данных встроены электромагнитные фильтры для ограничения паразитных излучений от устройств PED, которые могут воздействовать на питание и данные.

Кондуктивные паразитные излучения должны рассматриваться, как часть проектирования и сертификации установленной системы электропитания или данных самолета, позволяющей выполнить подключение устройств PED. Устойчивость к излучениям специально рассматривается в ходе проектирования и сертификации источников электропитания и сетей данных, поэтому на эти классы воздействия устройств PED внимание в данном документе не акцентируется.

## ***2. Устойчивость самолетных систем к воздействию намеренно передающих портативных электронных устройств (соответствие «воздействия через заднюю дверь»)***

### **2.1 Риски, связанные с помехами самолетным системам**

Согласованное и несогласованное применение передающих переносных электронных устройств (Т-PED) широко распространено на пассажирских самолетах. Отчеты Системы информации о безопасности полетов (ASRS) NASA [6] и новейшие исследования университета Карнеги-Меллона [5] указывают на то, что работа устройств Т-PED во время эксплуатации транспортного самолета является общепринятой. Передающие устройства PED широко распространены среди пассажиров и членов экипажа, представлены в различных формах и имеют множество функций. Во многих случаях в устройство PED встроена передающая радиостанция, так что работа радиопередатчика не является очевидной для пользователя устройства PED. Данные передающие устройства PED работают во многих диапазонах частот и с широким спектром передаваемой радиочастотной мощности радиоустройств. Распространенные передающие устройства PED и их передаваемая радиочастотная мощность перечислены в отчете DO-294B [2].

Нормы распределения спектра делают маловероятным то, что передающие устройства PED будут мешать радиоприемным устройствам самолета «воздействием через переднюю дверь». Однако передающие устройства PED обладают потенциалом для создания помех другим самолетным системам «воздействием через заднюю дверь». Риск, связанный с помехами самолетным системам от передающих устройств PED, зависит от следующего:

- 1) частоты, излучаемой устройством T-PED;
- 2) мощности, излучаемой устройством T-PED;
- 3) потерь на трассе между устройством T-PED и потенциально чувствительными системами самолета;
- 4) чувствительности систем самолета к радиопередаче устройств T-PED;
- 5) последствий помех для конкретных систем самолета.

Существует несколько вариантов для снижения риска создания помех системам самолета со стороны передающих устройств PED. Первый вариант – контроль потерь на трассе от передающих устройств PED внутри самолета к системам самолета. Однако передающие устройства PED могут находиться и работать в кабине самолета, кабине экипажа или кабине пилотов, либо в грузовом или багажном отсеках. В данных местах передающие устройства PED могут находиться очень близко к системам самолета и электропроводке. Это приводит к очень малым потерям на трассе, а увеличение потерь на трассе путем применения экранирующих материалов в целом считается практически нецелесообразным из-за трудностей, связанных с производством и продлением летной годности.

Второй вариант – уменьшить радиочастотную мощность, которую излучают передающие устройства PED путем изменения ограничений по радиочастотной мощности бытовой электроники. Однако производители самолетов не имеют никакого контроля над стандартами устройств PED, в особенности с вариациями в национальных стандартах для бытовых радиочастотных передающих электронных устройств.

Третий вариант - увеличить радиочастотную устойчивость систем самолета. Если обеспечена достаточная радиочастотная устойчивость систем самолета, то оборудование систем самолета малочувствительно к воздействию передающих устройств PED. Это тот аспект, который производители самолетов и авиационные разрешительные органы могут непосредственно контролировать. Этот подход аналогичен тому, который уже при-

меняется для защиты систем самолета от HIRF.

Следовательно, данный раздел описывает процесс для определения соответствующей радиочастотной устойчивости систем самолета и предоставляет требования к рекомендуемой радиочастотной устойчивости систем самолета, результат чего – устойчивость к воздействию передающих устройств PED. С применением данных требований к радиочастотной устойчивости систем оборудование и системы самолета могут быть спроектированы так, чтобы сделать очень маловероятным риск, связанный с передающими устройствами PED. Данный раздел рассматривает прямое соединение с блоками оборудования и соединение с входами оборудования и кабелями, описанные в табл. 1.

Радиочастотная среда самолета, создаваемая передающими устройствами PED, отличается от радиочастотной среды самолета, связанной с HIRF. Основные различия заключаются в следующем:

1) передающие устройства PED могут работать очень близко к системам самолета и электропроводке в пределах кабины экипажа, кабины самолета и багажного отсека, в то время как излучатели HIRF работают на некотором расстоянии снаружи от самолета;

2) самолеты обычно пролетают зоны с максимальными уровнями HIRF RF за несколько секунд, в то время как передающие устройства PED работают внутри самолета в течение большей части полета;

3) излучатели HIRF – это обычно передатчики очень большой мощности с конкретным географическим местоположением, в то время как передающие устройства PED могут работать во множестве мест внутри самолета, включая кабину, кабину экипажа, а также багажный или грузовой отсеки.

## ***2.2 Системы самолета, которые должны быть рассмотрены***

Любые места внутри самолета, где могут работать передающие устройства PED, должны быть рассмотрены.

Системы и оборудование самолета, которые требуют, чтобы соискатель сертификата продемонстрировал устойчивость к воздействию передающих устройств PED, должны быть идентифицированы. К ним относятся те электрические и электронные системы и оборудование самолета, которые требуются для сертификации типа или согласно правилам эксплуатации. В их состав также входят системы и оборудование, которые были определены как выполняющие функции со следующими категориями отказных состояний: сложная ситуация, аварийная ситуация или ката-

строфическая ситуация по действиям анализа безопасности, таким как соответствие 14 CFR 25.1309 и EASA CS 25.1309[8].

Примеры электрических и электронных систем самолета, которые требуются по сертификации типа самолета или согласно регламенту эксплуатации, – это авиационные часы на приборной доске, магнитный компас и высотомер, которые требуются согласно правилам сертификации типа 14 CFR 25.1303 и EASA CS 25.1303 [8], а также регистраторы параметров полета, которые требуются согласно регламенту эксплуатации 14 CFR 121.344 и JAR OPS 1.715.

### ***2.3 Требования к радиочастотной устойчивости систем самолета для стойкости к воздействию устройств T-PED***

Для оборудования и систем, указанных в табл. 2, определяют рекомендуемые минимальные контрольные уровни восприимчивости систем самолета к радиоизлучению для демонстрации устойчивости к воздействию устройств T-PED, используя методы проверки восприимчивости к радиоизлучению и категории, определенные в RTCA DO-160 [9] или EUROCAE ED-14 (Раздел 20).

Данные уровни были разработаны в результате рассмотрения информации, приведенной в приложении В отчета DO-294. Как обозначено в рамках данного документа, возможно, что более высокая пиковая напряженность поля присутствует как результат непосредственной близости к устройству T-PED. Однако из-за методов проверки, примененных в рамках стандартных тестовых документов, таких как DO-160, где все испытываемое оборудование и по крайней мере половина длины волны проводки должны подвергаться воздействию требуемого поля излучения, полная итоговая энергия связи является в десятки раз больше, чем значение при связи с неэффективной антенной устройства T-PED. Поэтому был достигнут компромисс о том, чтобы принять по умолчанию стандартные методы проверки и уровни.

### ***2.4 Методы для верификации устойчивости систем самолета к воздействию устройств PED***

Как и в большинстве областей удостоверения соответствия заданным требованиям, существует множество методов достижения цели по верификации устойчивости систем самолета.

Первым шагом станет идентификация систем и оборудования. После того как системы и оборудование идентифицированы, соискатель должен подтвердить, что оборудование соответствует требованиям из Таблицы 2.

Если оборудование ранее было признано пригодным по требованиям к устойчивости, приведенным в таблице, то данная характеристика может быть представлена в отчете о соответствии в FAA или другому соответствующему авиационному сертифицирующему органу в качестве способа демонстрации соответствия требованиям по «воздействию через заднюю дверь» для передающих устройств PED.

Одним из способов адаптации методов проверки отчета DO-160 могло бы быть то, что соискатель прокалибрует требуемую напряженность поля в экранированном помещении, применяя методику калибровки, взятую и адаптированную из отчета DO-160 (Раздел 20.5 и Рисунок 20-10). Уровни прямой мощности, требуемые для создания напряженности поля (Категория R или Категория W), должны быть зафиксированы, контрольно-измерительное оборудование – перенесено на самолет, а испытания проведены на требуемых системах самолета с использованием зафиксированной прямой мощности. Однако радиочастотные поля являются чрезвычайно опасными при высоких уровнях мощности, и для данного типа методов проверки могут потребоваться специальные лицензии от властей по системам связи, таким как FCC.

Существует возможность подтвердить устойчивость оборудования с помощью комбинации методов, определенных выше. Например, могут возникнуть ситуации, в которых некоторое оборудование ранее было признано пригодным по требованиям табл. 2 либо по испытаниям, либо в результате проведенного анализа. Тем не менее, для некоторого оборудования могут потребоваться дополнительные лабораторные испытания и/или испытания на самолете. Верификацию необходимо будет задокументировать и предоставить соответствующим авиационным сертифицирующим органам для утверждения.

Таблица 2

Рекомендации по испытаниям восприимчивости систем самолета к радиополучению

Классификация функциональных отказных состояний систем	Расстояние между T-PED и системным LRU $\geq 20$ см	Расстояние между T-PED и системным LRU $< 20$ см
Катастрофическая ситуация	RTCA DO-160E / EUROCAE ED-14E Раздел 20 Категория XR	RTCA DO-160E / EUROCAE ED-14E Раздел 20 Категория XW ограничено до 8 ГГц

Аварийная ситуация	RTCA DO-160E / EUROCAE ED-14E Раздел 20 Категория XR	RTCA DO-160E / EUROCAE ED-14E Раздел 20 Категория XR
Сложная ситуация	RTCA DO-160E / EUROCAE ED-14E Раздел 20 Категория XR	RTCA DO-160E / EUROCAE ED-14E Раздел 20 Категория XR
Требуется по нормам и не охвачено выше	RTCA DO-160E / EUROCAE ED-14E Раздел 20 Категория XR	RTCA DO-160E / EUROCAE ED-14E Раздел 20 Категория XR
Ухудшение условий полета и без последствий, не требуется по нормам	Требования отсутствуют	Требования отсутствуют

Однако если проверка квалификационных внешних воздействий оборудования обнаруживает, что уровни недостаточны, то необходимо провести дополнительные испытания или анализ для данных систем по требованиям, определенным в табл. 2.

Анализ также может быть использован для демонстрации соответствия. В некоторых случаях, например, для электромеханических устройств, таких как лампы и клапаны, устойчивость к воздействию излучаемой энергии, генерируемой устройствами T-PED, демонстрируется относительно просто. Это происходит вследствие того, что подобные устройства изначально устойчивы к низким уровням радиочастотной энергии. Тем не менее анализ может быть применен для более сложных электрических/электронных устройств, но подход с применением анализа должен быть утвержден, рассмотрен и одобрен соответствующими авиационными сертифицирующими органами.

Если требуется проведение испытаний, необходимо соблюдать стандартные требования квалификационных испытаний, такие как утвержденные методики испытаний, требования пригоден/непригоден, соответствие стендового образца, а также засвидетельствование испытаний. Как правило, существует два метода проверки, которые могут быть использованы, чтобы провести данные испытания.

Первый метод – доставить системы или оборудование на стенд испытаний по радиочастотному излучению и выполнить стандартные испытания на чувствительность к радиочастотному воздействию в соответствии с требованиями табл.2.

Второй метод – выполнить испытания систем, которые установлены на применимом самолете. Данный тип испытаний изложен в отчете DO-

294В, Приложение 6.D, и ED-130[10], Приложение 6. Методики в данных документах дают общие указания, такие как идентификация систем, местоположение передающих антенн и напряженность полей относительно выхода устройств T-PED, которые используются при проведении испытания. Поскольку данный отчет предоставляет контрольные уровни в табл. 2, то способы проверки из отчета DO-160 для испытаний на самолете могут быть адаптированы для данных испытаний на самолете.

### **Заключение**

Рассмотрены аспекты воздействия портативных электронных устройств на бортовое оборудование воздушного судна. Первый аспект определяет самолетную систему и рекомендации по квалификации оборудования, подверженного радиоизлучению, которые обеспечивают устойчивость к радиоизлучению от намеренно передающих переносных электронных устройств. Обычно это трактуется, как защита от воздействия портативных электронных устройств «через заднюю дверь».

Второй аспект определяет приемлемые помехи, вызывающие потери в полосе пропускания между самолетными радиоприемниками и переносными электронными устройствами с паразитным радиоизлучением. Это принято называть защитой от воздействия переносных устройств «через переднюю дверь».

Рассмотренные аспекты воздействия помогут определить объем и разработать методики проведения испытаний для снятия ограничений использования портативных электронных на борту воздушного судна.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. RTCA DO-119, "Interference To Aircraft Electronic Equipment From Devices Carried Aboard", RTCA, April 1963.
2. RTCA DO-294В, "Guidance on Allowing Transmitting Portable Electronic Devices (T- PEDs) on Aircraft", December 2006.
3. RTCA DO-199, "Potential Interference to Aircraft Electronic Equipment from Devices Carried Aboard", RTCA, September 1988.
4. RTCA DO-233, "Portable electronic devices carried on board aircraft", August 1996, Errata August 1999.
5. W. Strauss, "Portable Electronic Devices Onboard Commercial Aircraft: Assessing the Risks," Ph.D. Thesis, Carnegie Mellon University, 2005 Carnegie-Mellon report.

6. NASA ASRS Database Report Set, “Passenger Electronic Devices”, Update Number 11.0, January 23, 2007.
7. EUROCAE ED-118, “Report on electromagnetic compatibility between passenger carried Portable Electronic Devices (PEDs) and aircraft systems”, October 2003;
8. Certification Specification CS-25 EASA.
9. RTCA DO-160E, “Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment”, December 2004.
10. EUROCAE ED-130, “Guidance for the Use of Portable Electronic Devices (PEDs) on Board Aircraft”, December 2006.

**Можайцев Виталий Павлович**, аспирант первого года обучения ИРТСУ ЮФУ, г. Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347900, телефон: +7 909-430-25-90, email: mvp\_emc@inbox.ru.

**Mozhaytsev Vitaly Pavlovich**, 1st year post-graduate student of IRTSU SFU, Russia, Taganrog city, Nekrasovsky lane 44, 347900, phone: +7 909-430-25-90, email: mvp\_emc@inbox.ru.

УДК 621.396

Иванов Елисей Андреевич, Рыбалко Александра Дмитриевна

## **ПРОВЕДЕНИЕ И АНАЛИЗ АТАК НА БПЛА**

*Цель работы анализ и исследование результатов атак на БПЛА, а также подробное изучение инструментария необходимого для проведения атак.*

*В процессе работы была изучена информация, необходимая для понимания принципа работы БПЛА, а также наличия у них открытых каналов, которые представляют непосредственную уязвимость в работе, дополнительно были рассмотрены различные методы и средства проведения атак на БПЛА.*

*В результате исследований были практически отработаны методы атаки GPS-spoofing и деаунтификации Wi-Fi сигнала.*

*Беспилотный летательный аппарат, gps-spoofing, деаунтификация, дезориентация дрон, программно-определяемое радио.*

Ivanov Elisey Andreevich, Rybalko Aleksandra Dmitrievna

## CONDUCTING AND ANALYZING ATTACKS ON UAVS

*The purpose of the work is to analyze and study the results of attacks on UAVs, as well as a detailed study of the tools necessary for carrying out attacks.*

*In the course of the work, the information necessary to understand the principle of operation of UAVs was studied, as well as the presence of open channels that represent a direct vulnerability in the work, various methods and means of carrying out attacks on UAVs were additionally considered.*

*As a result of the research, the methods of attacking GPS-spoofing and deauthentication of the Wi-Fi signal were practically worked out.*

*Unmanned aerial vehicle, GPS-spoofing, deauthentication, disorientation drone, software-defined radio.*

### **Введение**

Рынок БПЛА на сегодняшний день активно развивается. Согласно прогнозам компании «Drone industry insights» [1] рынок беспилотных летательных аппаратов вырастет до 43 миллиардов долларов США к 2024 году. БПЛА используются для мониторинга объектов информатизации, фото и видеосъемки, разведки, доставки, инспекционных проверок. Во всех этих отраслях вывод БПЛА из строя или перехват его управления может нанести серьёзный ущерб. Это создаёт необходимость оперативного обнаружения атак на квадрокоптер и принятия решения по их нейтрализации.

### **Основная часть**

Беспилотные летательные аппараты, являются революционными изобретениями в плане безопасности. На дронах используются самые передовые технологии, которые непрерывно улучшаются для обеспечения высокой производительности, высокой автономности, исключительной универсальности, что делает их использование подходящим для многих областей применения. Эти системы представляют собой сложное оборудование, которое теоретически могут быть взломаны и стать оружием в руках злоумышленников [2].

Актуальность проблемы защиты каналов связи сегодня стоит на первом месте.

Угроза безопасности информации реализуется в результате образования канала реализации угроз между источником угрозы и БАК, что создаёт условия для проведения атакующего воздействия [3].

Так, атаки могут быть направлены на перехват управления, вывод из строя БПЛА, получение разведывательной информации или для дальнейшей атаки на пилота-оператора и взаимодействующие с ним системы.

К уязвимым местам БПЛА можно отнести [4]:

1. Наличие резервных каналов передачи данных, как правило, открытых для доступа и работающих исключительно на приём, при этом, при выполнении ряда условий, имеющих приоритет перед основными каналами.

2. Использование спутниковых каналов, а также других беспроводных каналов связи (Wi-Fi, GSM, Bluetooth), имеющих свои характерные уязвимости.

3. Использование систем спутниковой навигации GPS/Глонасс совместно с инерциальной системой для позиционирования в процессе полета.

### **Проведение атаки на БПЛА**

Для того, чтобы провести атаку на БПЛА проводится сканирование Wi-Fi диапазона. Если БПЛА управляется через мобильное устройство, то, как правило, БПЛА является точкой доступа, к которой должен подключиться клиент для управления БПЛА.

Для того чтобы обнаружить в диапазоне Wi-Fi точку доступа БПЛА, можно проанализировать MAC-адреса (рис. 1). Каждый производитель присваивает первые три значения MAC-адреса самостоятельно и по этим значениям можно определить соответственно производителя и определить, что это БПЛА. Также можно определить по параметру ESSID, там явно указывается имя точки доступа и обычно название точки доступа БПЛА совпадает с названием фирмы – производителя.

```

04:5E:A4:29:84:2F -85 13 0 0 2 130 WPA2 CCMP PSK tagl1ft
CH 11 ]] Elapsed: 6 s ]] 2022-05-06 15:16

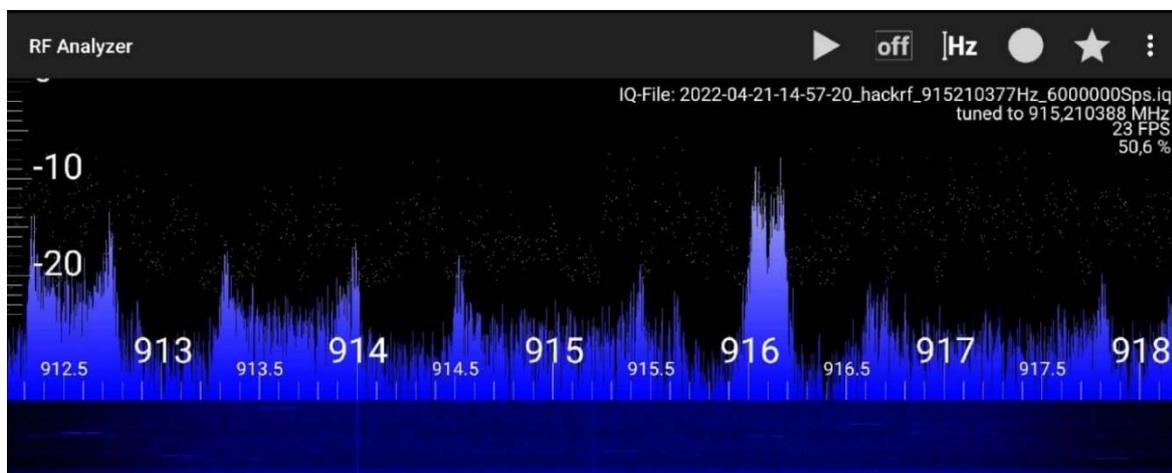
BSSID PWR Beacons #Data, #/s CH MB ENC CIPHER AUTH ESSID
2C:56:DC:8A:A3:B0 -85 2 0 0 10 130 WPA2 CCMP PSK MISHA
50:64:2B:4D:5A:7D -88 3 0 0 13 270 WPA2 CCMP PSK <length: 0>
CE:2D:E8:C1:2C:07 -86 2 0 0 11 270 WPA2 CCMP PSK Ynma
08:C6:83:CB:11:8F -83 2 0 0 5 270 WPA2 CCMP PSK MYITK_24G_118E
28:EE:52:9D:F7:D5 -1 0 0 0 3 -1 <length: 0>
60:60:1F:98:F6:7C -69 8 331 49 13 130 WPA2 CCMP PSK MAVIC_AIR-98f67c
B0:95:75:B2:58:5A -67 26 11 0 10 270 WPA2 CCMP PSK TP-Link_585A
D8:AF:81:47:CD:9D -71 14 0 0 7 270 WPA2 CCMP PSK RT-WLFL-CD9C
08:C6:83:CA:B6:63 -71 23 0 0 1 270 WPA2 CCMP PSK MYITK_24G_B062
12:08:C1:1E:57:6B -84 1 0 0 11 130 WPA2 CCMP PSK DIRECT-AP[TV][LG]42LA620V-ZA
C0:4A:00:A4:7B:6E -79 10 2 0 11 195 WPA2 CCMP PSK bit
74:EA:3A:DA:68:00 -79 18 0 0 5 270 WPA2 CCMP PSK fa_no_home
52:FF:20:4D:07:A9 -82 6 0 0 8 270 WPA2 CCMP PSK <length: 0>
DC:E3:05:8E:C4:C1 -82 1 1 0 2 270 WPA2 CCMP PSK RT-WLFL-C4C0
50:FF:20:2E:21:47 -88 3 1 0 3 270 WPA2 CCMP PSK Keenetic-4843
64:70:02:80:11:EE -82 5 0 0 8 65 WPA2 CCMP PSK LINK8
90:F6:52:B2:67:EE -85 5 0 0 6 54e WPA2 CCMP PSK MILANA
04:5E:A4:29:84:2F -84 21 0 0 2 130 WPA2 CCMP PSK tagl1ft
B0:EE:2D:08:76:86 -85 3 0 0 1 48 OPM HD_087686
D4:60:E3:6C:06:90 -85 7 0 0 1 130 WPA2 CCMP PSK wLfl
90:8D:78:87:3F:86 -83 8 0 0 1 130 WPA2 CCMP PSK MTSRouter-B73F86
EC:43:F6:07:DF:00 -86 4 0 0 3 270 WPA2 CCMP PSK Lab22k321
38:6B:1C:54:1A:CB -86 6 0 0 2 270 WPA2 CCMP PSK Dunice
58:D5:6E:8A:7B:21 -87 8 0 0 1 135 WPA2 CCMP PSK MGT5_7820
84:C9:B2:11:23:A0 -84 8 0 0 1 65 WPA2 CCMP PSK DIR-300NRU
7C:0B:CA:79:CC:CB -87 4 0 0 3 270 WPA2 CCMP PSK n_841
02:00:00:A1:80:02 -85 2 1 0 11 270 WPA2 CCMP PSK Hamster
34:29:12:38:6C:30 -84 4 0 0 1 180 OPM vLkl
58:D5:6E:65:4F:A3 -83 3 0 0 13 130 WPA2 CCMP PSK MTS_Router_009543

BSSID STATION PWR Rate Lost Frames Notes Probes
28:EE:52:9D:F7:D5 7A:8F:B3:22:38:43 -82 0 - 1 0 8 TP-Link_F7D5
(not associated) 00:0C:E7:74:CC:8A -78 0 - 1 6 4 RT-WLFL_FF6D
(not associated) 0E:59:73:CE:34:C1 -86 0 - 1 0 2
(not associated) C6:0A:1B:89:17:F4 -87 0 - 1 0 3
60:60:1F:98:F6:7C 90:78:B2:8F:09:71 -57 0e- 0e 561 331

```

Рис. 1. Анализ MAC-адреса

Если БПЛА управляется не по Wi-Fi, а с помощью других протоколов связи и Wi-Fi приемник поэтому его не видит, тогда в этом случае можно воспользоваться программно-аппаратным комплексом для анализа радиочастотного диапазона и поиска радиочастотной активности. Как правило, каналы управления БПЛА – это 915 МГц, 2.4 ГГц, 5 ГГц и др., на самом деле их число ограничено. В рамках исследования для поиска радиочастотной активности использовалось аппаратное обеспечение HackRF и программное обеспечение RFAnalyzer: Spectrum Analyzer for Android (Рис).



*Рис.2. Анализ радиочастотного диапазона и поиска радиочастотной активности RF Analyzer*

Данное программно-аппаратное обеспечение позволяет прослушивать радиочастотный диапазон и обнаруживать активность в случае передачи данных. Для этого необходимо произвести сканирование частот диапазона, на которых потенциально БПЛА может передавать данные и обнаружить активность.

Если БПЛА представляется точкой доступа для подключения с помощью протокола WI-FI, то можно провести атаку деаутентификации на сеть. Данная атака направлена на отключение всех клиентов от точки доступа. Точка доступа сбрасывает все установленные с ней соединения, атака возможна за счет подмены MAC-адреса точки доступа, беспроводной и незащищенной среды распространения сигнала, а также отсутствие механизма проверки подлинности и аутентичности данного типа сообщений. Таким образом, обеспечивается отказ в обслуживании, то есть клиент теряет доступ к устройству.

Дезориентация дрона происходит путем использования HackRF с инструментом `hackrf_transfer` и утилитой `GPS-SDR-SIM`, и через 35Дб антенну, именно таким образом идёт передача сформированного сигнала (`gps-sdr-sim`).

`hackrf_transfer` отправляет и получает сигналы используя HackRF (Рис). Ввод/вывод может быть 8-битным знаковым квадратурным файлом или файлом WAV.

```

elisei@raspberrypi:~$ hackrf_info
hackrf_info version: unknown
libhackrf version: unknown (0.5)
Found HackRF
Index: 0
Serial number: 000000000000000026b468dc393e878f
Board ID Number: 2 (HackRF One)
Firmware Version: 2017.02.1 (API:1.02)
Part ID Number: 0xa000cb3c 0x00744f66
elisei@raspberrypi:~/gps-sdr-sim$ cd gps-sdr-sim && gcc gpssim.c -lm -O3 -o gps-sdr-sim
elisei@raspberrypi:~/gps-sdr-sim$
elisei@raspberrypi:~/gps-sdr-sim$ hackrf_transfer -t gpssim.bin -f 1575420000 -s 2600000 -a 1 -x 47 -R 0
call hackrf_set_sample_rate(2600000 Hz/2.600 MHz)
call hackrf_set_freq(1575420000 Hz/1575.420 MHz)
call hackrf_set_amp_enable(1)
stop with Ctrl-C
5.0 MiB / 1.000 sec = 5.0 MiB/second
5.2 MiB / 1.000 sec = 5.2 MiB/second
5.0 MiB / 1.000 sec = 5.0 MiB/second
5.2 MiB / 1.000 sec = 5.2 MiB/second
5.2 MiB / 1.000 sec = 5.2 MiB/second
5.2 MiB / 1.000 sec = 5.2 MiB/second

```

Рис.3. Атака GPS-spoofing

Если для управления БПЛА используется другой канал или протокол для управления, то нужно использовать атаку зашумления, с помощью HackRF, подавая более мощный сигнал, который «перекроет» легитимный канал связи.

### Выводы

В результате проделанной работы нами было ещё раз подтверждено, что уязвимостей в БПЛА достаточно. В результате анализа логов с дрона мы видим явные отклонения в показаниях GPS сигнала, что говорит о том, что проделанные нами атаки успешны и работа в данном направлении перспективна.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рынок дронов // 5вещей, которые вам нужно знать URL: <https://droneii.com/the-drone-market-2019-2024-5-things-you-need-to-know> (дата обращения: 14.03.2022).
2. Мухомтов В.В. Защита беспилотных летательных аппаратов от внешних программно-аппаратных воздействий/ Краснодар: Краснодарское высшее военное училище 2016.
3. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/tekhnologii/676518-bespilotnye-letatelnye-apparaty-bpla> (дата обращения: 14.03.2022).
4. Довгаль В.А. Анализ уязвимостей и угроз безопасности роя дронов с поддержкой Wi-Fi, противостоящего атакам злоумышленников/ Ростов-на-Дону: Донской государственной технической университет 2020.

**Иванов Елисей Андреевич**, студент Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова 2, 347900, телефон: +7 (9508) 64-30-31, email: [ivanovelisey01@gmail.com](mailto:ivanovelisey01@gmail.com).

**Рыбалко Александра Дмитриевна**, студентка Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова 2, 347900, телефон: +7 (95064) 66-47-24, email: [aleksandra.rybalko01@mail.ru](mailto:aleksandra.rybalko01@mail.ru).

**Ivanov Elisey Andreevich**, student of the Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 2 Chekhov street, phone: +7 (9508) 64-30-31, email: [ivanovelisey01@gmail.com](mailto:ivanovelisey01@gmail.com).

**Rybalko Aleksandra Dmitrievna**, student of the Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 2 Chekhov street, phone: +7 (95064) 66-47-24, email: [aleksandra.rybalko01@mail.ru](mailto:aleksandra.rybalko01@mail.ru).

Силин Олег Игоревич, Басан Елена Сергеевна,  
Литвиненко Виталий Николаевич, Токарев Михайл Валерьевич

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОГО СЛЕДА КОММЕРЧЕСКИХ БПЛА**

*В рамках проведения исследования была разработана методика исследования цифрового следа коммерческих БПЛА. Цель исследования – обнаружение цифрового следа коммерческих БПЛА с целью получения информации о киберпреступнике. Задачи: систематизация знаний о БПЛА, выбор ценных данных для исследования, разработка методики обнаружения цифровых доказательств. В результате была разработана универсальная методика исследования цифрового следа коммерческих БПЛА.*

*Беспилотный летательный аппарат, методика, фотография, бортовой журнал, анализ, отчет, внешний накопитель данных.*

Silin Oleg Igorevich, Basan Elena Sergeevna,  
Litvinenko Vitaly Nikolaevich, Tokarev Mikhail Valerievich

## **INVESTIGATION OF THE DIGITAL FOOTPRINT OF COMMERCIAL UAVS**

*As part of the study, a methodology was developed to study the digital footprint of commercial UAVs. The purpose of the study is to detect the digital footprint of*

*commercial BLPs to obtain information about a cybercriminal. Tasks: systematization of knowledge about UAVs, selection of valuable data for research, development of methods for detecting digital evidence. As a result, a universal methodology for studying the digital footprint of commercial UAVs was developed.*

*Unmanned aerial vehicle, methodology, photography, logbook, analysis, report, external data storage.*

## **Введение**

Популярность БПЛА не только способствует быстрому росту мирового коммерческого рынка БПЛА, но также неизбежно увеличивающийся уровень преступности с использованием беспилотных летательных аппаратов.

В связи с ростом преступной деятельности, потребность в криминалистическом анализе захваченных беспилотных летательных аппаратов значительно возросла. После захвата беспилотника исследование цифрового следа БПЛА может предоставить много информации о потенциальном подозреваемом в совершении преступления на основе данных, собранных с бортовых датчиков и другой электроники, которые помогают в полете и навигации, а также камеры и цифрового хранилища. Это также может помочь в предотвращении дальнейших преступлений. Анализ полетных данных и решение много платформенной природы беспилотных летательных аппаратов являются основными проблемами при криминалистическом анализе беспилотных летательных аппаратов.

### **1. Анализ работ в области исследования цифрового следа БПЛА**

Проанализировав работы, представленные в табл. 1, можно сделать вывод, что работы направлены в основном на исследования цифрового следа определенной модели коммерческого БПЛА и не позволяют применить исследования к другим моделям БПЛА. Что в свою очередь является проблемой многоплатформенности БПЛА. Поэтому требуется разработка универсальной методики исследования цифрового следа коммерческих БПЛА, направленная на широкий спектр коммерческих БПЛА.

Таблица 1

Сводная таблица статей

Название исследования	Исследуемый объект	Полученные данные	Программное обеспечение
Unmanned aerial vehicles: A preliminary analysis of forensic challenges [1]	Все БПЛА	GPS-координаты, Информация о владельце.	
Digital forensics on a DJI Phantom 2 Vision+ UAV [2]	DJI Phantom 2 Vision+	Фотографии с GPS координатами, Бортовые журналы, Серийный номер БПЛА	DJI Assistant 2, DJI GO 4, Air data.
UAV Forensics [3]	DJI Phantom 2	Фотографии с GPS координатами, Бортовые журналы, Серийный номер БПЛА.	Linux, DJI Assistant 2, DJI GO 4.
Drone forensic framework: Sensor and data identification and verification [4]	БПЛА DJI	Название и модель БПЛА, Отпечатки пальцев, Карту памяти с фотографиями.	DJI Assistant 2, DJI GO 4.
Open-Source Forensics for a Multiplatform Drone System [5]	Все БПЛА	Бортовые журналы, GPS-координаты.	CsvViewer

## 2. Методика исследования цифрового следа БПЛА

### 2.1 Определения типа БПЛА

На этом шаге нужно определить исследуемый объект является моделью самостоятельной сборки или моделью заводской сборки.

Если исследуемый объект имеет торчащие провода, изоляцию, быстро съёмные части, разные названия различных компонентов и нельзя точно определить какой компанией они были сделаны, то вероятнее всего этот объект является моделью самостоятельной сборки.

Если исследуемый объект имеет одинаковое название компонентов, не имеет торчащих проводов изоляции, быстро съёмных компонентов, то, скорее всего данный БПЛА является моделью заводской сборки. На рис. 1 представлен пример БПЛА самостоятельной сборки.



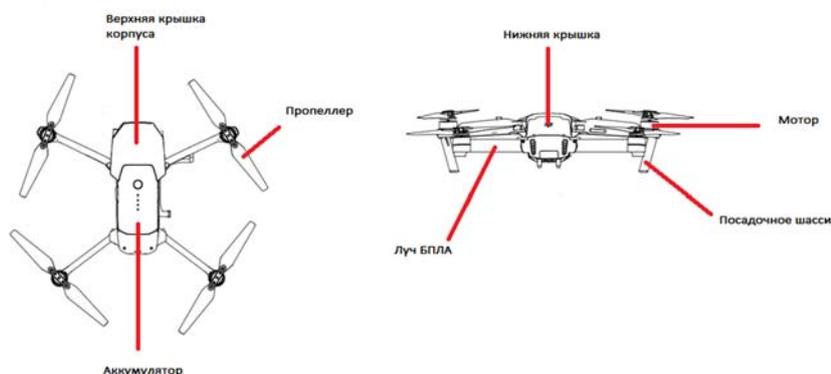
*Рис. 1. Пример БПЛА самостоятельной сборки*

## **2.2 Определение марки и модели полетного контроллера или БПЛА**

Если было установлено, что БПЛА является коммерческой моделью, то, следует осмотреть БПЛА на наличие маркировок с целью определения его марки и модели. Маркировка чаще всего располагается на корпусе БПЛА в нижней части или на лучах БПЛА, пропеллера, моторах. Так же информацию можно получить с наклеек, расположенных чаще всего на внутренней части БПЛА.

Если было выявлено, что БПЛА является моделью самостоятельной сборки, то в этом случае нас интересует, в частности, полетный контроллер, так как в основном данные хранятся на полетном контроллере. Полетный контроллер чаще всего располагается в центре БПЛА и представляет собой плату с подключенными к ней проводами, так же имеет множество выводов. Маркировка полетного контроллера в основном находится на корпусе.

Пример расположения маркировок представлен на рис. 2.



*Рис. 2. Пример расположения маркировок и наклеек на БПЛА*

### **2.3 Определение возможностей и роли БПЛА в происшествии**

На данном шаге необходимо решить следующие задачи: определение возможностей (наличие камеры), ознакомление с материалами дела, чтобы определить как и почему данный БПЛА использовался во время происшествия, определение того, в чем заключалось преступление.

Иначе говоря, нам нужно восстановить цепочку происшествия и подкрепить данные доказательствами. Пример возможностей БПЛА представлен на рис. 3.



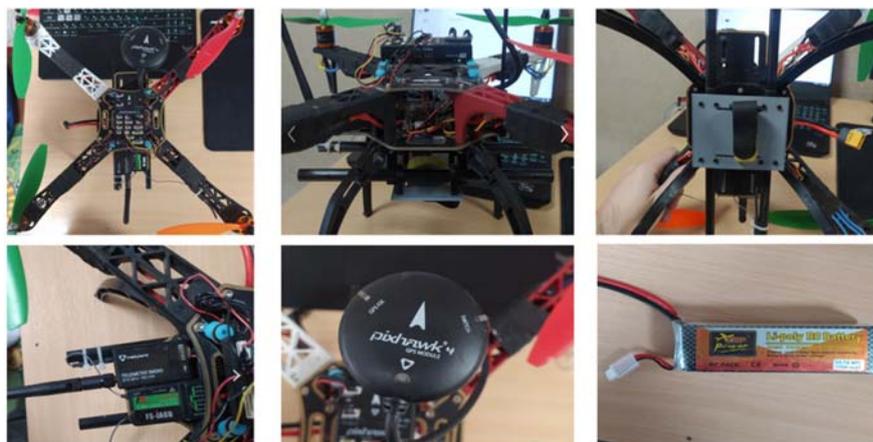
*Рис. 3. БПЛА с камерой 4к использовался для промышленного шпионажа*

### **2.4. Фотографирование БПЛА**

Полученный БПЛА необходимо фотографировать. Должны быть сделаны фотографии, на которых изображено следующее: фотографировать нужно со всех возможных ракурсов, так же отдельно нужно фотографировать разъемы и места для установки карт памяти, аккумулятор, системы передачи данных, стоит фотографировать различные надписи, маркировки, серийные номера на корпусе БПЛА, фотографии подвесов, систем

крепления, камер, устройств наступательного или оборонительного характера.

Качество фотографий должно отвечать следующим требованиям: надписи должны быть читаемыми, фотографии не должны быть мутными, отсутствие световых полос. Пример фотографирования БПЛА представлен на рис. 4.



*Рис. 4. Пример фотографирования захваченного БПЛА*

### **2.5. Определение доступных интерфейсов для подключения**

Существует множество различных методов взаимодействия с БПЛА, и внешние интерфейсы подключения являются наиболее распространённым методом предусмотренным производителем. Внешние интерфейсы, такие как USB (2.0/3.0), Micro-USB, USB-C потенциально могут обеспечить доступ к хранилищу данных БПЛА, где в качестве хранилища может выступать карта памяти или внутренняя память БПЛА. На рис. 5 представлен пример интерфейса БПЛА.



*Рис.5 . Пример расположения интерфейса micro-usb на БПЛА*

## 2.6. Определение наличия внешнего носителя данных

На данном шаге необходимо определить наличие внешних носителей данных. SD-карты чаще всего выступают в качестве такого хранилища и находятся под заглушками или просто вставлены в соответствующие разъемы. На рис. 5 представлен пример нахождения SD-карты в БПЛА.

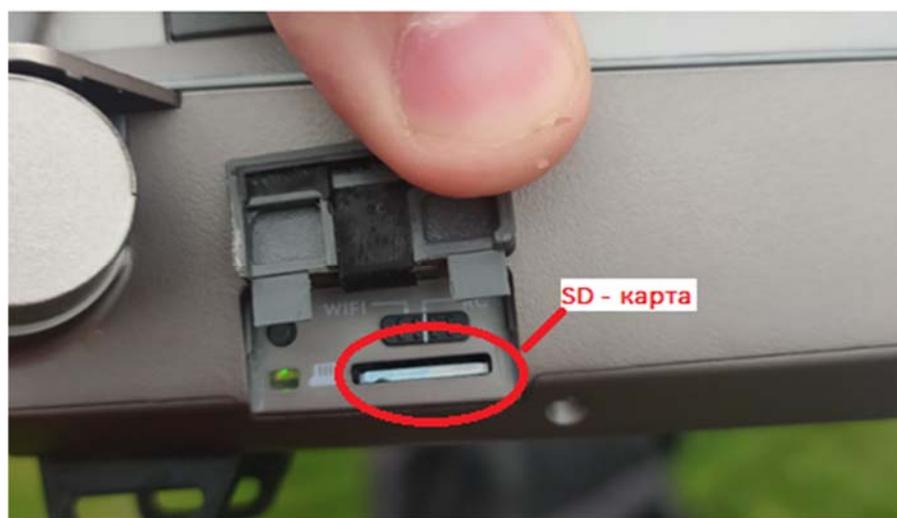


Рис. 6. Пример обнаруженной SD-карты в БПЛА

## 2.7. Анализ содержимого внешнего носителя

На данном шаге необходимо проанализировать содержимое SD-карты или внешнего накопителя данных. Нас интересуют фотографии, бортовые журналы, различные конфигурационные файлы. Фотографии в подавляющем большинстве находятся в папке DCIM и имеют формат JPEG. Найденные фотографии можно проанализировать. Фотографии имеют мета данные, которые можно просмотреть

## 2.8. Поиск информации о БПЛА или полетном контроллере

На данном шаге необходимо найти информацию о БПЛА в открытых источниках информации. Нас интересует характеристики БПЛА, возможные места хранения бортовых журналов, возможности БПЛА, программное обеспечение, используемое для связи с БПЛА.

Если БПЛА является модель самостоятельной сборки, то необходимо найти информацию в открытых источниках информации о полетном контроллере в открытых источниках информации. Чаще всего Полетные контроллеры имеют обширную документацию производителя, где содержится исчерпывающая информация. Нас интересует характеристики полетного

контроллера, места хранения бортовых журналов, программное обеспечение.

### **2.9. Поиск и извлечение бортовых журналов**

Используя информацию, полученную в пункте 2.8 необходимо найти место хранения бортовых журналов. Необходимо скачать и установить программное обеспечение и извлечь бортовые журналы из БПЛА или полетного контроллера.

### **2.10 .Поиск программ или веб-сервисов для расшифровки бортовых журналов**

Если удалось найти и извлечь бортовые журналы, то следует определить какой формат этих бортовых журналов.

Далее в сети найти программу или веб-сервис, который поддерживает данный вид бортовых журналов. Если бортовые журналы были извлечены из полетного контроллера, то можно использовать информацию из документации к полетному контроллеру. В документации производителя возможно есть информация в части анализа бортовых журналов(логов).

### **2.11.Загрузка и анализ бортовых журналов**

После того как удалось извлечь бортовые журналы и определить программу или веб сервис для анализа. Необходимо загрузить и проанализировать бортовой журнал. В результате анализа нам необходимо обнаружить следующие данные: GPS-координаты места взлета БПЛА, GPS-координаты последнего известного местоположения БПЛА, время полета БПЛА, заряд батареи при взлете, высота полета, координаты GPS в каждый момент времени, данные о пилоте.

### **2.12.Отчет**

Составление отчета является очень важным шагом при исследовании БПЛА. Корректно составленный отчет может позволить быстрее расследовать происшествие, связанное с БПЛА.

## **3. Благодарности**

Работа выполнена при поддержке фонда Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам (Конкурс СП-2022) №СП-858.2022.5 "Технология обеспечения кибербезопасности автоматизированных систем от активных информационных атак на основе принципа рефлексии"

### **Выводы**

Несмотря на много платформенную природу современных коммерческих БПЛА и отсутствие стандартизирующей документации, разрабо-

танная методика позволяет исследовать множество различных моделей БПЛА, что в свою очередь позволяет обнаружить цифровые доказательства произошедшего инцидента.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Horsman G.* Unmanned aerial vehicles: A preliminary analysis of forensic challenges. // *Digital Investigation*. – 2016. – №16. - P. 1–11.
2. *Maarse M., Sangers L., Ginkel J. Van Pouw, M.* Digital forensics on a DJI Phantom 2 Vision+ UAV // *Digital forensics*. – 2016. – №11. – p. 1–5.
3. *Kovar D., Dominguez G., Murphy C.* UAV Forensics // SANS DFIR summit. – Austin: ACT, 2015. – p. 7.
4. *Jain U., Rogers M., Matson E.T.* Drone forensic framework: Sensor and data identification and verification // *Sensors Applications Symposium*. – 2017. – №16. - p. 1-6.
5. *Barton T. E. A., Azhar M. A. H.* Open-Source Forensics for a Multiplatform Drone System // Springer. - New York City: Cham, 2018. - p. 83-96.

**Силин Олег Игоревич**, студент 5-го курса, ИКТИБ, БИТ, Южный федеральный университет, Россия, город Таганрог, улица Чехова 2, 347922, телефон: +79283264256, email: [silin@sfedu.ru](mailto:silin@sfedu.ru).

**Басан Елена Сергеевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры БИТ, ИКТИБ, Южный федеральный университет, улица Чехова 2, 347922, телефон: +79515205488, email: [ebasan@sfedu.ru](mailto:ebasan@sfedu.ru)

**Литвиненко Виталий Николаевич**, начальник кафедры связи, военный учебный центр ЮФУ, пер. Некрасовский 44, 347928, 89604527718, [vitlit@sfedu.ru](mailto:vitolit@sfedu.ru).

**Токарев Михаил Валерьевич**, доцент кафедры связи, военный учебный центр ЮФУ, пер. Некрасовский 44, 347928, 89604654486, [mtokarev@sfedu.ru](mailto:mtokarev@sfedu.ru).

**Silin Oleg Igorevich**, 5th year student, ИКТИБ, БИТ, Southern Federal University, Russia, Taganrog, Chekhov Street 2, 347922, phone: +79283264256, email: [silin@sfedu.ru](mailto:silin@sfedu.ru).

**Basan Elena Sergeevna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of БИТ, ИКТИБ, Southern Federal University, Chekhov Street 2, 347922, phone: +79515205488, email: [ebasan@sfedu.ru](mailto:ebasan@sfedu.ru)

**Litvinenko Vitaly Nikolaevich**, Head of the Department of Communications, Military Training Center of the Southern Federal University, per. Nekrasovsky 44, 347928, 89604527718, vitlit@sfnedu.ru.

**Tokarev Mikhail Valerievich**, Associate Professor of the Department of Communications, Military Training Center of the Southern Federal University, per. Nekrasovsky 44, 347928, 89604654486, mtokarev@sfnedu.ru.

УДК 629.735.015

Асовский Валерий Павлович, Кузьменко Алла Сергеевна

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АВИАЦИОННОГО  
ОПРЫСКИВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ  
ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

*В докладе рассмотрены вопросы моделирования процессов авиационного опрыскивания с применением беспилотных воздушных судов вертолетного типа.*

*Исследования проводились с использованием разработанного расчетно-программного комплекса моделирования авиационного внесения рабочих веществ, апробация которого проводилась на базе беспилотных воздушных судов (мультикоптеров) типа ODONATA AGRO и DJI T20 для их типовых режимов целевого применения. Выявлены общие качественные и количественные закономерности процессов опрыскивания мультикоптерами, влияние их параметров и режимов полета на показатели внесения жидкостей, рациональные технологические нормативы опрыскивания. Результаты моделирования и предложения по перспективному применению воздушных судов данного типа представлены в докладе.*

*Беспилотное воздушное судно (БВС), мультикоптер, внесение веществ, участок, режим полета, параметры осаждения.*

Asovsky Valery Pavlovich, Kuzmenko Alla Sergeevna

**SIMULATION OF AVIATION SPRAYING PROCESSES  
USING UNMANNED AIRCRAFT**

*The report considers the issues of modeling the processes of aviation spraying using unmanned helicopter-type aircraft. The research was carried out using the developed calculation and software complex for modeling the aviation application of working substances, which was tested on the basis of unmanned aircraft (multicopters) of the ODONATA AGRO and DJI T20 type for their typical target application modes. The general qualitative and quantitative regularities of spraying processes with multicopters, the influence of their parameters and summer modes on the indicators of liquid application, rational technological norms of spraying are revealed. The results of*

*modeling and proposals for the prospective use of aircraft of this type are presented in the report.*

*Unmanned aircraft (UAV), multicopter, application of substances, area, flight mode, parameters sedimentation.*

## **Введение**

Авиационно-химические работы (АХР), предусматривающие внесение воздушными судами различных жидких, сыпучих и биологических веществ, являются значимым фактором обеспечения деятельности и эффективности сельского, лесного и коммунального хозяйства страны ([1,2]). В настоящее время использование беспилотных воздушных судов (БВС) рассматривается, как одно из наиболее значимых и перспективных направлений развития АХР. Вместе с тем применение БВС для внесения веществ сопряжено с наличием разнообразных нерешенных вопросов, связанных, в частности с оценкой показателей внесения веществ и эффективностью проводимых АХР. Исследованию некоторых из этих вопросов посвящен настоящий доклад.

## **Основная часть**

По результатам многочисленных отечественных и зарубежных исследований [1-4 и др.] было определено, что наиболее перспективными для проведения АХР являются беспилотные воздушные суда вертолетного типа с несколькими несущими винтами (мультикоптера). Для решения вопросов перспективного применения мультикоптеров в сельском хозяйстве нами был проведен ряд аналитических, расчетно-теоретических и экспериментальных работ, некоторые результаты которых представлены ниже.

В рамках проведенных работ в среде программирования DELPHI был сформирован расчетный комплекс моделирования и оценки значимых для этого показателей мультикоптеров при выполнении защитного опрыскивания. Комплекс базируется на отработанных ранее, в частности, при моделировании внесения рабочих веществ другими видами воздушных судов [5-8 и др.], математических моделях, процедурах и модулях с учетом особенностей конструкции БВС и режимов его полета и использования на АХР.

Исходными данными БВС для проведения расчетов являются его вид и основные технические и геометрические характеристики, режим полета, внешние условия АХР а также свойства и параметры выпуска рабочих жидкостей. Апробация расчетного комплекса проводилась на базе БВС ти-

па ODonATA AGRO и DJI T20 [9, 10] для их типовых режимов авиационного опрыскивания с оценкой достоверности и адекватности результатов моделирования в сравнении полученными экспериментальными данными. Выполненное сравнение подтвердило возможность использования расчетного комплекса для оценки показателей авиаопрыскивания. В частности, для гексакоптера ODonATA AGRO величины F – критерия Фишера для характерных единичных и средних показателей внесения находятся на уровне 8,70 - 30,89 при его критической табличной величине 4,48 для значимости 0,05 и степеней свободы 19/1.

По результатам такого компьютерного моделирования, в частности, определено :

- качественная общность опрыскивания рассмотренных БВС и других типов воздушных судов;

- обобщенные нелинейные аналитические выражения показателей внесения БВС в зависимости от их параметров и режимов полета, в частности увеличение высоты полета приводит к росту общей ширины захвата, а изменение скорости не оказывает сильного влияния на показатели опрыскивания;

- сильное влияние на показатели применения конкретного БВС, в частности производительности обработок, технологических параметров, например нормы внесения и рабочей скорости;

- рациональными технологическими параметрами опрыскивания БВС, являются ширина захвата на уровне 40 - 50 % от общей для соответствующего режима полета, рабочие скорости и высоты полета 4 -7 м/с и 1 - 3 м;

- перспективное применение легких и средних БВС с электроприводом для обработки неудобий, концевых и краевых полос и очагов вредных объектов на участках с площадью до 10 - 20 га с нормами в пределах 7 - 8 л/га при взлетной массе мультикоптеров до 30 кг.

## Выводы

По совокупности результатов исследований можно сделать вывод, что сформированный программный комплекс адекватно и достаточно точно описывает процессы осаждения и распределения рабочих веществ при их авиационном внесении и может быть использован для решения актуальных научно-практических задач совершенствования способов и технологий производства АХР с учетом перечня внешних, технико-технологических, эксплуатационных и других параметров.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Зубарев Ю.Н., Фомин Д.С., Чащин А.Н., Заболотнова М.В.* Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве. // Вестник ПФИЦ, № 2, 2019. – с. 47 – 51 (DOI: 10.7242/2658-705X/2019.2.5)
2. *Мелихова Е.В., Мелихов Д.А.* Применение беспилотных летательных аппаратов в аграрном производстве. // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral», № 3, 2019. – с. 206-211.
3. *Marinello F., Pezzuolo A., Chiumenti A., Luigi Sartori L.* Technical analysis of Unmanned Aerial Vehicles (Drones) for agricultural applications. // Engineering for rural development, Jelgava, 25-27.05.2016. – p. 870-875.
4. *UM Rao Mogili, B B V L Deepak.* Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture // Procedia Computer Science, 133 (2018) – p. 502–509.
5. *Логачев Ю.Г.* О путях повышения эффективности авиационной обработки. // Механика процессов авиационного опрыскивания и рассеивания сыпучих веществ. Сб. науч.тр., N 3, вып.219. - Рига: РКИИГА, 1971. - С.3-16
6. *Деревянко В.С.* Влияние аэродинамических возмущений на процессы авиационного опыливания и опрыскивания. - М.: Транспорт, 1974. - 72 с.
7. *Асовский В.П.* Теория и практика авиационного распределения веществ. - М.: Воздушный транспорт, 2008. - 580 с.
8. Использование компьютерного моделирования процессов опрыскивания в задачах повышения эффективности авиационно-химических работ / А.С.
9. Кузьменко // Известия ЮФУ. Технические науки. – № 2 (204), 2019. – С. 89–104.
10. Дрон ODonata AGRO [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://odonataagro.ru/> свободный. (Дата обращения: 01.09.2018).
11. Мультикоптеры DJI [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://digbox.ru/multikopter\\_dji\\_agras/](https://digbox.ru/multikopter_dji_agras/) свободный. (Дата обращения: 29.04. 2022).

**Кузьменко Алла Сергеевна**, доцент кафедры летательных аппаратов Южного федерального университета, 347900 Россия, город Таганрог, переулок Тургеневский, 44, телефон: +7 (8634) 37-16-97, email: [akuzm@sfedu.ru](mailto:akuzm@sfedu.ru).

**Асовский Валерий Павлович**, доктор технических наук, ученый секретарь НПК «ПАНХ», Россия, город Краснодар, ул. Кирова 138, 350000, e-mail: [vasov63@mail.ru](mailto:vasov63@mail.ru).

**Kuzmenko Alla Sergeevna**, Associate Professor, Aircraft Department, Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, trans. Turgenevsky, 44, phone: +7 (8634) 37-16-97, e-mail: [akuzm@sfedu.ru](mailto:akuzm@sfedu.ru).

**Asovsky Valery Pavlovich**, Doctor of Technical Sciences, scientific secretary of NPK «ПАНХ», 350000, Russia, Krasnodar, 138 Kirova Str., e-mail: [vasov63@mail.ru](mailto:vasov63@mail.ru).

УДК 551.594

Белоусова Ольга Васильевна, Гривцов Владимир Владиславович,  
Куповых Геннадий Владимирович, Клово Александр Георгиевич

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ТУРБУЛЕНТНОГО ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ**

*В приближении электродного эффекта проведено моделирование электродинамического состояния турбулентного приземного слоя атмосферы. Построены электродинамические модели турбулентного состояния приземного слоя с некоторыми физическими допущениями в чистой атмосфере и при наличии в ней аэрозольных частиц. Получены расчетные формулы профилей концентраций ионов проводимости и плотности объемного заряда, а также напряжённости электрического поля для различных значений степени турбулентного перемешивания, ионизации и аэрозольного загрязнения приземного воздуха. Приближенные аналитические решения хорошо согласуются с известными теоретическими и экспериментальными данными.*

*Моделирование, турбулентность, приземный слой, электродный эффект, ионизация, электрическое поле.*

Belousova Olga Vasilievna, Grivtsov Vladimir Vladislavovich,  
Kupovykh Gennady Vladimirovich, Klovo Alexander Georgievich

## ELECTRODYNAMIC STRUCTURE MODELING OF TURBULENT SURFACE LAYER

*In the approximation of the electrode effect, the electrodynamic state of the turbulent surface layer of the atmosphere is simulated. Electrodynamic models of the turbulent surface layer are constructed with some physical assumptions in a pure atmosphere and in the presence of aerosol particles in it. Calculated formulas of profiles of conductivity ion concentrations and space charge density, as well as electric field strength for various values of the degree of turbulent mixing, ionization and aerosol pollution of surface air are obtained. Approximate analytical solutions are in good agreement with known theoretical and experimental data.*

*Modeling, turbulence, surface layer, electrode effect, ionization, electric field.*

### **Введение**

Приземный слой атмосферы обычно находится в состоянии турбулентного перемешивания и может содержать достаточное количество аэрозольных частиц. В этом случае его электродинамическое состояние зависит не только от электрического поля, но и от интенсивности турбулентного перемешивания, степени ионизации воздуха и концентрации аэрозольных частиц [1,2]. Получение аналитических формул для расчетов электрических характеристик приземного слоя требует сделать ряд допущений в уравнениях модели турбулентного электродного эффекта, а также применить методы математического моделирования – расщепления по физическим процессам.

### **1. Модель турбулентного электродного слоя в чистой атмосфере.**

Модель турбулентного электродного эффекта [2,3] для горизонтально-однородного свободного от аэрозоля приземного слоя имеет вид:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial}{\partial z} (D_T(z) \frac{\partial n_{1,2}}{\partial z}) \pm \frac{\partial}{\partial z} (b_{1,2} \cdot n_{1,2} E) &= q - \alpha n_1 n_2, \\ \frac{\partial E}{\partial z} &= \frac{e}{\varepsilon_0} (n_1 - n_2), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $n_{1,2}$  - концентраций полярных аэроионов,  $b_{1,2}$  – их подвижности,  $\alpha$  – коэффициент рекомбинации,  $E$  - напряжённость электрического поля,  $D_T = D_T z$  – коэффициент турбулентной диффузии аэроионов,  $q$  – скорость ионизации воздуха,  $e$  - элементарный заряд,  $\varepsilon_0$  - электрическая постоянная.

Для исследование математической модели используем методы теории подобия: введем в системе (1) безразмерные переменные, используя характерные значения и масштабы входящих в них физических величин:

$$z' = z/l_1, \quad n'_{1,2} = n_{1,2}/n_\infty, \quad E' = E/E_\infty, \quad n_\infty = \sqrt{q_\infty/\alpha}, \quad l_1 = D_1 \cdot \tau, \quad \tau = (q_\infty \alpha)^{-1/2}. \quad (2)$$

Тогда получаем уравнения в безразмерной форме:

$$-\frac{\partial}{\partial z'} \left( z' \frac{\partial n'_{1,2}}{\partial z'} \right) \pm \xi_{1,2} \frac{\partial}{\partial z'} (n'_{1,2} E') = \frac{q}{q_\infty} - n'_1 n'_2, \quad \frac{\partial E'}{\partial z'} = \gamma (n'_1 - n'_2). \quad (3)$$

Систему (3) характеризуют два безразмерных параметра (критерии подобия):

$$\xi_{1,2} = \frac{|b_{1,2}| \cdot E_\infty \cdot \tau}{l_1}, \quad \gamma = \frac{e}{\varepsilon_0} \frac{n_\infty}{E_\infty} l_1. \quad (4)$$

Если  $\xi_{1,2} < 1$ , имеет место турбулентный электродный эффект [2], т.е. перенос аэроионов в атмосфере осуществляется, наряду с электрическими силами, турбулентными потоками воздуха. Далее во всех модельных случаях будем предполагать выполненным условие  $|\gamma| \ll 1$ , тогда электрическое поле, создаваемое объёмным электрическим зарядом можно считать постоянным.

Плотность электрического заряда, создаваемого аэроионами, может быть рассчитана по формуле:

$$\rho_T(z) = e(n_1(z) - n_2(z)). \quad (5)$$

Напряженность электрического поля можно рассчитать по формуле:

$$E_T = \frac{1}{\varepsilon_0} \int_{z_0}^{z_\infty} \rho(z) dz. \quad (6)$$

Сделаем следующие допущения:  $E = const$ ,  $q = const$ ,  $D_T(z, t) = D_0 = const$ . Для получения аналитических выражений линеаризуем правые части ионизационно-рекомбинационных уравнений в (1), положив в первом уравнении  $n_2 = n_\infty$ , а во втором –  $n_1 = n_\infty$ . Тогда имеем следующую систему с соответствующими граничными условиями [4]:

$$\pm b_{1,2} E \frac{dn_{1,2}}{dz} - D_0 \frac{d^2 n_{1,2}}{dz^2} = q - \alpha n_\infty n_{1,2}. \quad (7)$$

$$n_{1,2}(z = z_0) = 0, \quad n_{1,2}(z = z_\infty) = \sqrt{\frac{q_\infty}{\alpha}} = n_\infty, \quad (8)$$

где  $z_0$  - масштаб шероховатости земной поверхности.

На первом этапе получим аналитические решения для нахождения профилей полярных концентраций аэроионов. Далее осуществим расчеты плотности электрического заряда по формуле (5) и напряженности электрического поля по формуле (6).

Аналитическими решениями уравнений системы (7)-(8) являются выражения:

$$n_{T1}(z) = \frac{\alpha n_{\infty}^2 + q \left( e^{k_{11}(z_{\infty}-z_0)} - 1 \right)}{\alpha n_{\infty} \left( e^{z_{\infty}k_{12}} - e^{z_0(k_{12}-k_{11})+z_{\infty}k_{11}} \right)} \left( e^{zk_{12}} - e^{z_0(k_{12}-k_{11})+zk_{11}} \right) + \frac{q}{\alpha n_{\infty}} \left( 1 - e^{k_{11}(z-z_0)} \right),$$

$$k_{11} = \frac{b_1 E + \sqrt{(b_1 E)^2 + 4D_0 \alpha n_{\infty}}}{2D_0}, \quad k_{12} = \frac{b_1 E - \sqrt{(b_1 E)^2 + 4D_0 \alpha n_{\infty}}}{2D_0}. \quad (9)$$

$$n_{T2}(z) = \frac{\alpha n_{\infty}^2 + q \left( e^{k_{21}(z_{\infty}-z_0)} - 1 \right)}{\alpha n_{\infty} \left( e^{z_{\infty}k_{22}} - e^{z_0(k_{22}-k_{21})+z_{\infty}k_{21}} \right)} \left( e^{zk_{22}} - e^{z_0(k_{22}-k_{21})+zk_{21}} \right) + \frac{q}{\alpha n_{\infty}} \left( 1 - e^{k_{21}(z-z_0)} \right),$$

$$k_{21} = \frac{-b_2 E + \sqrt{(b_2 E)^2 + 4D_0 \alpha n_{\infty}}}{2D_0}, \quad k_{22} = \frac{-b_2 E - \sqrt{(b_2 E)^2 + 4D_0 \alpha n_{\infty}}}{2D_0}. \quad (10)$$

Используя (9) и (10) в формуле (5), получаем для плотности объемного электрического заряда выражение:

$$\rho_T(z) = e \left( \frac{\alpha n_{\infty}^2 + q \left( e^{k_{11}(z_{\infty}-z_0)} - 1 \right)}{\alpha n_{\infty} \left( e^{z_{\infty}k_{12}} - e^{z_0(k_{12}-k_{11})+z_{\infty}k_{11}} \right)} \left( e^{zk_{12}} - e^{z_0(k_{12}-k_{11})+zk_{11}} \right) - \frac{q}{\alpha n_{\infty}} \left( 1 - e^{k_{11}(z-z_0)} \right) - \right. \\ \left. - \frac{\alpha n_{\infty}^2 + q \left( e^{k_{21}(z_{\infty}-z_0)} - 1 \right)}{\alpha n_{\infty} \left( e^{z_{\infty}k_{22}} - e^{z_0(k_{22}-k_{21})+z_{\infty}k_{21}} \right)} \left( e^{zk_{22}} - e^{z_0(k_{22}-k_{21})+zk_{21}} \right) + \frac{q}{\alpha n_{\infty}} \left( 1 - e^{k_{21}(z-z_0)} \right) \right). \quad (11)$$

Тогда с учетом (6) для напряженности электрического поля имеем:

$$E_T = \frac{e}{\varepsilon_0} \left\{ \frac{A}{k_{12}} \left( e^{zk_{12}} - 1 \right) - \frac{\left( e^{zk_{11}} - 1 \right)}{k_{11}} \left( A e^{z_0(k_{12}-k_{11})} + \frac{q}{\alpha n_{\infty}} e^{z_0 k_{11}} \right) - \right. \\ \left. - \frac{B}{k_{22}} \left( e^{zk_{22}} - 1 \right) + \frac{\left( e^{zk_{21}} - 1 \right)}{k_{21}} \left( B e^{z_0(k_{22}-k_{21})} + \frac{q}{\alpha n_{\infty}} e^{z_0 k_{21}} \right) \right\},$$

$$A = \frac{\alpha n_{\infty}^2 + q \left( e^{k_{11}(z_{\infty} - z_0)} - 1 \right)}{\alpha n_{\infty} \left( e^{z_{\infty} k_{12}} - e^{z_0(k_{12} - k_{11}) + z_{\infty} k_{11}} \right)}, \quad B = \frac{\alpha n_{\infty}^2 + q \left( e^{k_{21}(z_{\infty} - z_0)} - 1 \right)}{\alpha n_{\infty} \left( e^{z_{\infty} k_{22}} - e^{z_0(k_{22} - k_{21}) + z_{\infty} k_{21}} \right)}. \quad (12)$$

Распределения электрических характеристик (9)-(12) получены в свободной от аэрозоля турбулентной атмосфере. Характерные значения параметров в модели [2-4]:  $z_0 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ,  $E = -100 \text{ В / м}$ ,  $b_{1,2} = (1,2 - 1,6) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \text{В}^{-1} \text{с}^{-1}$ ,  $q \approx (10^7 - 10^8) \text{ м}^{-3} \text{с}^{-1}$ ,  $z_{\infty} \approx 10 \text{ м}$ ,  $\alpha = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ м}^{-3} \text{с}^{-1}$ .

## 2. Модель турбулентного электродного слоя с аэрозолем.

Рассмотрим турбулентный электродный слой, заполненный мало- подвижными монодисперсными аэрозольными частицами. Тогда в правой части ионизационно-рекомбинационных уравнений, можно добавить член  $BNn_{1,2}$ , описывающий взаимодействие аэроионов с аэрозолем [4]. Кроме того, очевидно, что для достаточно больших концентраций аэрозоля рекомбинационным членом можно пренебречь. Используя сделанные выше допущения ( $E = E_0 = \text{const}$ ,  $q = \text{const}$ ,  $D_T(z, t) = D_0 = \text{const}$ ), перейдем к следующей системе с соответствующими граничными условиями:

$$D_0 \frac{d^2 n_{1,2}}{dz^2} \pm b_{1,2} E_0 \frac{dn_{1,2}}{dz} - BNn_{1,2} = -q, \quad (13)$$

$$n_{1,2}(z = z_0) = 0, \quad n_{1,2}(z = z_{\infty}) = \frac{q}{BN}.$$

Решением уравнений системы (13) являются выражения для концентраций положительных и отрицательных аэроионов:

$$n_1(z) = \frac{q}{BN} \left( \frac{e^{\lambda_1 z_0 + \lambda_2 z} - e^{\lambda_2 z_0 + \lambda_1 z}}{\left( e^{\lambda_1 z_0 + \lambda_2 z_{\infty}} - e^{\lambda_2 z_0 + \lambda_1 z_{\infty}} \right)} + 1 \right), \quad \lambda_{1,2} = \frac{b_1 E_0 \pm \sqrt{4D_0 BN + (b_1 E_0)^2}}{2D_0}, \quad (14)$$

$$n_2(z) = \frac{q}{BN} \left( \frac{e^{\gamma_1 z_0 + \gamma_2 z} - e^{\gamma_2 z_0 + \gamma_1 z}}{\left( e^{\gamma_1 z_0 + \gamma_2 z_{\infty}} - e^{\gamma_2 z_0 + \gamma_1 z_{\infty}} \right)} + 1 \right), \quad \gamma_{1,2} = \frac{-b_2 E_0 \pm \sqrt{4D_0 BN + (b_2 E_0)^2}}{2D_0}. \quad (15)$$

Тогда для плотности объемного заряда получаем:

$$\rho_{Ta}(z) = \frac{eq}{BN} \left( \frac{e^{\lambda_1 z_0 + \lambda_2 z} - e^{\lambda_2 z_0 + \lambda_1 z}}{\left( e^{\lambda_1 z_0 + \lambda_2 z_{\infty}} - e^{\lambda_2 z_0 + \lambda_1 z_{\infty}} \right)} - \frac{e^{\gamma_1 z_0 + \gamma_2 z} - e^{\gamma_2 z_0 + \gamma_1 z}}{\left( e^{\gamma_1 z_0 + \gamma_2 z_{\infty}} - e^{\gamma_2 z_0 + \gamma_1 z_{\infty}} \right)} \right). \quad (16)$$

Напряженность электрического поля равна:

$$E_{Ta} = \frac{e}{\varepsilon_0} \left( \frac{e^{\lambda_1 z_0} (e^{\lambda_2 z_\infty} - e^{\lambda_2 z_0})}{A_1 \lambda_2} - \frac{e^{\lambda_2 z_\infty} (e^{\lambda_1 z_\infty} - e^{\lambda_1 z_0})}{A_1 \lambda_1} - \frac{e^{\gamma_1 z_0} (e^{\gamma_2 z_\infty} - e^{\gamma_2 z_0})}{A_2 \gamma_2} + \frac{e^{\gamma_2 z_\infty} (e^{\gamma_1 z_\infty} - e^{\gamma_1 z_0})}{A_2 \gamma_1} \right)$$

$$A_1 = \exp(\lambda_1 z_0 + \lambda_2 z_\infty) - \exp(\lambda_2 z_0 + \lambda_1 z_\infty), \quad A_2 = \exp(\gamma_1 z_0 + \gamma_2 z_\infty) - \exp(\gamma_2 z_0 + \gamma_1 z_\infty). \quad (17)$$

Характерные значения параметров модели:  $\eta_1 = 1,4 \cdot 10^{-12} \text{ м}^{-3} \text{ с}^{-1}$ ,  $\eta_2 = 4 \cdot 10^{-12} \text{ м}^{-3} \text{ с}^{-1}$ ,  $N \in (10^9 - 10^{11}) \text{ м}^{-3}$  [2-4].

### Выводы

Полученные приближенные аналитические решения уравнений турбулентного электродного эффекта в атмосфере хорошо согласуются с известными теоретическими и экспериментальными данными [5], а также представляют интерес для решения прикладных задач мониторинга атмосферы [6].

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Морозов В.Н. Атмосферное электричество // Атмосфера. Справочник (справочные данные, модели). Л.: Гидрометеиздат, 1991. С. 394 - 408.
2. Куповых Г.В., Морозов В.Н., Шварц Я.М. Теория электродного эффекта в атмосфере. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1998. 123 с.
3. Куповых Г.В., Морозов В.Н. Турбулентный электродный эффект в приземном слое // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2003, Приложение №3. С.55 – 62.
4. Куповых Г.В., Клово А.Г., Тимошенко Д.В., Свидельский С.С. Приближенное аналитическое решение задачи об электродинамическом состоянии приземной атмосферы в условиях аэрозольного загрязнения // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. № 2, 2018. С.84-89.
5. Кудринская Т.В., Куповых Г.В., Редин А.А. Исследования ионизационного состояния приземного слоя атмосферы в разных геофизических условиях // Метеорология и гидрология. 2018. №4 С.77-85.
6. Редин А.А., Куповых Г.В., Кудринская Т.В., Гривцов В.В. Атмосферно-электрические наблюдения как метод контроля техногенного воздействия на атмосферу. // Технологии техносферной безопасности (научный интернет-журнал) Вып. 1 (71). 2017. <http://academygps.ru/1920/>

Белоусова Ольга Васильевна, ассистент [Института компьютерных технологий и информационной безопасности](#) Южного федерального университета, Россия,

город Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347928, телефон: +7(8634)37-16-06, email: [obelousova@sfnedu.ru](mailto:obelousova@sfnedu.ru).

**Гривцов Владимир Владиславович**, кандидат технических наук, доцент Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова 22, 347928, телефон: +7(8634)37-17-94, email: [gvv@sfnedu.ru](mailto:gvv@sfnedu.ru).

**Куповых Геннадий Владимирович**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой Высшей математики [Института компьютерных технологий и информационной безопасности](#) Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347928, телефон: +7(8634)37-16-36, email: [kupovykh@sfnedu.ru](mailto:kupovykh@sfnedu.ru).

**Клово Александр Георгиевич**, кандидат физико-математических наук, доцент [Института компьютерных технологий и информационной безопасности](#) Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347928, телефон: +7(8634)37-16-06, email: [agklovo@sfnedu.ru](mailto:agklovo@sfnedu.ru).

**Belousova Olga Vasilievna**, assistant at the Institute of Computer Technologies and Information Security of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 44, 347928, phone: +7(8634)37-16-06, email: [obelousova@sfnedu.ru](mailto:obelousova@sfnedu.ru).

**Gritsov Vladimir Vladislavovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, 347928, Russia, Taganrog, 22 Chekhov Street, phone: +7(8634)37-17-94, email: [gvv@sfnedu.ru](mailto:gvv@sfnedu.ru)

**Kupovykh Gennady Vladimirovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Higher Mathematics, Institute of Computer Technologies and Information Security, Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 44, 347928, phone: +7(8634)37-16-36, email: [kupovykh@sfnedu.ru](mailto:kupovykh@sfnedu.ru).

**Klovo Alexander Georgievich**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Institute of Computer Technologies and Information Security, Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 44, 347928, phone: +7(8634) 37-16-06, email: [agklovo@sfnedu.ru](mailto:agklovo@sfnedu.ru).

УДК 551.594

Куповых Геннадий Владимирович, Гривцов Владимир Владиславович,  
Белоусова Ольга Васильевна, Клово Александр Георгиевич

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ  
ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ В ПРИБЛИЖЕНИИ КЛАССИЧЕСКОГО  
ЭЛЕКТРОДНОГО ЭФФЕКТА**

*Проведено математическое моделирование электродинамического состояния приземного слоя атмосферы в приближении классического электродного эффекта. Для практических оценок электрических характеристик атмосферы вблизи поверхности земли получены аналитические решения, следующие из уравнений электродного эффекта, с некоторыми обоснованными физическими допущениями в чистой атмосфере и при наличии в ней аэрозольных частиц. Аналитические выражения для профилей концентраций ионов проводимости, плотности объемного заряда и напряжённости электрического поля в приземном слое показывают их зависимость от степени ионизации воздуха и аэрозольного загрязнения атмосферы. Модельные расчеты хорошо согласуются с известными теоретическими и экспериментальными данными.*

*Математическое моделирование, приземный слой, электродный эффект, ионизация, электрическое поле.*

Kupovykh Gennady Vladimirovich, Grivtsov Vladimir Vladislavovich,  
Belousova Olga Vasilievna, Klovo Alexander Georgievich

**ELECTRODYNAMIC STRUCTURE MODELING OF SURFACE  
LAYER IN APPROXIMATION OF CLASSICAL ELECTRODE EFFECT**

*Mathematical modeling of the surface layer electrodynamic state in the approximation of the classical electrode effect has been carried out. For practical estimates of the atmospheric electrical characteristics near the earth's surface, analytical solutions are obtained that follow from the equations of the electrode effect with some justified physical assumptions in a clean atmosphere and in the presence of aerosol particles. Analytical expressions for the profiles of conductivity ion concentrations, volume charge density and electric field strength in the surface layer show their dependence on the degree of air ionization and aerosol pollution of the atmosphere. The model calculations are in good agreement with the known theoretical and experimental data.*

*Modeling, surface layer, electrode effect, ionization, electric field.*

## Введение.

Электродинамическое состояние приземного слоя атмосферы определяется глобальным электрическим полем, а также локальным действием электродного эффекта вблизи поверхности земли [1-3]. Структура электродного слоя зависит от метеорологических условий, ионизации воздуха, степени аэрозольного и радиоактивного загрязнений атмосферы. Для практики представляют интерес аналитические выражения, которые можно получить из уравнений электродного эффекта с некоторыми обоснованными физическими допущениями.

### 1. Общая постановка задачи.

Основной задачей электродинамики приземного слоя является нахождение пространственно-временных распределений электрических характеристик: концентраций ( $n_{1,2}$ ) полярных ионов проводимости (аэроионов) и напряжённости ( $E$ ) электрического поля в различных условиях, а также расчета плотности объемного заряда, плотности электрического тока и т.д.

Общая модель горизонтально-однородного свободного от аэрозоля электродного слоя, описывается ионизационно-рекомбинационными уравнениями и уравнением Пуассона [1-3]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial n_{1,2}}{\partial t} \pm \frac{\partial}{\partial z} (b_{1,2} \cdot n_{1,2} E) - \frac{\partial}{\partial z} (D_T(z) \frac{\partial n_{1,2}}{\partial z}) &= q - \alpha n_1 n_2, \\ \frac{\partial E}{\partial z} &= \frac{e}{\varepsilon_0} (n_1 - n_2), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $b_{1,2}$  – подвижности полярных аэроионов,  $\alpha$  – коэффициент рекомбинации,  $D_T = D_T z$  – коэффициент турбулентной диффузии аэроионов,  $q$  – скорость ионизации воздуха,  $e$  – элементарный заряд,  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная.

Плотность электрического заряда, создаваемого аэроионами, может быть рассчитана по формуле:

$$\rho(z) = e \cdot (n_1(z) - n_2(z)). \quad (2)$$

Напряженности электрического поля, создаваемого объемным зарядом в электродном слое, можно рассчитать по формуле:

$$E(z) = \frac{1}{\varepsilon_0} \int_{z_0}^{z_\infty} \rho(z) dz. \quad (3)$$

Характерное время протекания метеорологических процессов  $\sim 1-3$  ч, а время релаксации для аэроионов составляет  $\approx 300$  с [1-3], поэтому далее будем рассматривать стационарную модель. Также будем предполагать

выполненными условия, когда электрическое поле можно считать постоянным  $E = E_0 = const$ .

## 2. Классический электродный слой в чистой атмосфере.

Если выполняется условие:  $\frac{|b_{1,2}| \cdot E_\infty \cdot \tau}{l_1} \geq 1$  ( $l_1$  - характерная толщина

электродного слоя) то имеет место классический электродный эффект, когда пространственно-временное распределение аэроионов в приземном слое обусловлено только электрическим полем [4-5].

Как следует модели классического электродного эффекта [4] профиль концентрации положительных ионов проводимости практически не зависит от высоты ( $n_1 \approx const$ ), также скорость ионизации воздуха будем считать постоянной ( $q = const$ ). Тогда, рассмотрим только уравнение для концентрации отрицательных аэроионов с соответствующим граничным условием:

$$\begin{aligned} -b_2 E_0 \frac{dn_2}{dz} &= q - \alpha n_1 n_2, \\ n_2(z=0) &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Решением (2) является выражение:

$$n_2(z) = \frac{q}{\alpha n_1} \cdot \left( 1 - \exp\left(\frac{\alpha n_1 z}{b_2 E_0}\right) \right). \quad (5)$$

Используя формулы (2) и (5), получаем для плотности электрического заряда выражение:

$$\rho_\kappa(z) = e \left( n_1 - \frac{q}{\alpha n_1} \cdot \left( 1 - \exp\left(\frac{\alpha n_1 z}{b_2 E_0}\right) \right) \right). \quad (6)$$

Подставляя (6) в (3) получаем напряжённость электрического поля:

$$E_\kappa = \frac{e}{\varepsilon_0} \left( z_\infty \left( n_1 - \frac{q}{\alpha n_1} \right) + \frac{q b_2 E_0}{(\alpha n_1)^2} \left( \exp\left(\frac{\alpha n_1 z_\infty}{b_2 E_0}\right) - 1 \right) \right). \quad (7)$$

Распределения электрических характеристик (5)-(7) получены в свободной от аэрозоля атмосфере без учета турбулентного перемешивания.

Характерные значения параметров в модели [3,4]:  $E_0 = -100 \text{ В / м}$ ,  
 $b_{1,2} = (1,2 - 1,6) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \text{В}^{-1} \text{с}^{-1}$ ,  $q \approx (10^7 - 10^8) \text{ м}^{-3} \text{с}^{-1}$ ,  $z_\infty = (4 - 5) \text{ м}$ ,  
 $\alpha = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ м}^{-3} \text{с}^{-1}$ .

## 1. Классический электродный слой с аэрозольными частицами.

Рассмотрим классический электродный слой, заполненный малоподвижными монодисперсными аэрозольными частицами. Тогда в правой

части ионизационно-рекомбинационных уравнений, добавится член  $BNn_{1,2}$ , описывающий взаимодействие аэроионов с аэрозолем [5]. Кроме того, очевидно, что для достаточно больших концентраций аэрозоля рекомбинационным членом можно пренебречь. С учетом сделанных выше допущений ( $E = E_0 = const, q = const, n_1 \approx const$ ), решим уравнение для отрицательных аэроионов с соответствующим граничным условием:

$$\begin{aligned} -b_2 E_0 \frac{dn_2}{dz} &= q - BNn_2, \\ n_2(z=0) &= 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Здесь  $B = \frac{2\eta_1\eta_2}{\eta_1 + 2\eta_2}$  – параметр, описывающий взаимодействия

аэроионов с нейтральными и заряженными аэрозольными частицами [3,5],  $N$  – концентрация аэрозольных частиц,  $\eta_{1,2}$  – коэффициенты воссоединения полярных аэроионов с аэрозолем.

Решением уравнения (8) является выражение:

$$n_2(z) = \frac{q}{BN} \left( 1 - \exp\left(\frac{BN}{b_2 E_0} z\right) \right). \quad (9)$$

Для плотности электрического заряда по формуле (2) имеем выражение:

$$\rho_{ка}(z) = e \left( n_1 - \frac{q}{BN} \left( 1 - \exp\left(\frac{BN}{b_2 E_0} z\right) \right) \right). \quad (10)$$

Напряжённость электрического поля в соответствии с формулой (3) равна:

$$E_{ка} = \frac{e}{\varepsilon_0} \left( z_\infty \left( n_1 - \frac{q}{BN} \right) + \frac{qb_1 E_0}{(BN)^2} \left( \exp\left(\frac{BNz_\infty}{b_1 E_0}\right) - 1 \right) \right). \quad (11)$$

Характерные значения параметров в (9)-(11):  $\eta_1 = 1,4 \cdot 10^{-12} \text{ м}^{-3} \text{ с}^{-1}$ ,  $\eta_2 = 4 \cdot 10^{-12} \text{ м}^{-3} \text{ с}^{-1}$ ,  $N \in (10^9 - 10^{11}) \text{ м}^{-3}$  [3,5].

### Выводы.

Для оценки электрического состояния атмосферы в нетурбулентном состоянии на основании теории электродного эффекта сделаны обоснованные физические допущения и построены упрощенные модели классического электродного слоя. Получены аналитические решения, описывающие распределения концентраций ионов проводимости, плотности объемного заряда и электрического поля, в зависимости от степени ионизации воздуха и его аэрозольного загрязнения. Полученные формулы могут быть

полезны при решении ряда прикладных задач геофизики, в частности для мониторинга состояния атмосферы [6,7].

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Куповых Г.В.* Электродинамические процессы в приземном слое атмосферы. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. 114 с.
2. *Морозов В.Н.* Атмосферное электричество // Атмосфера. Справочник (справочные данные, модели). Л.: Гидрометеиздат, 1991. С. 394 - 408.
3. *Куповых Г.В., Морозов В.Н., Шварц Я.М.* Теория электродного эффекта в атмосфере. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1998. 123 с.3.
4. *Куповых Г.В., Морозов В.Н.* Классический (нетурбулентный) электродный эффект в приземном слое // Известия высших учебных заведений. Сев.-Кав. регион. Естеств. науки. 2003, №2. С.43 – 46.
5. *Куповых Г.В., Клово А.Г., Тимошенко Д.В., Свидельский С.С.* Приближенное аналитическое решение задачи об электродинамическом состоянии приземной атмосферы в условиях аэрозольного загрязнения // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. № 2, 2018. С.84-89
6. *Шулейкин В.Н., Щукин Г.Г., Куповых Г.В.* Развитие методов и средств прикладной геофизики - атмосферно-электрический мониторинг геологических неоднородностей и зон геодинамических процессов. СПб.: РГГМУ, 2015. 206 с.
7. *Kupovykh G.V., Kudrinskaya T.V., Grivtsov V.V.* The atmosphere electrical characteristics' monitoring as an element of technosphere safety // CATPID-2020. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 913 (2020) 052041 6 p.

**Куповых Геннадий Владимирович**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой Высшей математики [Института компьютерных технологий и информационной безопасности](#) Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347928, телефон: +7(8634)37-16-36, email: [kupovykh@sfedu.ru](mailto:kupovykh@sfedu.ru).

**Гривцов Владимир Владиславович**, кандидат технических наук, доцент Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова 22, 347928, телефон: +7(8634)37-17-94, email: [gvv@sfedu.ru](mailto:gvv@sfedu.ru).

**Белюсова Ольга Васильевна**, ассистент [Института компьютерных технологий и информационной безопасности](#) Южного федерального университета, Россия,

город Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347928, телефон: +7(8634)37-16-06, email: [obelousova@sfedu.ru](mailto:obelousova@sfedu.ru).

**Клово Александр Георгиевич**, кандидат физико-математических наук, доцент [Института компьютерных технологий и информационной безопасности](#) Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347928, телефон: +7(8634)37-16-06, email: [agklovo@sfedu.ru](mailto:agklovo@sfedu.ru).

**Kupovykh Gennady Vladimirovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Higher Mathematics, Institute of Computer Technologies and Information Security, Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 44, 347928, phone: +7(8634)37-16-36, email: [kupovykh@sfedu.ru](mailto:kupovykh@sfedu.ru).

**Grivtsov Vladimir Vladislavovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, 347928, Russia, Taganrog, 22 Chekhov Street, phone: +7(8634)37-17-94, email: [gvv@sfedu.ru](mailto:gvv@sfedu.ru)

**Belousova Olga Vasilievna**, assistant at the Institute of Computer Technologies and Information Security of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 44, 347928, phone: +7(8634)37-16-06, email: [obelousova@sfedu.ru](mailto:obelousova@sfedu.ru).

**Klovo Alexander Georgievich**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Institute of Computer Technologies and Information Security, Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 44, 347928, phone: +7(8634)37-16-06, email: [agklovo@sfedu.ru](mailto:agklovo@sfedu.ru).

УДК 621.311

Григорьев Денис Геннадьевич, Петров Алексей Евгеньевич,  
Лебедев Владимир Дмитриевич

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЦТТН

*Цифровой трансформатор тока и напряжения (ЦТТН) является трансформатором нового типа, приходящим на смену традиционным трансформаторам тока (ТТ) и напряжения (ТН). Характеристики традиционных ТТ и ТН известны, в то время как характеристики ЦТТН, основанного на других измерительных органах (пояс Rogovского для измерения токов и делитель напряжения для измерения напряжения) представляют интерес.*

*Целью данной работы является исследование характеристик первичного преобразователя ЦТТН. Для выполнения этой цели ставится следующий ряд задач: измерение тестового сигнала в широком диапазоне частот, построение АЧХ и ФЧХ ЦТТН, исследование полученных закономерностей.*

*Результаты исследования показывают, что в диапазоне сигналов до 4кГц модель ЦТТН можно представить как фильтр первого порядка.*

*Цифровой трансформатор, делитель напряжения.*

Grigoriev Denis Gennadievich, Petrov Alexey Evgenievich,  
Lebedev Vladimir Dmitrievich

## **INVESTIGATION OF THE CHARACTERISTICS OF THE PRIMARY CONVERTER OF THE DCVT**

*The digital current and voltage transformer (DCVT) is a new type of transformer that replaces the traditional current transformers (CT) and voltage transformers (VT). The characteristics of traditional CTs and VTs are known, while the characteristics of a DCVT based on other measuring elements (a Rogowski coil for measuring currents and a voltage divider for measuring voltages) are of interest.*

*The purpose of this work is to study the characteristics of the primary converter of the DCVT. To accomplish this goal, the following series of tasks are set: measuring the test signal in a wide frequency range, constructing the frequency response and phase response of the DCVT, and studying the obtained patterns.*

*The results of the study show that in the range of signals up to 4 kHz, the DCVT model can be represented as a first-order filter.*

*Digital transformer, voltage divider.*

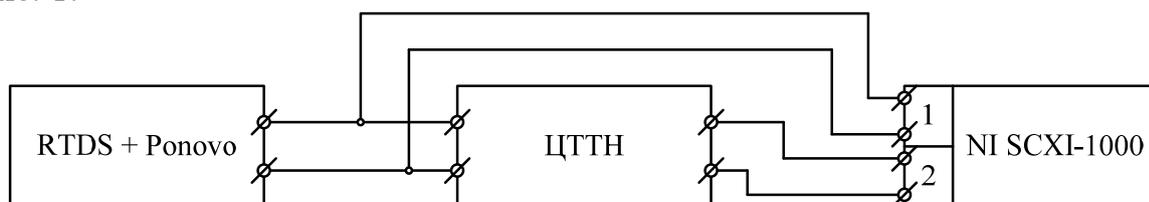
### **Введение**

ЦТТН это измерительный преобразователь, предназначенный для измерения токов и напряжений в электрических сетях 6-110кВ. Данное устройство позволяет производить измерения напряжения вплоть до номинального и токов от 10 до 40000 А с частотой до 14400 отсчётов в секунду в сетях 50 Гц [1, с. 9, 14]. При таком количестве отсчётов в секунду мы можем довольно точно оцифровывать и затем восстанавливать сигналы с частотой меньше частоты Найквиста, которая будет равна 7200 Гц [2]. Исследования АЧХ и ФЧХ ЦТТН проводились ранее [3, 4], однако они были выполнены с использованием Omicron СМС 356 в качестве источника сигнала, который работает в диапазоне до 1 кГц [5]. В этой работе, в от-

личии от остальных, использовался аппаратно-программный комплекс RTDS и четырёхквadrантный усилитель мощности Ponovo PAV5000 для генерации сигналов с частотой до 5 кГц [6]. В качестве измерительных устройств использовались шасси NI SCXI-1000 с модулем NI SCXI-1327 и цифровым дигитайзером NI SCXI-1600, позволяющие производить измерения напряжения вплоть до 300 В RMS при включённом делителе напряжения 1:100 [7] с максимальной частотой 200/N кГц, где N – количество активных каналов [8, с. 13], а так же Keysight 3458A, способный измерять сигналы до 1000 В с частотой до 100 тысяч отсчётов в секунду [9, с. 1, 12]. Работа с RTDS и Ponovo проводится в программном комплексе для моделирования электроэнергетических процессов RSCAD. Работа с NI проводится в программном комплексе LabView. Работа с Keysight проводится в программном комплексе EnergoEtalon.

### Проведение эксперимента

Для проведения эксперимента была собрана схема, изображённая на рис. 1.



*Рис. 1. Функциональная схема проведения эксперимента (RTDS+Ponovo – источник синусоидального сигнала 270 В, ЦТТН – исследуемый трансформатор, NI SCXI-100 – измерительный блок)*

Сигнал со стороны высокого напряжения подаётся на трансформатор и на первый канал измерительной системы NI, который настроен на измерение напряжений до 300 В. Сигнал со стороны низкого напряжения подаётся на второй канал, который настроен на измерение напряжений до 1,5 В. Для калибровки системы был подан сигнал 270 В 10 Гц на сторону ВН трансформатора, а затем результат измерений с второго канала аппаратно домножался на коэффициент подстройки таким образом, чтобы быть равным сигналу с первого канала измерений. Получив таким образом исходную точку, были произведены измерения следующих сигналов: 270 В на стороне ВН с частотой от 10 до 90 Гц с шагом 10 Гц, от 100 до 900 Гц с шагом 100 Гц, от 1 до 10 кГц с шагом 1 кГц. Измерение разницы фаз для ФЧХ происходило путём определения фазы основной гармоники с помощью быстрого преобразования Фурье на первом и втором канале, а затем

вычитания фазы первого канала из фазы второго. Частота опроса каждого канала не могла превышать 100 тысяч отсчётов в секунду, поэтому было выбрано число 80 тысяч отсчётов в секунду, с целью создания запаса вычислительной мощности. Значения, превышающие 85-90 тысяч отсчётов в секунду, вызывали быстрое переполнение внутреннего буфера устройства и как следствие полную неработоспособность прибора. Данное значение было выбрано один раз и не менялось на протяжении всех экспериментов.

Следующим шагом была компенсация фазовой погрешности. При подаче одинакового сигнала на два соседних канала происходит поочерёдный опрос АЦП, а следственно временная задержка между считыванием сигнала с каждого из каналов. Её можно измерить, а значит и скорректировать. В результате подачи тех же тестовых сигналов, что и в предыдущем опыте, удалось увидеть линейную закономерность в задержке фазы и скомпенсировать её.

Для точности эксперимента, так же проведём измерения на приборе Keysight, соблюдая те же этапы и принципы, что и для NI. Исключением будет лишь этап компенсации фазовой погрешности. В эксперименте использовались два прибора, соединённые с синхронизирующим устройством, поэтому погрешность была незначительной даже на частоте сигнала 10 кГц. Минимальный параметр Sample Time, который удалось выставить, оказался 5E-5, что даёт нам частоту опроса 20 кГц.

Полученные таким образом результаты сведены в табл. 1, где  $f$  – частота сигнала,  $U_1$  – напряжение на первом канале,  $U_2$  – напряжение на втором канале,  $U_2/U_1$  – результат деления напряжений  $U_2/U_1$ ,  $\varphi_p$  – фазовая разность между каналами,  $\varphi_n$  – фазовая погрешность между каналами,  $\varphi_{ск}$  – скомпенсированная фазовая разность между каналами, получаемая путём вычитания  $\varphi_n$  из  $\varphi_p$ . Результаты, полученные на частотах более 5 кГц, могут являться неточными, так как не входят в диапазон допустимых значений частоты сигнала у усилителя PonoVo.

Таблица 1

Результаты измерений, полученные на измерительных комплексах NI и Keysight

f, Гц	National Instruments SCXI-1000						Keysight 3458A			
	U1, В	U2, В	U2/U1	$\varphi_p$ , град	$\varphi_n$ , град	$\varphi_{ск}$ , град	U1, В	U2, В	U2/U1	$\varphi_p$ , град
10	269,77	269,77	1	-0,0459	0,0220	-0,0680	269,73	269,64	1	0,0032
20	269,76	269,75	1	-0,0910	0,0442	-0,1351	269,73	269,60	1	0,0064
30	269,76	269,75	1	-0,1359	0,0661	-0,2020	269,73	269,55	0,999	0,0095

40	269,75	269,74	1	-0,1805	0,0884	-0,2689	269,72	269,50	0,999	0,0126
50	269,76	269,73	1	-0,2255	0,1104	-0,3358	269,72	269,43	0,999	0,0158
60	269,76	269,73	1	-0,2695	0,1325	-0,4021	269,73	269,39	0,999	0,0187
70	269,75	269,71	1	-0,3140	0,1549	-0,4689	269,73	269,34	0,999	0,0218
80	269,74	269,69	1	-0,3586	0,1767	-0,5353	269,73	269,28	0,998	0,0248
90	269,74	269,68	1	-0,4030	0,1990	-0,6020	269,73	269,22	0,998	0,0278
100	269,73	269,66	1	-0,4473	0,2208	-0,6681	269,73	269,17	0,998	0,0308
200	269,66	269,43	0,999	-0,8915	0,4426	-1,3341	269,78	268,40	0,995	0,0606
300	269,53	269,05	0,998	-1,3340	0,6635	-1,9975	269,86	267,31	0,991	0,0900
400	269,36	268,52	0,997	-1,7757	0,8847	-2,6604	269,98	265,87	0,985	0,1189
500	269,13	267,85	0,995	-2,2155	1,1057	-3,3212	270,13	264,11	0,978	0,1472
600	268,86	267,03	0,993	-2,6528	1,3268	-3,9795	270,31	262,06	0,969	0,1749
700	268,52	266,06	0,991	-3,0884	1,5482	-4,6367	270,51	259,73	0,960	0,2017
800	268,13	264,95	0,988	-3,5214	1,7697	-5,2911	270,75	257,18	0,950	0,2278
900	267,68	263,71	0,985	-3,9526	1,9901	-5,9427	271,00	254,41	0,939	0,2530
1000	267,18	262,32	0,982	-4,3826	2,2114	-6,5940	271,28	251,47	0,927	0,2773
2000	258,92	241,03	0,931	-8,6219	4,4256	-13,047	274,75	217,30	0,791	2,9117
3000	245,38	207,60	0,846	-12,143	6,6411	-18,784	278,29	181,92	0,654	1,1173
4000	228,57	169,55	0,742	-13,284	8,8644	-22,148	280,85	149,11	0,531	1,6016
5000	210,72	135,53	0,643	-10,914	11,093	-22,007	283,31	121,48	0,429	0,5235
6000	193,26	109,92	0,569	-5,0437	13,325	-18,369	284,46	99,496	0,350	-1,7248
7000	176,99	93,152	0,526	3,1474	15,563	-12,415	285,52	84,685	0,297	1,3288
8000	162,18	83,302	0,514	11,777	17,809	-6,0317	285,87	76,715	0,268	-0,1315
9000	148,91	77,707	0,522	19,350	20,046	-0,6956	286,18	73,809	0,258	0,6865
10000	136,99	74,150	0,541	25,336	22,311	3,0244	285,45	75,261	0,264	1,4408

Взглянув на цифры в колонке  $U_2/U_1$  можно предположить, что модель трансформаторного делителя напряжения можно описать фильтром низких частот первого порядка. Для подтверждения этой теории необходимо построить графики АЧХ и ФЧХ для измеренных значений и для идеального фильтра. Воспользовавшись формулами для фильтра [10, с. 14] и приняв частоту примерно равной 4400 Гц, получаем результат, который показан на рис. 2.

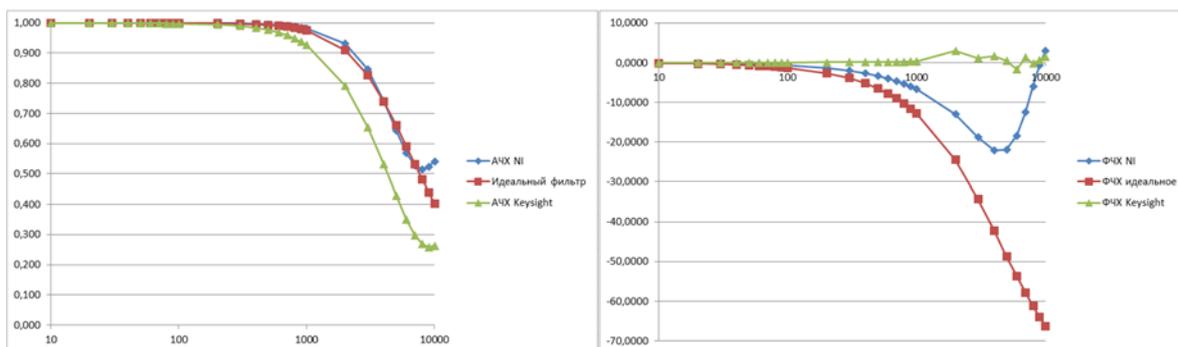


Рис. 2. АЧХ (слева) и ФЧХ (справа) полученных закономерностей (синяя линия – измерения NI, зелёная – измерения Keysight, красная – идеальный фильтр первого порядка)

## Выводы

Полученные результаты указывают на то, что измеренные АЧХ как у NI, так и у Keysight похожи на АЧХ фильтра первого порядка вплоть до 7-8 кГц, затем наблюдается неожиданный загиб характеристик вверх. ФЧХ показывают иные результаты. ФЧХ, измеренная NI, может совпасть с идеальным фильтром (вплоть до 4 кГц), настроенным на другую частоту среза, затем наблюдается перегиб характеристики. ФЧХ, измеренная Keysight, показывает странный результат. Для получения подтверждённых результатов необходимо использовать ещё одну измерительную систему. Это и станет дальнейшим направлением работы над этой темой.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трансформатор тока и напряжения комбинированный цифровой. Руководство по эксплуатации URL: <https://digitrans.ru/wp-content/uploads/2017/11/unnamed-file.pdf> (дата обращения: 3.06.2022).
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов – СПб.: Питер, 2003. – 604с.: ил.
3. Лебедев В.Д., Нечаев Е.В., Шелудько М.В., Яблоков А.А. Исследование характеристик и оптимизация параметров датчика тока цифрового измерительного трансформатора тока / Энергия-2017. Материалы конференции. Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина. 2017. С. 125-126.
4. Лебедев В.Д., Лебедева Н.В. Исследование частотных свойств первичных преобразователей напряжения, предназначенных для микропроцессорных устройств релейной защиты и измерений / Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Двадцать третья международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов. 2017. С. 422.

5. Omicron CMC 356. Обзор технических характеристик URL: <https://www.omicronenergy.com/download/document/FD37B5BF-0BDD-4AE9-B7B6-365865186EB2/> (дата обращения: 3.06.2022).
6. Ponovo PAV3000 & PAV5000 4-Quadrant Power Amplifier Brochure URL: <https://www.ponovo.net/Content/upload/pdf/202227817/PAV5000-BROCHURE.pdf?rnd=200> (дата обращения: 3.06.2022).
7. SCXI-1327 High-Voltage Attenuator Terminal Block URL: <https://www.apexwaves.com/pdf/manuals/SCXI-1125/scxi-1327-high-voltage-attenuator-installation-guide-and-specifications.pdf> (дата обращения: 3.06.2022).
8. SCXI-1600 Руководство по применению. 16-разрядный модуль дигитайзера URL: <https://nitec.nstu.ru/upload/lib/SCXI-1600%20User%20Manual%20and%20Specifications.pdf> (дата обращения: 3.06.2022).
9. 3458A Multimeter. Data Sheet URL: <https://www.keysight.com/us/en/assets/7018-06796/data-sheets/5965-4971.pdf> (дата обращения: 3.06.2022).
10. *Титце У., Шенк К.* Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 512с., ил.

**Григорьев Денис Геннадьевич**, аспирант, email: [denis.grigorev@mail.ru](mailto:denis.grigorev@mail.ru).

**Петров Алексей Евгеньевич**, ассистент кафедры АУЭС, email: [UseTheForceAlex@yandex.ru](mailto:UseTheForceAlex@yandex.ru).

**Лебедев Владимир Дмитриевич**, кандидат технических наук, доцент, email: [vd\\_lebedev@mail.ru](mailto:vd_lebedev@mail.ru). ИГЭУ, Россия, г. Иваново, ул. Рабфаковская 34, 153003.

**Grigoriev Denis Gennadievich**, postgraduate, email: [denis.grigorev@mail.ru](mailto:denis.grigorev@mail.ru).

**Petrov Alexey Evgenievich**, assistant of the department of AUES, email: [UseTheForceAlex@yandex.ru](mailto:UseTheForceAlex@yandex.ru).

**Lebedev Vladimir Dmitrievich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), docent, email: [vd\\_lebedev@mail.ru](mailto:vd_lebedev@mail.ru). ISPU, 153003, Russia, Ivanovo, 34 Rabfakovskaya street.

УДК 621.396

Моисеенко Иван Евгеньевич, Кисель Наталья Николаевна

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ, ОТРАЖЕННЫХ ВЗВОЛНОВАННОЙ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

*В работе рассмотрены вопросы отражения волн от фрагмента взволнованной шероховатой поверхности. Антенна, излучающая сигнал, моделируется с учетом влияния корпуса летательного аппарата, на котором она установлена. Для описания свойств морской поверхности используются условия Шукина-Леонтовича. Выполнено сравнение рассеянного поля как от морской поверхности с высотой волн 1 м, так и при отсутствии волнения. Моделирование выполнено в пакете Altair FEKO.*

*Антенна, рассеяние морской взволнованной поверхностью, отражение, рассеяние, импедансные граничные условия, диаграмма рассеяния*

Moiseenko Ivan Evgenyevich, Kisel Natalya Nikolaevna

## **SIMULATION OF SIGNALS REFLECTED BY A ROUGH SEA SURFACE**

*The paper considers the issues of wave reflection from a fragment of a rough surface. An antenna emitting a signal is modeled taking into account the influence of the body of the aircraft on which it is installed. The Shchukin-Leontovich conditions are used to describe the properties of the sea surface. The scattered field was compared both from the sea surface with a wave height of 1 m and in the absence of waves. The simulation was carried out in the Altair FEKO package.*

*Antenna, sea surface scattering, reflection, scattering, impedance boundary conditions, scattering diagram.*

### **Введение**

Исследование закономерностей рассеяния волн различной природы на взволнованной поверхности моря по-прежнему остается актуальной проблемой, решение которой является необходимым этапом при разработке и проектировании различных систем для исследования морской поверхности.

## Основная часть

Вопросам математического моделирования рассеяния электромагнитных волн на периодических шероховатых поверхностях с высотой неровностей меньшей по сравнению с длиной волны приведены в [1, 2], где используется метод возмущения, для случая больших по сравнению с длиной волны пологих неровностей используется метод Кирхгофа [3, 4], а также использование двух масштабной модели [5-7], при котором применяется комбинации метода возмущений и метода Кирхгофа. В настоящее время разработано достаточно большое количество математических моделей рассеяния [8, 9]. В основном модели строятся для расчета прямой задачи зондирования, вычисления характеристик рассеяния.

Современное развитие методов дистанционного зондирования морской поверхности направлено на увеличение количества измеряемых величин и повышение точности восстановления параметров волнения. Например, измерение дисперсии наклонов поверхности позволит увеличить точность существующих регрессионных алгоритмов восстановления скорости ветра [10-15]. Несмотря на достигнутые успехи в развитии теоретических моделей и практическом применении методов дистанционного зондирования морской поверхности, остаются вопросы, требующие дальнейших исследований. Сложность проведения натуральных измерений с контролем условий формирования волнения не позволяет выполнить полноценное количественное сравнение моделей рассеяния, разработанных для морской поверхности, с экспериментальными данными. Широкий спектр масштабов неровностей на реальной морской поверхности, многообразие волновых явлений и сложность проведения натуральных измерений не позволяет выполнить измерения всего спектра волн, влияющих на отраженный сигнал.

Для измерения высоты волнения с самолета разработана концепция радиолокатора с широкой диаграммой направленности антенны [8, 10 - 15], при этом самолетный радиовысотомер может измерять не только высоту значительного волнения, но и дисперсию наклонов крупномасштабного (по сравнению с длиной волны радиолокатора) волнения на основе анализа формы отраженного импульса.

В данной работе было выполнено моделирование отражения сигнала от фрагмента взволнованной морской поверхности для различных диаграмм направленности антенн. Для вычисления отраженного сигнала применяются методы электромагнитного моделирования с использованием

специализированной программы Altair FEKO [16]. Характеристики рассеянных морской поверхностью волн полностью определяются параметрами приемо-передающей антенны и параметрами морского волнения. Фрагмент морской поверхности составлял пять длин волн (50м на 50м). Реальная поверхность моря обладает широким спектром масштабов неровностей от коротких капиллярных волн до длинных гравитационных волн, поэтому для расчета характеристик рассеянного поля часто используется двухмасштабная модель морской поверхности. В рамках этой модели морская поверхность представляется в виде крупномасштабной и поверхности, покрытой мелкой рябью. В связи с этим рассмотрены случаи отражения от плоской поверхности и морской поверхности с высотой волн 1 м.

### Имитационное моделирование

Диаграммы направленности антенн, полученные с учетом влияния конструкции самолета, используется для имитационного моделирования фрагмента взволнованной морской поверхности. Морская поверхность описывается граничными условиями Щукина-Леонтовича

$$E_{\tau} = Z_s(n \times H_{\tau}); \quad Z_s = (1 + j)R_s,$$

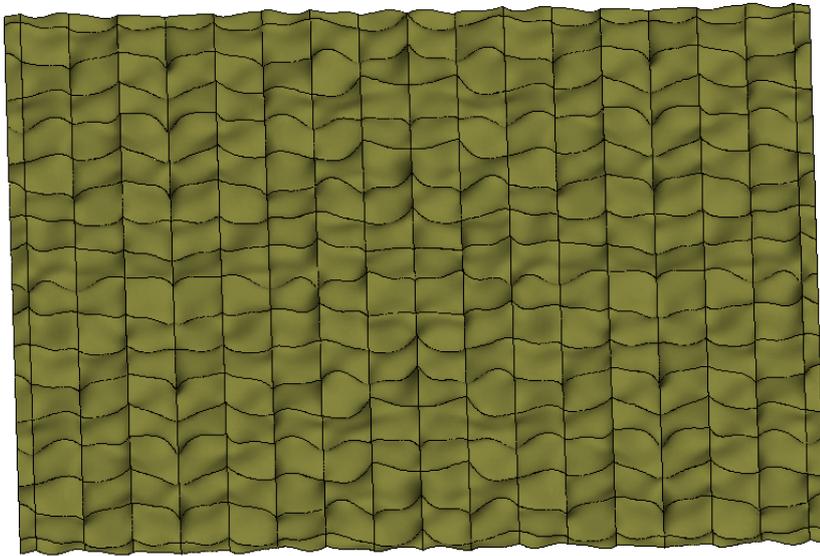
$$R_s = \frac{1}{\Delta \sigma_e};$$

$$\Delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \mu_0 \sigma_e}},$$

где  $\sigma_e$  – проводимость материала,  $\mu_0$  – магнитная постоянная,  $\mu$  – магнитная проницаемость,  $\omega$  – круговая частота,  $Z_s$  – поверхностный импеданс,  $R_s$  – поверхностное сопротивление,  $\Delta$  – глубина скин слоя.

Имитация морской поверхности произведено с помощью инструмента «Home-Application macro-model construction-create rough sea surface» в программном пакете Altair FEKO. Проводимость морской воды определим с помощью монограммы, приведенных в Рекомендация МСЭ-R P.527-4 (06/2017) «Электрические характеристики земной поверхности. Серия Р: Распространение радиоволн» <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>. Параметры морской поверхности принимались равными: температура воды 20 градусов, частота излучения  $f = 30$  МГц, проводимость морской поверхности  $\sigma_e = 5$  (См/м). Расчеты проводились на фрагменте размеров 50 на 50 метров с высотой волнения в один метр. Реализация морской поверхности представлена на рис.1. Для сравнения полученных результатов расчета также

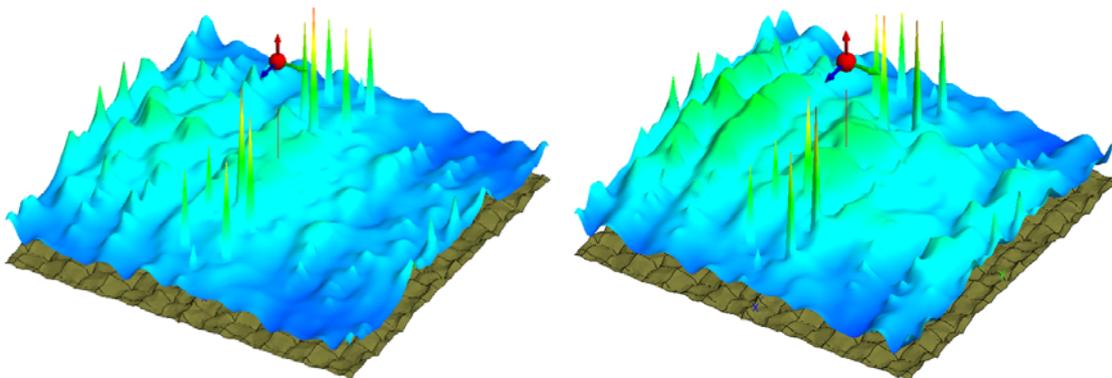
рассматривался случай гладкой пластины с тем же импедансом, что и для морской поверхности.



*Рис. 1. Имитационная модель фрагмента морской поверхности в программном пакете Altair FEKO*

Расчеты выполнялись в два этапа для снижения требований к вычислительным ресурсам. Вначале были выполнены расчеты характеристик антенны с учетом влияния корпуса летательного аппарата, далее полученные результаты уже использовались для расчета рассеяния от взволнованной морской поверхности.

На рис. 2 представлены распределения полных и рассеянных полей на плоскости параллельной морской поверхности, рассчитанные на высоте 1 м над уровнем морской поверхности, самолет находился на высоте 50 м от морской поверхности.



*Рис.2. Рассеянное (а) и полное (б) поля в плоскости, параллельной морской поверхности (сигнал, излучаемый П-образной антенной, установленной на самолете)*

Аналогичные расчеты проведены для плоской поверхности, исследованы распределения полей на различных высотах, в том числе и в точке приема сигнала, а также в плоскости нормальной к морской поверхности,. Рассмотрены различные типы антенн, расположенные на различных летательных аппаратах.

### **Выводы**

Проведенные исследования показали, что диаграмма направленности антенны существенно влияет на отраженное морской поверхностью поле и при анализе характеристик отраженного сигнала необходимо учитывать реальные характеристик антенны. В расчетах был использован фрагмент морской поверхности размерами пять длин волн в каждом направлении, однако основные закономерности формирования отраженного поля сохраняются.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Криворучко И.М., Секачев Б.С.* Принцип построения, структура и организация процессов тестирования в системах динамического диагностирования // Персональные исследовательские комплексы и автоматизированные рабочие места/ Тезисы докладов. – Таганрог:1991
2. Генератор сигналов // Профессиональное оборудование и технологии URL: <http://www.signaltest.ru/content.php?id=39> (дата обращения: 15.02.2017).
3. *Криворучко И.М., Куролесов Г.А., Макаров Л.Е., Секачев Б.С.* Аппаратно-программные средства систем тестового диагностирования // Многопроцессорные вычислительные системы/ Таганрог: Изд-во ТРТИ, 1987
4. *Андронов А. А., Леонтович М. А.* К теории молекулярного рассеяния на поверхности жидкостей // Собр. трудов А.А. Андроповаизд-во АН СССР, 1956. - С. 5-18.
5. *Фейнберг Е. Л.* Распространение радиоволн вдоль реальной поверхности // Сб. Исследования по распространению радиоволн / под ред. Введенского Б. А.Изд-во АН СССР, 1948.
6. *Бреховских Л. М.* Дифракция звуковых волн на неровной поверхности // ДАН СССР. – 1951. – Т. 79, № 4. – С. 585-588.
7. *Исакович М. А.* Рассеяние волн от статистически-шероховатой поверхности // ЖЭТФ. – 1952. – Т. 23, № 3 (9). – С. 305-314.

8. *Курьянов Б. Ф.* Рассеяние звука на шероховатой поверхности с двумя типами неровностей // *Акустический журнал* – 1962. – Т. 8, № 3. – С. 325—333
9. *Фукс И. М.* К теории рассеяния радиоволн на взволнованной поверхности моря // *Известия ВУЗов, сер. Радиофизика.* – 1966. – Т. 9, № 5. – С. 876-887.
10. Рассеяние волн на статистически шероховатой поверхности. / *Басс Ф. Г., Фукс И. М.* Москва: Наука, 1972.
11. Радиолокация морской поверхности. / *Гарнакерьян А. А., Сосунов А. С.* Ростов: Изд. Ростовского университета, 1978. 144 с.
12. *Elfouhaily T., Guérin C.* A critical survey of approximate scattering wave theories from random rough surfaces // *Waves in Random Media.* 2004. Т. 14, № 4. С. 1-40.
13. *Караев В. Ю., Мешков Е. М.* Особенности измерения высоты значительного волнения радиолокатором с ножевой диаграммой направленности антенны // *Девятая всероссийская открытая ежегодная конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса"* Москва: ИКИ РАН, 2011. С. 262.
14. *Караев В. Ю., Мешков Е. М.* Радиолокационный метод измерения параметров крупномасштабного волнения с самолета // *V Всероссийская научная конференция "Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред"* 2012. С. 209-213.
15. *Переслегин С. В., Халиков З. А.* Двухпозиционная квазизеркальная радиолокация морской поверхности. // *Известия ВУЗов, сер. Радиофизика.* 2011. Т. 47, № 4. С. 562-576.
16. *Титченко Ю. А., Караев В. Ю.* Особенности теоретической модели спектральных и энергетических характеристик рассеянных волн с учетом диаграмм направленности приемной и излучающей антенн при зондировании морской поверхности // *Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса.* – 2016. – Т. 13, № 2. – С. 67-84.
17. *Караев В. Ю., Титченко Ю. А., Мешков Е. М.* Способ измерения характеристик волнения водной поверхности [Патент]: 2562934, 17/08-2015, 2015.
18. *Титченко Ю. А., Караев В. Ю.* Модель отражения сигнала от статистически-шероховатой поверхности с учетом диаграмм направленности антенн для решения обратной задачи: Препринт: 813; ИПФ РАН. – Н.Новгород, 2016.

19. *Кисель Н.Н.* Моделирование прикладных задач электродинамики и антенн на супервычислительной системе в пакете FEKO: Таганрог. Южный федеральный университет. Учебное пособие. 2013. С. 328.

**Кисель Наталья Николаевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры антенн и радиопередающих устройств Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Некрасовский, 44, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-, email: nnkisel@sfnedu.ru.

**Моисеенко Иван Евгеньевич**, студент Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Некрасовский, 44, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-34, email: ivmoiseenko@sfnedu.ru.

**Kisel Natalya Nikolaevna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Antennas and Radio Transmitting Devices of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky street, 44, 347900, phone: +7 (8634) 37-16-34, email: nnkisel@sfnedu.ru.

**Moiseenko Ivan Evgenievich**, student of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky street, 44, 347900, phone: +7 (8634) 37-16-34, email: ivmoiseenko@sfnedu.ru.

УДК 621.371

Можайцев Виталий Павлович

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОНДУКТИВНЫХ ПОМЕХ НА БОРТОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО СУДНА**

*Целью данного исследования является оценка передаточной функции критической системы с помощью программного обеспечения для численного электродинамического моделирования.*

*Задачей исследования является создание и расчет математической модели критической системы с кабельной сетью в составе воздушного судна.*

*Полученные результаты позволят выделить наиболее опасные источники и зоны возбуждения электромагнитных помех для последующего детального анализа, уменьшить сроки и стоимости проведения испытаний.*

*Передаточная функция, критическая система, высокоинтенсивные электромагнитные поля.*

Mozhaytsev Vitaly Pavlovich

## **MODELING THE EFFECT OF CONDUCTED INTERFERENCE ON THE AIRCRAFT AIRCRAFT EQUIPMENT**

*The aim of this study is to evaluate the transfer function of a critical system using numerical electrodynamic simulation software.*

*The objective of the study is to create and calculate a mathematical model of a critical system with a cable network as part of an aircraft.*

*The results obtained will make it possible to identify the most dangerous sources and zones of electromagnetic interference excitation for subsequent detailed analysis, reduce the time and cost of testing.*

*Transfer function, critical system, high-intensity electromagnetic fields.*

### **Введение**

Увеличение использования сложной электроники в современных самолетах, а также расширенное использование спектра во всем мире делает тему восприимчивости в условиях высокоинтенсивного излучаемого поля (HIRF) ключевым вопросом для сертификации любого воздушного транспортного средства [1]. Частотный спектр угроз HIRF простирается в диапазоне от 10 кГц до 40 ГГц. Для диапазона частот ниже 400 МГц доминирующий эффект исходит от возбуждения резонансов планера, которое вызывает токи на жгутах кабелей самолета. Проникновение электрического поля в отсеки оборудования через щели, швы, радиочастотные прозрачные материалы и отверстия в конструкции планера и корпусов оборудования оказывают влияние на частотах выше 100 МГц. Эта энергия, поступающая из жгутов в оборудование в первом случае, или электромагнитные (ЭМ) поля на длинах волн, сравнимых с размерами оборудования во втором, напрямую взаимодействует с авиационными системами, являясь источником неисправностей. В данной работе анализируются как проводящие, так и излучаемые эффекты.

Проблема обеспечения безопасности полета самолетов, использующих электрические / электронные системы при воздействии HIRF существенно увеличилось за счет следующих основных факторов[2]:

а) большая зависимость от электрических / электронных систем, выполняющих функции, необходимые для продолжения безопасного полета и посадки;

б) уменьшение электромагнитного (ЭМ) экранирования, за счет применения композитных материалов;

в) потенциальное увеличение восприимчивости интегральных схем из-за увеличения скорости обработки информации;

г) ожидание того, что внешняя радиочастотная среда будет становиться все более серьезной из-за увеличения числа и мощности РЧ излучателей.

Использование резервной копии в качестве средства защиты от воздействия HIRF может быть сведено на нет, если резервное копирование систем также является электронным и чувствительным к HIRF. Обшивка и конструкция самолета также изменились. Классический самолет изготовлен из алюминия и титана. Современные технологии и стремление разрабатывать более эффективные самолеты привела к внедрению углерод-эпоксидной структуры, углерод-эпоксидных оболочек и арамида волоконно-эпоксидной обшивки в гражданской авиации. Алюминий может быть хорошим защитным экраном от электромагнитных помех и, следовательно, электронным схемам обеспечена присущая защита. Тем не менее, некоторые композиты имеют плохую защиту от электромагнитных помех, что приводит к тому, что HIRF облучает электронные системы на таких самолетах с относительно небольшим затуханием (по сравнению с алюминиевой конструкцией и обшивкой самолета).

Глобальная электромагнитная среда является неопределенной, потому что данные об окружающей среде не доступны из других стран, в которых могут работать передатчики высокой мощности. Международной организации гражданской авиации (ИКАО) было предложено получить данные HIRF от государств-участников. Определенные в настоящее время границы HIRF могут быть расширены для включения этих данных. Авиационные власти вместе с другими правительственными учреждениями и международными учреждениями, такие как ИКАО и Международный союз электросвязи (МСЭ), планируют программу мониторинга будущего роста электромагнитной среды.

Потребовалось несколько лет, чтобы разработать детальную модель окружающей среды в диапазоне частот от 10 кГц до 40 ГГц. Эта окружающая среда отражает электромагнитные поля, с которыми могут столкнуться гражданские самолеты, летящие в соответствии с существующими

правилами полета. Условия, представленные здесь, были результатом более длительных обсуждений и более точными, чем было доступно ранее в сообществах военной или гражданской авиации. Среды были определены из развернутых излучателей, расположенных в континентальной части Соединенных Штатов, на Гавайях, на Аляске и в Пуэрто-Рико, а также в пяти участвующих европейских странах: Великобритания, Германия, Швеция, Франция и Нидерланды.

Среда HIRF представляет собой совокупность передатчиков, которые находятся в воздухе, на суше, на морских платформах и на корабле. Эти передатчики становятся все более сложными, более эффективными, более мощными и более многочисленными. Излучатели покрывают весь радиочастотный спектр, и их излучаемые поля сильно различаются по уровням энергии и характеристикам сигнала.

Подкомитет создал следующие среды:

- жесткая среда HIRF для самолетов с фиксированным потолком была основана на наихудшей оценке напряженности электромагнитного поля. Подмножество этой среды затем было создано и названо обычной средой HIRF;

- нормальная HIRF считается средой, с которой гражданские самолеты сталкиваются во время нормального полета;

- из-за очень высокой напряженности поля, оцененной в жесткой среде HIRF с фиксированным потолком, комитет разработал сокращенную среду, подходящую для сертификации самолетов. Эта новая среда называется средой сертификации HIRF.

Подводя итог, существует четыре обстановки, характеризующие HIRF [3, 4]:

- а) жесткая среда для самолетов с фиксированным потолком (не используется в правилах HIRF);

- б) сертификационная (HIRF I);

- в) нормальная (HIRF II);

- г) жесткая (HIRF III).

## **1. Методические основы воздействия и устойчивости к HIRF**

### **1.1 Главные особенности HIRF воздействия на электрические/электронные системы ВС**

Рассмотрим более подробно каждую среду HIRF.

Жесткая среда для самолетов с фиксированным потолком была собрана из четырех отдельных сред, как источников HIRF [3]:

- а) источники излучения, расположенные в аэропортах;
- б) источники излучения, расположенные вне аэропорта;
- в) корабельные источники излучения;
- г) воздушные источники излучения.

Вертолётная жёсткая HIRF III [3, 4] обстановка является наихудшим случаем обстановки, в которых может оказаться вертолёт, с уровнями напряженности ЭМП, которые не оказывают негативного влияния на безопасное продолжение полета и посадки и оборудование, выполняющее критические функции, сохраняет свою работоспособность. Вертолётная жёсткая HIRF обстановка имеет уровни напряженности поля, которые выше чем для жесткой обстановки самолетов. Это обусловлено тем, что вертолёт может находиться длительное время в одной точке пространства.

Уровни Сертификационной HIRF [3, 4] обстановки устанавливаются на основе жестких условий HIRF с фиксированным крылом путем увеличения расстояния между самолетом и передатчиками. Напряженность поля, связанная с наземными передатчиками вне аэропорта, была пересчитана. Сертификационная обстановка предполагает, что эти уровни напряженности поля падают на внешнюю поверхность воздушного судна. Эта обстановка учитывает эксплуатационные характеристики высокой пиковой мощности микроволновых передатчиков, которые обычно не работают непрерывно при максимальных уровнях выходной мощности.

Нормальная HIRF II обстановка [3] – это уровень напряженности электромагнитного поля в воздушном пространстве в аэропортах, в которых выполняются регулярные полеты, и не включает в себя корабельные и воздушные средства излучения.

Внутренняя среда (внутри самолета) отличается от внешней среды HIRF I, II и III. Внутренняя среда является результатом сложных электромагнитных взаимодействий внешнего электромагнитного поля, конструкции летательного аппарата и установленных в нем систем.

Падающие внешние поля отражаются и рассеиваются, когда сталкиваются с внешней стороной самолета. Это взаимодействие приводит к возникновению индуцированных токов и зарядов на конструкции, которые создают дополнительные поля как внутри, так и снаружи самолета.

Самолеты с композитной внешней структурой обеспечивают еще более сложное электромагнитное взаимодействие с падающим полем, чем традиционные цельнометаллические фюзеляжи самолета.

Пути проникновения электромагнитных волн из внешней части во внутренние области оборудования иногда называют точки входа. Примерами точек входа могут быть стыки, кабельные вводы, окна и т. д. Именно локальная среда в районе точки входа, а не окружающая, определяют внутреннюю радиочастотную обстановку.

Локальная РЧ среда, для оборудования или системы внутри установки, степень ослабления или усиления, достигнутая для любого региона является результатом многих факторов, таких как материалы, склеивание структуры, размеры и геометрические формы области, а также расположение и размер любых отверстий, позволяющих проникнуть ЭМП в самолет.

Как отмечалось выше, внутреннее поле, возникающее в результате таких воздействий, в большинстве случаев будет создавать неоднородное поле в районе расположения системы или оборудования. Несколько «аномальных» точек обычно существуют в любом отсеке самолета. Интенсивные локальные эффекты ощущаются на всех частотах в непосредственной близости от любой апертуры на несколько длин волн от самой апертуры. Это внутреннее распределение поля будет быстро меняться в течение некоторого времени в полете из-за изменений в положении и ориентации самолета относительно источника HIRF.

В конструкциях самолетов экранированные отсеки обеспечивают только ограниченное количество экранирования из-за отверстий, стыков и других точек входа. Энергия HIRF может передаваться из одной области в другую посредством механизмов и различных соединений. Следует учитывать, что эффективность экранирования конструкции снижается, когда жгуты и механические связи, в том числе гидравлические, подвергаются воздействию внешней электромагнитной среды в местах с минимальной защитой, например, шасси, окна кабины, крылья и другие проемы. Местонахождение этих основных проблемных областей может быть легко идентифицируемо, но следует учитывать менее очевидные пути проникновения. Ниже приведены примеры возможных путей проникновения внешней ЭМО с внутренним пространством самолета:

- через диэлектрические материалы;
- через диэлектрические щели между металлическими поверхностями;
- проводящая связь с жгутами проводов.

Методы защиты оборудования для снижения воздействия HIRF:

- структурное затухание;
- защита установки подсистем;

- специальная схема защиты;
- общий и дифференциальный режим контроля сопротивления проводов с их источником и импедансами нагрузки.

Защита подсистем и цепей обычно применяется с помощью следующих методов:

- проектирование помехоустойчивых схем;
- прокладка проводов витой парой;
- заземление;
- экранирование;
- фильтрация.

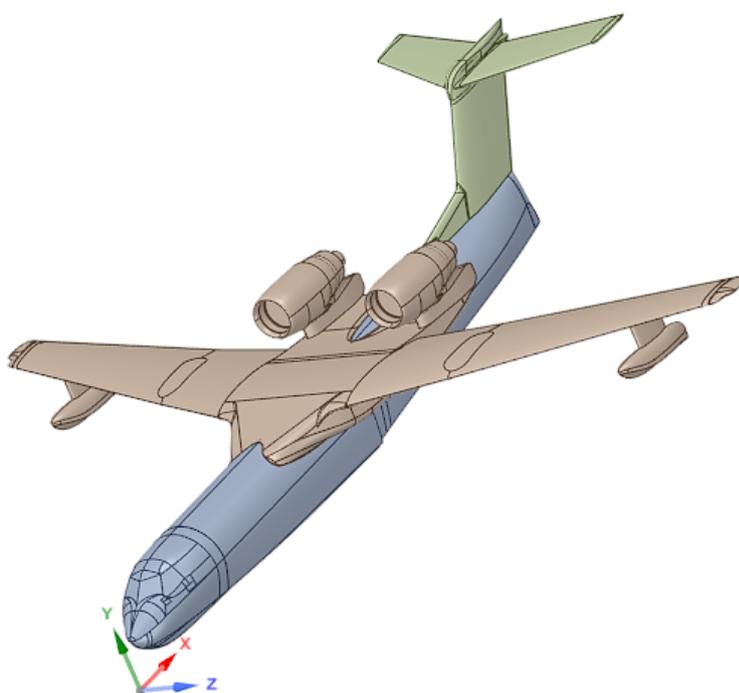
В 2013 - 2014 годах в авиационные правила АП-23, АП-25, АП-27 были добавлены специальные пункты (25.1317, 23.1308 для самолётов и 27.1317 для вертолёттов). В этих пунктах подробно отражены требования к бортовому оборудованию ВС в части стойкости к воздействию внешнего ЭМП (частоты внешних ЭМП, уровни напряжённости электрического поля, тип модуляции). До того, как эти пункты были добавлены в авиационные правила, требования к воздействию и устойчивости к NIRF определялись в «Специальных технических условиях», которые разрабатывались для каждого ВС. Требования, предъявляемые к бортовому оборудованию по стойкости к воздействию NIRF, задаваемые в [5, 6, 7, 8], зависят от категории критичности выполняемых им функций.

### **Оценка передаточной функции критической системы**

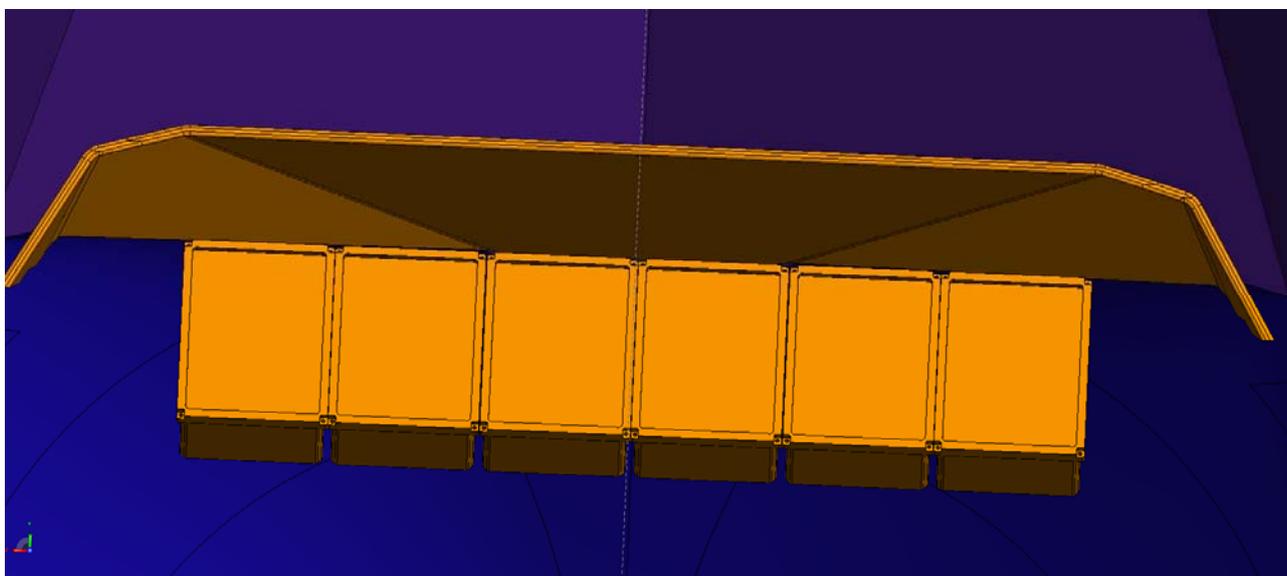
Критическая система (КС) - система самолета, отказ которой влияет на безопасное продолжение полета и совершение посадки.

В качестве КС выберем «многофункциональный индикатор жидкокристаллический» (МФИ ЖК), поскольку данная КС одна из самых распространенных и установлена практически на каждом современном ВС.

В качестве модели воздушного судна выберем самолет-амфибию Бе-200ЧС. 3D-модель самолета представлена на рис. 1. МФИ-ЖК в количестве 6 шт. на самолете Бе-200ЧС установлены сразу под лобовым стеклом кабины экипажа (Рисунок 2).

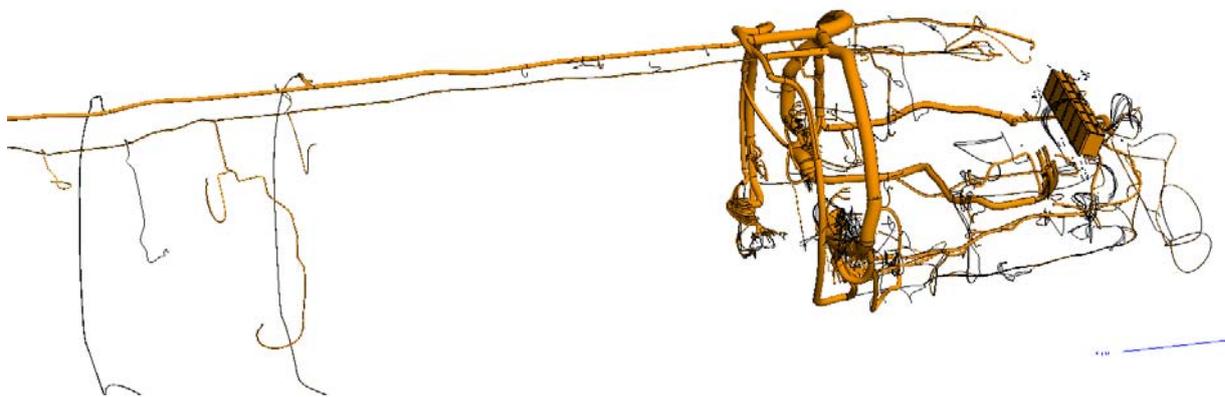


*Рис. 1. 3D-модель самолета Бе-200ЧС*



*Рис. 2. Расположение блоков МФИ-ЖК*

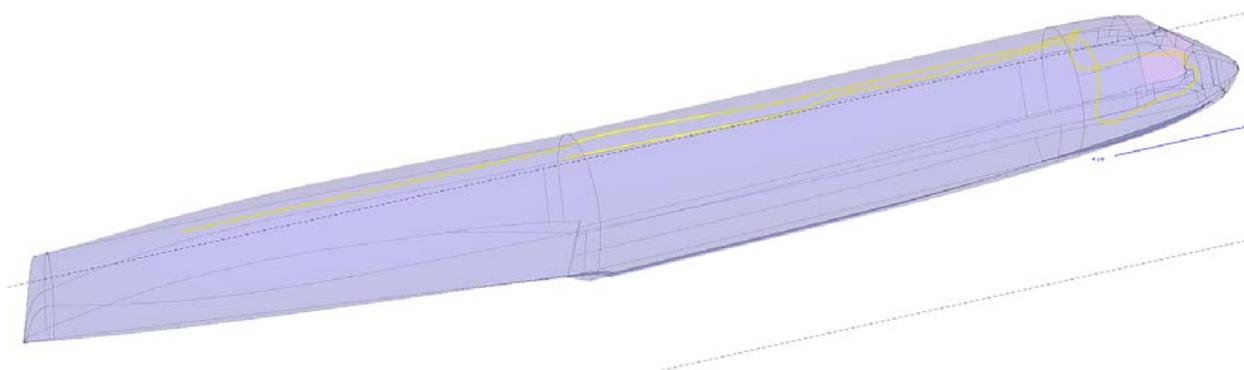
Для оценки ПФ воспользуемся программным продуктом FEKO [9]. Поскольку ПФ является характеристикой, связывающей уровень воздействующего на ВС внешнего ЭМП с уровнем индуцированного тока в жгутах КС, необходимо создать модель ВС с кабельной сетью блоков МФИ-ЖК. Кабельная сеть МФИ-ЖК представлена на рис. 3.



*Рис. 3. Кабельная сеть МФИ-ЖК*

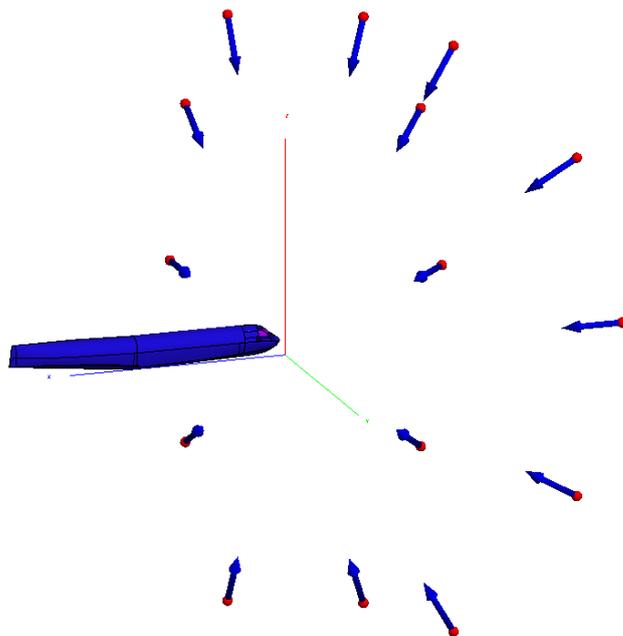
Проанализировав кабельную сеть КС, можно сделать вывод, что кабельная сеть КС проложена только по фюзеляжу ВС и приходит к блокам МФИ-ЖК по двум основным жгутам. Исходя из этого, необходимо создать модель фюзеляжа ВС с проложенными по нему жгутами КС.

Поскольку в программе FEKO используется метод моментов, то для создания модели фюзеляжа достаточно только создать внешнюю поверхность, задать материал и толщину. Для жгутов достаточно создать линии, повторяющие прокладку кабельной сети, задать толщину и материал. Модель фюзеляжа с жгутами КС приведена на рис. 4.



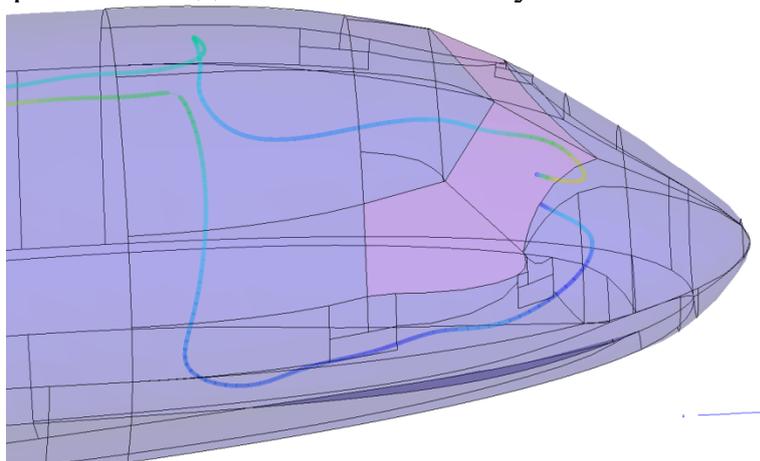
*Рис. 4. Электродинамическая модель жгутов КС в составе ВС*

Теперь необходимо задать уровень и направление ЭМП, которым будет облучаться ВС. Амплитуду облучаемого ЭМП зададим в 1 В/м. Направление излучения зададим от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  с шагом  $45^\circ$  в азимутальной плоскости  $\varphi$ , и от  $-30^\circ$  до  $-150^\circ$  с шагом  $-30^\circ$  в угломестной плоскости  $\theta$  (рис. 5).



*Рис.5. Направление облучения ВС*

Оценку ПФ выполним в диапазоне частот от 10 МГц до 100 МГц, с изменением частоты по логарифмическому закону с шагом 100 частот на декаду, для вертикальной и горизонтальной поляризации вектора  $E$  ЭМП, которым облучается ВС. Поскольку ток, возникший в жгутах при облучении ЭМП, может стать причиной отказа КС, то уровень наведенных токов необходимо оценивать в непосредственной близости от блоков КС. На рис. 6 представлен расчет наведенных токов на жгуты КС.



*Рис.6. Наведенные токи на жгуты КС*

Каждый жгут разбит на сегменты. Для оценки ПФ будем рассматривать ток, наведенный на ближайший сегмент к КС при облучении ЭМП с каждого направления. На рисунке 20 – 34 (см. Приложение А) представлены

графики зависимости наведенного тока на жгуты КС от частоты при различных направлениях облучения ВС и двух поляризаций вектора Е.

Для расчета ПФ необходимо взять максимальные значения наведенного тока на два жгута на каждой частоте. А поскольку падающая волна имеет амплитуду 1 В/м, то эти значения и будут ПФ КС (рис. 7).

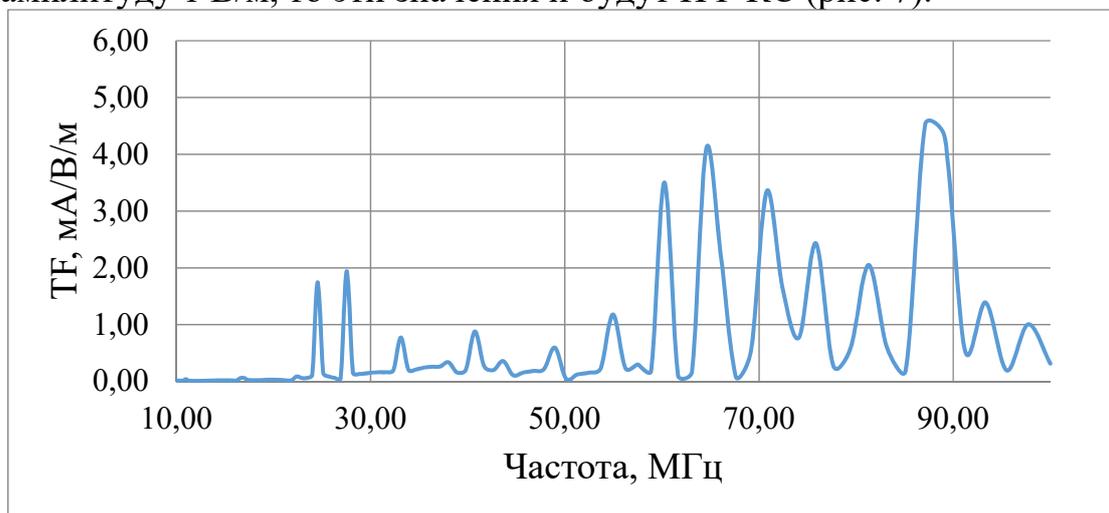


Рис. 7. Передаточная функция КС МФИ-ЖК

### Заключение

Полученные результаты оценки передаточной функции КС можно использовать для более углубленного анализа и подтверждения норм соответствия устойчивости оборудования к HIRF.

Одним из вариантов проверки соответствия нормам воздействия излучения электромагнитных полей на ВС является переход к виртуальным методам исследований. Используя математические модели и специальные для этих целей программные продукты можно виртуально моделировать воздействие HIRF в соответствии с ED 107 [4], AC/AMJ 20.1317 [10].

Рассмотренная концепция виртуального моделирования позволяет достичь следующих качественно новых показателей дальнейшего развития проведения испытаний воздействия HIRF в составе ВС:

- выделение для последующего детального анализа наиболее опасные источники и зоны возбуждения электромагнитных помех;
- повышение безопасности ВС;
- уменьшение сроков и стоимости проведения испытаний;
- переход к «виртуальным» испытаниям;
- уменьшение ограничений в использовании портативной техникой (телефоны, точки доступа интернет, специальное медицинское оборудование) для пассажиров;

- улучшение тактико-технических показателей ВС таких как: уменьшение ЭМИ от бортового оборудования установленном на ВС, уменьшение массы вследствие уменьшения экранов и защитных экранов по результатам моделирования ЭМС, повышение радиоэлектронной защищённости ВС от внешних воздействий естественного и техногенного, переход от металлических деталей планера к композитным материалам без снижения ЭМ защиты.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

2. *Борисов М.Б.* Воздействие внешних электромагнитных полей высокой интенсивности на бортовое оборудование ВС // Сборник научных трудов ГосНИИ ГА № 311 2010. С. 75-85.
3. *Швабб А.Й.* Электромагнитная совместимость. - М.: Энергоатомиздат, 1998. - 466 с.
4. ARP5583. Guide to Certification of Aircraft in a High Intensity Radiated Field (HIRF) Environment. 2010.
5. EUROCAE ED 107. Guide to certification of aircraft in a high-intensity radiated field (HIRF) environment. 2010.
6. The Federal Aviation Regulations USA (FARs), part 25.
7. Certification Specification CS-25 EASA.
8. АП-25. Авиационные правила. Нормы летной годности самолетов транспортной категории.
9. КТ 160D. Квалификационные требования. Раздел 20.0 Радиочастотная восприимчивость (радиоизлучение и проводимость), АР МАК, 2004.
10. Сайт компании-разработчика программного продукта Altair FEKO [Электронный ресурс]: <https://altairhyperworks.com/product/FEKO>
11. AC/AMJ 20.1317. The certification of aircraft electrical and electronic systems for operation in the High Intensity Radiated Field (HIRF) Environment., 1998.

**Можайцев Виталий Павлович**, аспирант первого года обучения ИРТСУ ЮФУ, г. Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347900, телефон: +7 909-430-25-90, email: [mvp\\_emc@inbox.ru](mailto:mvp_emc@inbox.ru).

**Mozhaytsev Vitaly Pavlovich**, 1st year post-graduate student of IRTSU SFU, Russia, Taganrog city, Nekrasovsky lane 44, 347900, phone: +7 909-430-25-90, email: [mvp\\_emc@inbox.ru](mailto:mvp_emc@inbox.ru).

УДК 621.396

Завьялов Дмитрий Викторович, Конченков Владимир Игоревич,  
Сивашова Екатерина Сергеевна

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БРИЗЕРА В СВЕРХРЕШЕТКЕ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА

*Исследовано приближенное бризерное решение уравнения, описывающего распространение нелинейных волн в сверхрешетке на основе графена. Показана стабильность такого решения.*

*Уравнение Клейна-Гордона, бегущий бризер, приближенное решение, коэффициент корреляции.*

Zavyalov Dmitry Victorovich, Kontchenkov Vladimir Igorevich,  
Sivashova Ekaterina Sergeevna

## SIMULATION OF BREATHER PROPAGATION IN A GRAPHENE-BASED SUPERLATTICE

*An approximate breather solution of the equation describing the propagation of nonlinear waves in a graphene-based superlattice is studied. The stability of such a solution is shown.*

*Klein-Gordon equation, traveling breather, approximate solution, correlation coefficient.*

### **Введение**

Уравнение Клейна-Гордона вида

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + F(u) = 0, \quad (1)$$

где  $F(u)$  - нечетная функция с периодом  $2\pi$ , встречается в различных разделах теоретической и математической физики. Одним из важнейших его приложений является описание распространения электромагнитной волны в среде, где специфика этой среды в конечном итоге проявляется в виде функции  $F(u)$ . При этом физический смысл  $u$  – безразмерный вектор потенциал поля волны. И, если среда распространения нелинейна, то и получившееся уравнение будет нелинейно. Так, например, в сверхрешетке на основе графена уравнение (1) примет вид [1,2]

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\sin u}{\sqrt{1+b^2(1-\cos u)}} = 0. \quad (2)$$

Уравнение (2) очень похоже на уравнение sine-Gordon [3-5], среди решений которого есть интересные двухпараметрические решения, представляющие собой связанное состояние кинк-антикинковой пары [6,7]. Следует ожидать, что подобные решения должны быть и у уравнения (2).

### Основная часть

Имея ввиду исследование решения (2) в пределе малых амплитуд, раскладываем  $\sin u / \sqrt{1+b^2(1-\cos u)}$  в ряд по  $u$  до кубических членов. Получим

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + u - \left( \frac{b^2}{4} + \frac{1}{6} \right) u^3 = 0, \quad (3)$$

Будем искать решение уравнения (3) в виде ряда  $u = A(x)\cos(\omega t) + B(x)\cos(3\omega t) + \dots$  с равномерно уменьшающимися коэффициентами перед косинусами [8-10]. Учитывая, что  $|A| \gg |B|$  (для сходимости ряда), получим систему

$$\begin{cases} \frac{d^2 A}{dx^2} - (1 - \omega^2)A = -\frac{3}{4}\beta A^3, \\ \frac{d^2 B}{dx^2} + (9\omega^2 - 1)B = -\frac{1}{4}\beta A^3. \end{cases} \quad (4)$$

где  $\beta = \frac{b^2}{4} + \frac{1}{6}$ . Решая систему в области ограниченных на бесконечности локализованных решений, можно определить функциональный вид бризера малой амплитуды. Получим

$$u = \left( \frac{32(1-\omega^2)}{3b^2+2} \right)^{1/2} \frac{\cos(\gamma \omega t - \omega x \sqrt{\gamma^2 - 1})}{\cosh(\gamma x \sqrt{1-\omega^2} - t \sqrt{1-\omega^2} \sqrt{\gamma^2 - 1})}. \quad (5)$$

Представляет интерес исследование устойчивости приближенного решения (5). Используя пакет Wolfram Mathematica, выполним численное решение уравнения (2), взяв в качестве начального условия функцию (5). На рисунке 1 показаны графики приближенного аналитического и численного решений в различные моменты времени. При построении графиков полагалось  $b = 0.90$ ,  $\omega = 0.97$ . Из графиков, представленных на рис. 1 видно, что, хотя при этих значениях условие  $|u| \ll 1$  не выполняется, численное решение оказывается близким к представленному выше аналитическому и обнаруживает устойчивость, то есть область применимости приближенного аналитического решения оказывается несколько шире, чем предполагалось изначально.

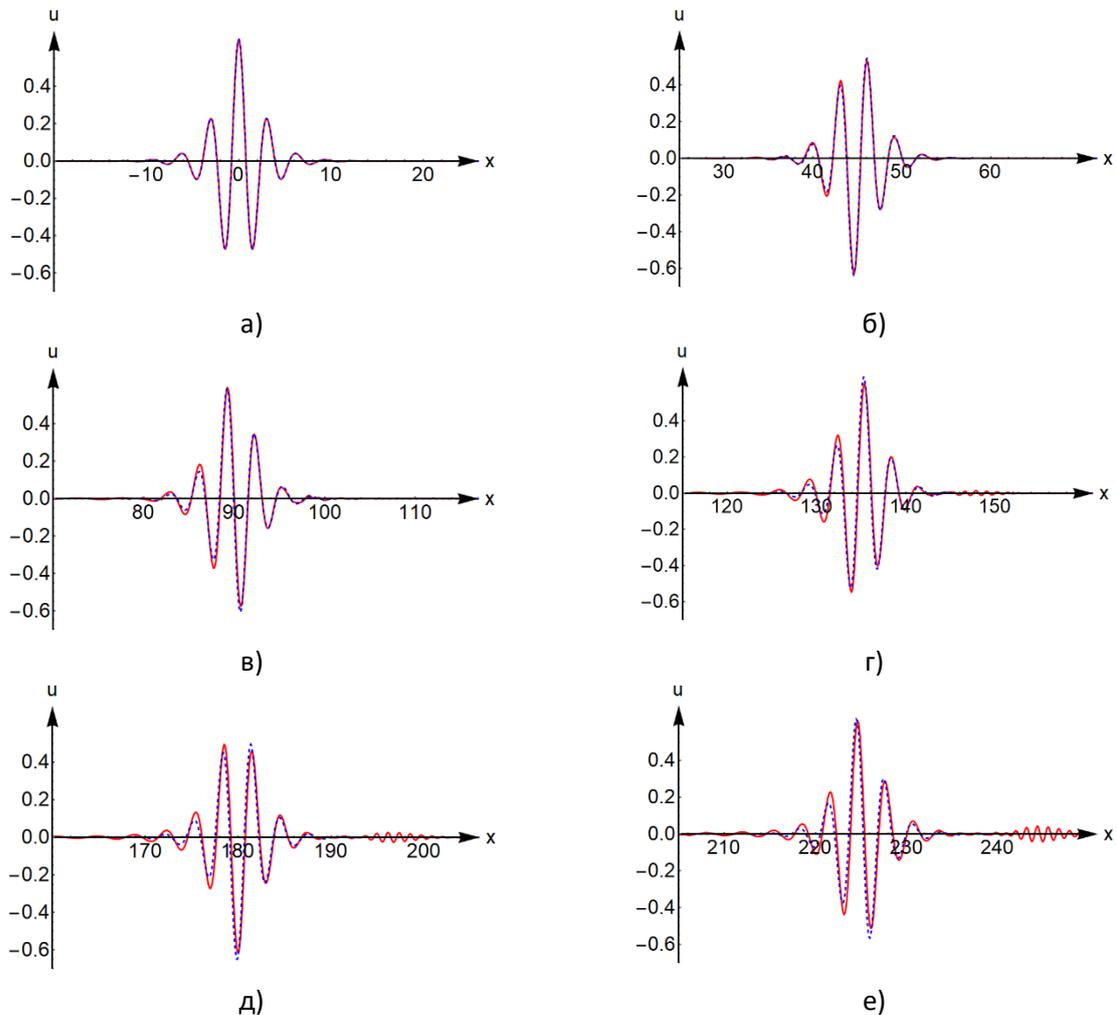


Рис. 1. Сравнение численного (красная линия) и приближенного аналитического (синяя пунктирная линия) в разные моменты времени:

а)  $t = 0$ ; б)  $t = 50$ ; в)  $t = 100$ ; г)  $t = 150$ ; д)  $t = 200$ ; е)  $t = 250$

### Выводы

В работе предложен метод получения приближенного решения нелинейного уравнения Клейна-Гордона для сверхрешетки на основе графена, представляющего собой бегущий бризер малой амплитуды. Проведен численный анализ полученного решения на предмет устойчивости. Показано, что форма решения меняется слабо на временном интервале, составляющем десятки длительностей импульса.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kryuchkov S.V., Kukhar' E.I. *Physica B*, 408, 188-192 (2013). DOI: 10.1016/j.physb.2012.09.052.
2. Martin-Vergara F., Rus F., Villatoro F.R. In: *Nonlinear Systems, Vol. 2. Understanding Complex Systems*, edited by J. Archilla, F. Palmero, M. Lemos,

- B. Sánchez-Rey, J. Casado-Pascual (Cham, Springer, 2018), p. 85-110. DOI: 10.1007/978-3-319-72218-4.
3. *Cuevas-Maraver J., Kevrekidis P.G., Williams F. (eds.). The sine-Gordon Model and its Applications* (Springer, Cham, 2014). DOI: 10.1007/978-3-319-06722-3.
  4. *Jagtap A.D., Saha E., George J.D., Vasudeva Murthy A.S.* Wave Motion, 73, 76 – 85 (2017). DOI: 10.1016/j.wavemoti.2017.05.003.
  5. *Carretero-González R., Cisneros-Ake L.A., Decker R., Koutsokostas G.N., Frantzeskakis D.J., Kevrekidis P.G., Ratliff D.J.* Commun Nonlinear Sci, 109, 106123 (2022). DOI: 10.1016/j.cnsns.2021.106123.
  6. *Remoissenet M.* Waves Called Solitons: Concepts and Experiments (Springer-Verlag, Berlin, 1999). DOI: 10.1007/978-3-662-03790-4.
  7. *Pelinovsky D.E., Penati T., Paleari S.* In: Mathematics of Wave Phenomena. Trends in Mathematics, ed. by W. Dörfler, M. Hochbruck, D. Hundertmark, W. Reichel, A. Rieder, R. Schnaubelt, B. Schorkhuber. (Cham, Birkhäuser, 2020), p. 251-278. DOI: 10.1007/978-3-030-47174-3\_16.
  8. *Ablowitz M.J., Kaup D.J., Newell A.C., and Segur H.* Stud Appl Math, 53(4), 249-315 (1974). DOI: 10.1002/sapm1974534249.
  9. *Косевич А.М., Ковалев А.С.* ЖЭТФ, 67, 1793 (1974) [A.M. Kosevich, A.S. Kovalev, JETP, 40(5), (1975), 891-896].
  10. *Белова Т.И., Кудрявцев А.Е.* УФН, 167(4), 377-406 (1997). DOI: 10.3367/UFNr.0167.199704b.0377 [T.I. Belova, A.E. Kudryavtsev. Phys Usp, 40, 359-386 (1997). DOI: 10.1070/PU1997v040n04ABEH000227].

**Завьялов Дмитрий Викторович**, доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой физики Волгоградского государственного технического университета, Россия, город Волгоград, проспект Ленина 28, 400005, телефон: +7 (8442) 24-81-07, email: [d\\_zavialov@vstu.ru](mailto:d_zavialov@vstu.ru).

**Сивашова Екатерина Сергеевна**, аспирант кафедры физики Волгоградского государственного технического университета, Россия, город Волгоград, проспект Ленина 28, 400005, телефон: +7 (8442) 24-81-07, email: [laei@mail.ru](mailto:laei@mail.ru).

**Конченков Владимир Игоревич**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электронно-вычислительных машин и систем Волгоградского государственного технического университета, Россия, город Волгоград, проспект Ленина 28, 400005, телефон: +7 904 756 86 41, email: [kontchenkov@yandex.ru](mailto:kontchenkov@yandex.ru).

**Zavyalov Dmitry Viktorovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Department of Physics, Volgograd State Technical University, Russia, Volgograd, Lenina Avenue 28, 400005, phone: +7 (8442) 24-81-07, email: [d\\_zavialov@vstu.ru](mailto:d_zavialov@vstu.ru).

**Sivashova Ekaterina Sergeevna**, post-graduate student of the Department of Physics, Volgograd State Technical University, Russia, Volgograd, Lenina avenue 28, 400005, phone: +7 (8442) 24-81-07, email: [laei@mail.ru](mailto:laei@mail.ru).

**Konchenkov Vladimir Igorevich**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, docent of the Department of electronic computational machines and systems, Volgograd State Technical University, Russia, Volgograd, Lenina Avenue 28, 400005, phone: +7 904 756 86 41, email: [kontchenkov@yandex.ru](mailto:kontchenkov@yandex.ru).

Андрианов Артур Валерьевич, Зикий Анатолий Николаевич, Кочубей  
Алексей Сергеевич, Литвинов Михаил Сергеевич

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИНФАЗНОГО ДЕ- ЛИТЕЛЯ ДЕЦИМЕТРОВЫХ ВОЛН**

### **Аннотация**

Представлены результаты экспериментального исследования делителя мощности с рабочей частотой 1 ГГц. Приведены схема и краткое описание конструкции. Дана методика эксперимента. В качестве основных результатов представлены амплитудно-частотные характеристики двух каналов и развязка между двумя выходами. Делитель мощности рекомендуется использовать в антенных решётках.

**Ключевые слова:** делитель мощности, амплитудно-частотная характеристика, развязка, схема, конструкция, эксперимент.

Andrianov Artur Valeryevich, Zikiy Anatoly Nikolaevich, Kochubey Alexey  
Sergeevich, Litvinov Mikhail Sergeevich

## **EXPERIMENTAL STUDY OF THE COMMON-MODE DIVIDER OF DECIMETER WAVES**

### **Abstract**

The results of an experimental study of a power divider with an operating frequency of 1 GHz are presented. A diagram and a brief description of the design are given. The method of the experiment is given. The main results are the amplitude-frequency characteristics of the two channels and the decoupling between the two outputs. The power divider is recommended for use in antenna arrays.

**Keywords:** power divider, amplitude-frequency response, decoupling, circuit, design, experiment.

### Введение

Делители мощности нашли широкое применение в приёмо-передающей аппаратуре связи, навигации и радиоэлектронной борьбы. Их разработке, исследованию и применению уделяется постоянное внимание. В связи с широким использованием антенных решёток важное значение имеет миниатюризация делителей мощности, поэтому целью настоящей работы является экспериментальное исследование миниатюрного делителя мощности.

По делителям мощности имеется обширная литература, в том числе монографии [1 – 3], учебные пособия [4], статьи [5 – 7], реклама [8 – 10], патенты [11].

Производством делителей мощности занимается множество отечественных и зарубежных предприятий, а именно АО «Исток», НИИПИ «Кварц», АО «Салют», ФГУП РНИИРС, Anaren, Mini Circuits и другие. Краткие сведения о параметрах делителей мощности нескольких производителей приведены в таблице 1.

Объектом исследования в данной работе является корпусированный модуль СВЧ на основе микросхемы M44454 производства ростовского НИИ радиосвязи [8].

- к модулю предъявляются следующие требования [8]:
- диапазон рабочих частот от 800 до 1175 МГц;
- коэффициент передачи канала от минус 3,7 до минус 4,9 дБ;
- развязка между выходными плечами от 12 до 24 дБ;
- волновое сопротивление входа и выхода 50 Ом.

Таблица 1  
Синфазные делители мощности

Тип	Диапазон частот, МГц	Потери (макс.), дБ	Развязка (макс.), дБ	КСВН (макс.) вх./вых.	Баланс по амплитуде, дБ	Баланс по фазе, град.	Размеры, мм
Anaren							
4D1304	650 – 1200	3.30	12	1.5/1.5	± 0.20	2	16.5x12.2x2.29
4A1305	1400 – 2600	3.40	12	1.5/1.35	± 0.25	2.5	14.2x8.89x1.91
4A1307	3000 – 6500	3.40	16	1.3/1.3	± 0.20	3	14.2x8.89x1.91
РНИИРС							
M44454	800 – 1175	3.7 – 4.1	12 – 24	1.8/1.8	–	5	–
M44456	5500 –	3.4 –	22 – 27	1.3...1.9	–	5	–

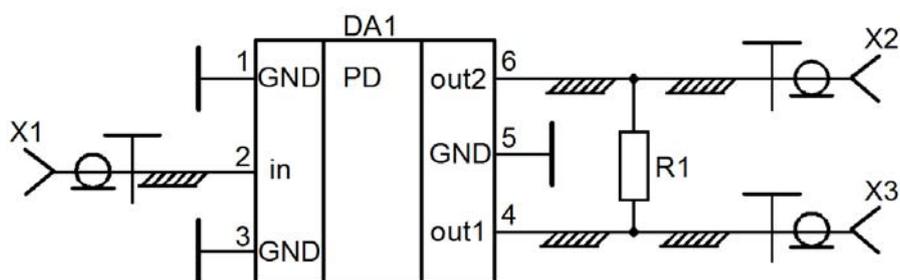
	6500	4.2		1.1...1.23			
Micro-Circuit							
SCN-2-11	800 – 1175	3.5	20	–	–	–	–
QBA-12	800 – 1200	3.25	23	–	–	–	–
SB B-2-13	950 – 1300	3.6	24	–	–	–	–

Микросхема М44454 изготовлена на основе многослойной керамики с низкой температурой обжига [7]. Благодаря этой технологии геометрические размеры микросхемы в 5 – 6 раз меньше аналогов фирмы Anaren.

### Схема и конструкция

Схема корпусированного модуля СВЧ приведена на рисунке 1. Модуль состоит из микросхемы, балансного резистора 100 Ом и трёх соединителей типа IX по ГОСТ13317-89 (гнездо).

Делитель мощности и балансный резистор смонтированы на печатной плате размером 15x12,5 мм из материала Rogers Ro4350В толщиной 0,254 мм,  $\epsilon=3,48$ .



DA1 – Модуль СВЧ М44454 АПНТ.434820.060ТУ

R1 – Резистор P1 – 12 – 0,25 – 100 Ом  $\pm$  5%

X1 – X3 Переход СРГ50 – 751ФВ ВР0.364.049ТУ

Рисунок 1 – Схема делителя мощности

### Эксперимент

Эксперимент проводился на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 2. Основной прибор – измеритель комплексных коэффициентов передачи типа PNA-L N5234A. Кроме того, использованы набор кабелей и переходов.

Выход исследуемого канала подключается к детектору. Выход незадействованного канала подключается к согласованной нагрузке 50 Ом из комплекта прибора РЧ6-01.

В первом эксперименте измерялся коэффициент передачи в канале вход – выход 1. Результат измерения представлен на рисунке 3.

Во втором эксперименте был измерен коэффициент передачи в канале вход – выход 2. Результат измерения изображён на рисунке 4.

В третьем эксперименте измерена развязка между выходами 1 и 2. При этом вход делителя мощности был соединён с согласованной нагрузкой. Результат эксперимента показан на рисунке 5.

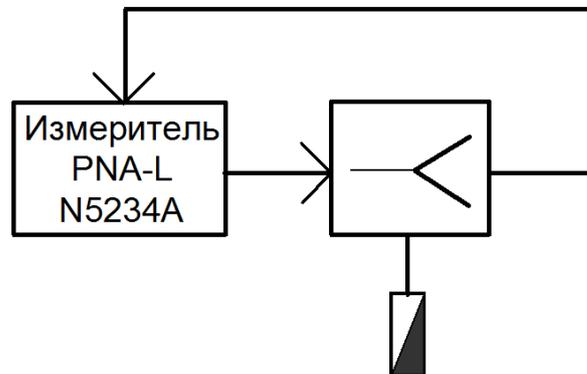


Рисунок 2 – Структурная схема эксперимента

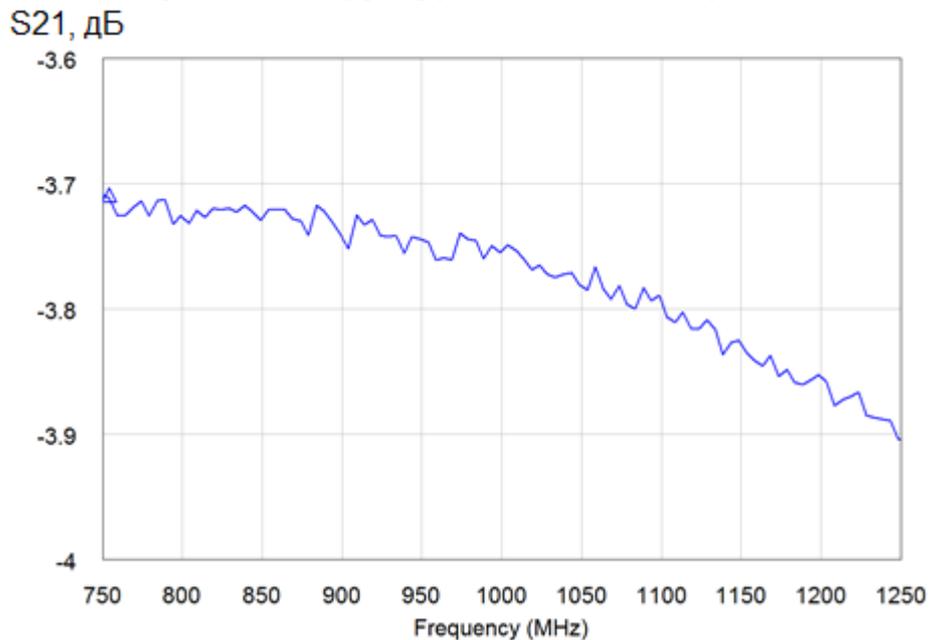


Рисунок 3 – Коэффициент передачи в канале вход – выход 1

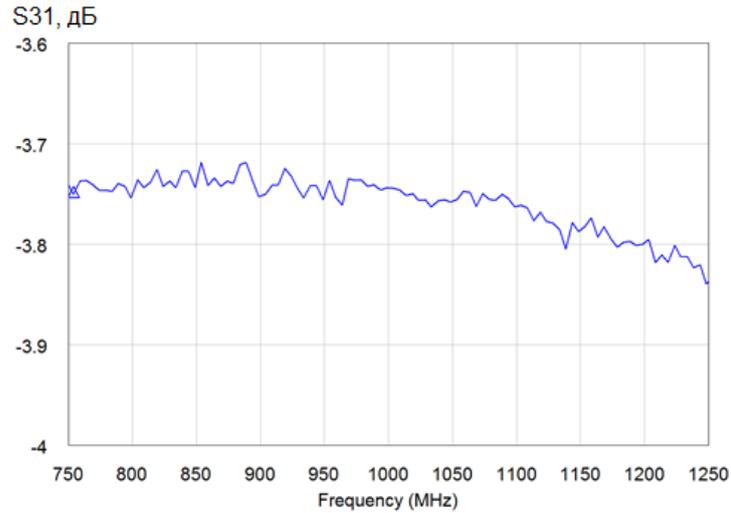


Рисунок 4 – Коэффициент передачи в канале вход – выход 2.

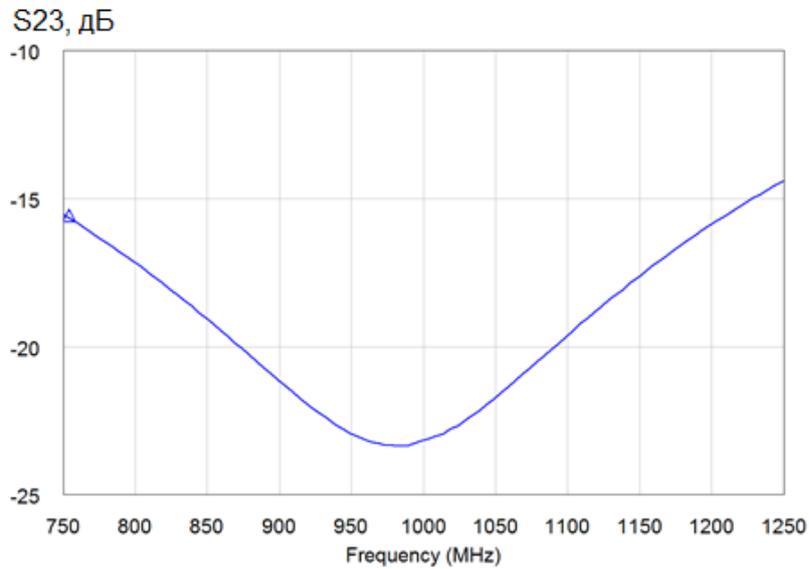


Рисунок 5 – Развязка между выходами 1 и 2.

### Выводы

Ниже в таблице 2 приведены основные параметры делителя мощности в сравнении с информационным листом производителя [8].

Таблица 2

Основные параметры делителя мощности

Наименование параметра, размерность	Данные из информационного листа [8]	Измерено в штатной полосе	Измерено в расширенной полосе
Диапазон рабочих частот, МГц	800 – 1175	800 – 1175	750 – 1250
Количество каналов	2	2	2

Коэффициент передачи канала, дБ	-3,7 ... -4,1	-3,72 ... -3,85	-3,71 ... -3,91
Развязка между выходными плечами, дБ	12 ... 24	17 ... 23	14 ... 23,5
Волновое сопротивление входа и выходов, Ом	50	50	50
Максимальный разбаланс фаз, градус	5	–	–
КСВН входа/выхода	1,4/1,15	–	–

Из этой таблицы видно, что все измеренные параметры делителя мощности соответствуют заявленным характеристикам. Кроме того, делитель мощности можно использовать в расширенной полосе 750 – 1250 МГц.

Очень важным преимуществом исследованного делителя мощности является его малые габариты и масса, высокая пропускаемая мощность.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Печурин В.А., Петров А.С. Широкополосные кольцевые делители-сумматоры мощности СВЧ диапазона. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 144 с.
2. Справочник по элементам полосковой техники. Под ред. А.Л. Фельдштейна. – М.: Связь, 1979. – 336 с.
3. Микроэлектронные устройства СВЧ / Бова Н.Т., Ефремов Ю.Г., Конин В.В. и др. – Киев, Техника, 1984. – 183 с.
4. Проектирование фазированных антенных решёток. Учебное пособие. Под ред. Д.И. Воскресенского. 3-е издание. – М.: Радиотехника, 2003. – 632 с.
5. Губарев Д.Е., Зикий А.Н., Сперанская Г.В., Сташок П.А. Моделирование и экспериментальное исследование синфазного кольцевого делителя мощности. Инженерный вестник Дона, 2019 №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5865](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5865).
6. Андрианов А.В., Губарев Д.Е., Зикий А.Н., Сленчковский В.Г. Делитель мощности на основе 4-х шлейфного квадратурного моста. Инженерный вестник Дона, 2018 №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5105](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5105).
7. Кисиленко К.И., Мякишева М.С., Тимофеев Е.П. Разработка трёхканального делителя мощности СВЧ диапазона. Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2016, №3 (114), с 64.
8. Модуль СВЧ М44454, АПНТ.434820.060ТУ. Информационный лист. Ростов-на-Дону, ФГУП «РНИИРС», 2021 г. 1 стр.
9. Электронные компоненты ЭЛКОТЕХ. Пассивные СВЧ компоненты. <http://www.semiconductors.ru/>

10. ВЧ и СВЧ радиокомпоненты Ведущих мировых производителей. Прайс-лист, выпуск 11. Москва, РАДИОКОМП, 2010. – 88 с.
11. Алыбин В.Г., Зарапин С.А., Яхутин С.А., Авраменко С.В. Делитель мощности для бортовой аппаратуры космического аппарата. Патент РФ №2.608978, гос. рег. 2017 г.

**Авторы:**

Андрианов Артур Валерьевич, специалист, начальник лаборатории, Таганрогский научно-исследовательский институт связи, Россия, г. Таганрог, 1-й линейный проезд, д 63, 347943, телефон: 89996972926, e-mail: zikiy50@mail.ru.

Зикий Анатолий Николаевич, к.т.н.; с.н.с.; доцент. Южный федеральный университет, кафедра информационной безопасности телекоммуникационных систем, Россия, г. Таганрог, ул. Чехова, 2, 347922; телефон: 89185822295, e-mail: zikiy50@mail.ru.

Кочубей Алексей Сергеевич, магистр, инженер-конструктор 2 категории, Таганрогский научно-исследовательский институт связи; Россия, г. Таганрог, пер. Донской, 22, к. 8; 347900, телефон: 89896270939, e-mail: [l.co4ubey@yandex.ru](mailto:l.co4ubey@yandex.ru).

Литвинов Михаил Сергеевич, специалист, заместитель начальника НТЦ Таганрогский научно-исследовательский институт связи; Россия, г. Таганрог, ул. Большая бульварная д. 5, кв 6; 347913, телефон: 89045065910, e-mail: litvinovm@inbox.ru.

**Authors:**

Andrianov Artur Valeryevich, Specialist, Head of the laboratory, Taganrog Scientific Research Institute of Communications, Russia, Taganrog, 1st linear passage, d 63, 347943, phone: 89996972926, e-mail: zikiy50@mail.ru .

Zikiy Anatoly Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences; senior researcher; associate professor. Southern Federal University, Department of Information Security of Telecommunication Systems, Russia, Taganrog, Chekhov str., 2, 347922; phone: 89185822295, e-mail: zikiy50@mail.ru .

Alexey S. Kochubey, Master's degree, Design Engineer of the 2nd category, Taganrog Scientific Research Institute of Communications; Russia, Taganrog, lane. Donskoy, 22, k. 8; 347900, phone: 89896270939, e-mail: [l.co4ubey@yandex.ru](mailto:l.co4ubey@yandex.ru) .

Litvinov Mikhail Sergeevich, Specialist, Deputy Head of the Taganrog Scientific Research Institute of Communications; Russia, Taganrog, Bolshaya Bulvarnaya str. 5, kv 6; 347913, phone: 89045065910, e-mail: litvinovm@inbox.ru .

В.П.Федосов, Т.Т.Пацюк

## **АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ МИМО-OFDM В УСЛОВИЯХ АКТИВНЫХ ПОМЕХ**

*В данной работе рассмотрен алгоритм обработки пространственно-временных сигналов на основе МИМО-OFDM системы связи при наличии активных помех. Приведены теоретические выкладки, уникальные подходы, математические операции, необходимые для повышения пропускной способности канала связи при нахождении в нём точечного источника активных помех.*

*МИМО (Multiple Input Multiple Output), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), антенная решетка (АР), базовая станция (БС), мобильная станция (МС), беспроводная связь, пропускная способность, активная помеха.*

V.P.Fedosov, T.T.Patsyuk

## **ALGORITHM FOR PROCESSING SPACE-TIME SIGNALS BASED ON THE MIMO-OFDM SYSTEM UNDER ACTIVE INTERFERENCE**

*An algorithm for processing space-time signals based on a MIMO-OFDM communication system in the presence of active interference is described in this article. Theoretical calculations, unique approaches, mathematical operations necessary to increase the throughput of a communication channel when a point source of active interference is found in it are presented.*

*MIMO (Multiple Input Multiple Output), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), antenna array (AR), base station (BS), mobile station (MS), wireless connection, bandwidth, active interference.*

### **Введение**

Стремительное развитие технологий передачи информации началось в середине XX века, благодаря развитию микроэлектроники и высокоскоростных цифровых процессоров. Сейчас с совершенствованием средств обмена данными, появлением сетей связи третьего (3G), четвертого (4G/LTE) и пятого (5G) поколения запросы пользователей невероятно возросли. Оттого значительно ценится скорость передачи и объёмы передан-

ной информации. Потому сейчас большое развитие получили MIMO-OFDM (Multiple Input Multiple Output - Orthogonal Frequency Division Multiplexing) системы связи. Они позволяют увеличивать пропускную способность без расширения полосы пропускания [1], эффективно использовать радиочастотный спектр, а также противостоять межсимвольным помехам и интерференциям между поднесущими.

Городская инфраструктура не позволяет нам рассчитывать на беспрепятственное распространение сигнала. Здания, автомобили, ЛЭП – всё это становится барьерами для прохождения сигнала от передатчика к приёмнику по прямому пути. Важным фактором в плотной городской застройке являются и другие каналы связи, которые могут «влезть» в полосу канала из-за нелинейности передатчика другой станции. Также качественный прием информации могут намеренно нарушать источники активных помех [2,3].

### Постановка задачи

Целью проведенного исследования является повышение пропускной способности MIMO-OFDM-системы связи в условиях активных помех.

### Исходные данные

Средой распространения сигнала выберем воздушную среду в городских условиях (плотная застройка). В качестве источника помехи используется модель точечного в пространстве источника с шумовой (нормальной) помехой. Источник с неизвестными координатами находится в канале связи.

### Метод решения

Использование технологии MIMO (рис. 1) позволяет увеличить пропускную способность за счет одновременной передачи нескольких потоков данных через различные элементы антенной решетки (АР). Сигналы, излучаемые каждым из элементов, занимают одну полосу частот. Несмотря на то, что распространяются они в одной среде, за счет пространственной обработки такие сигналы могут быть разделены приемником, который также использует АР.

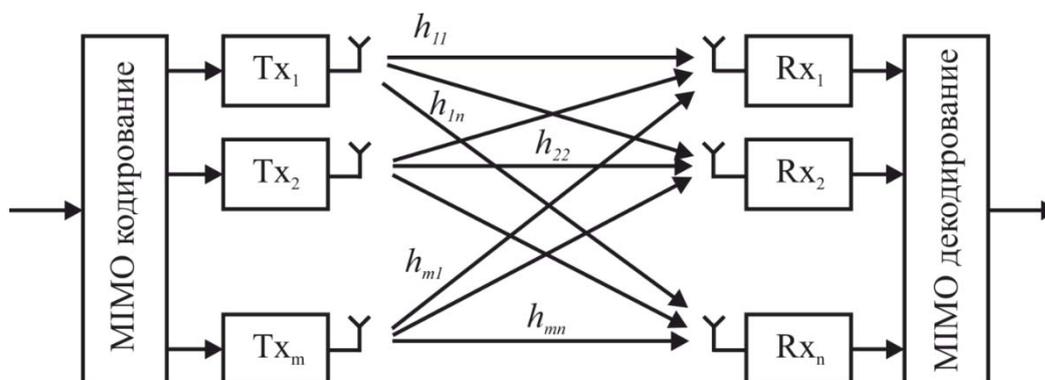


Рис 1. Структурная схема MIMO-системы связи

Матрица коэффициентов передачи канала связи при этом выглядит следующим образом:

$$\mathbf{H}(t, \tau) = \begin{bmatrix} h_{11}(t, \tau) & h_{12}(t, \tau) & h_{13}(t, \tau) & \dots & h_{1N_t}(t, \tau) \\ h_{21}(t, \tau) & h_{22}(t, \tau) & h_{21}(t, \tau) & \dots & h_{2N_t}(t, \tau) \\ h_{31}(t, \tau) & h_{32}(t, \tau) & h_{33}(t, \tau) & \dots & h_{3N_t}(t, \tau) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ h_{N_r,1}(t, \tau) & h_{N_r,2}(t, \tau) & h_{N_r,3}(t, \tau) & \dots & h_{N_r,N_t}(t, \tau) \end{bmatrix}.$$

Технология OFDM представляет собой сочетание модуляции и мультиплексирования. Она повышает устойчивость канала связи против частотно-избирательных замираний, вызванных многопутным распространением сигналов. OFDM-сигнал состоит из множества ортогональных поднесущих, входящих в состав одного основного сигнала, а каждая поднесущая модулируется своим битовым потоком. При передаче информации ввиду наличия препятствий и помех отдельные поднесущие OFDM-сигнала могут быть искажены, а это может стать причиной потери информационных битов, входящих в состав передаваемого пакета. Тем не менее, применение технологии помехоустойчивого кодирования на передатчике позволяет в достаточной мере восстановить сигнал на приемной стороне.

Рассмотрим упрощенную модель канала связи без помех. В нем присутствует базовая станция (БС) и мобильная станция (МС). И БС, и МС обладают как приёмниками, так и передатчиками. Чтобы обеспечить адаптацию MIMO на приёме [4], разобьём антенную решётку приёмника МС на несколько блоков. На выходе AP приёмника строится пространственная корреляционная матрица. Затем находятся собственные числа, собственные вектора и строится соответствующая матрица. Отметим, что собственные числа здесь представляют собой мощности сигналов, пришедших на AP приёмника разными путями в совокупности с шумами приемной системы.

Проанализируем собственные числа с помощью критерия максимума отношения сигнал/шум (ОСШ). В алгоритм закладывается операция выбора максимального собственного числа (т.е. на раскрыв AP приходит максимальная мощность этого пути). Тогда выбирается соответствующий собственный вектор и коэффициенты столбца используются как весовой вектор. В этом случае получаем отдельную антенну из блока, у которой максимум характеристики направлен на конкретно выбранный путь, а на остальные пути формируются нулевые значения, и затем обеспечиваем такую обработку в каждом блоке.

Таким образом, приёмник адаптирован на один канал, однако эта же АР используется и для передачи [5]. По выбранному пути (чаще всего это будет прямой путь, если он есть) сигнал уйдет в обратную сторону, причем с максимальной мощностью. В приёмнике БС также обеспечивается адаптация, строится корреляционная матрица. Максимальное собственное число при этом будет одно, остальные подавляются (т.к. сигнал не излучается по другим направлениям). Собственный вектор, соответствующий собственному числу, используется уже для приёма ММО-системы в БС. Иными словами, приемник БС аналогично разбивается на блоки, а затем они адаптируются на выбранный путь. Подобного рода адаптация является текущей, то есть она обеспечивается прямо в процессе приёма (приёмник в таком случае называется «информированным»).

Теперь рассмотрим работу алгоритма в условиях помех. Пусть имеем дезинформирующую активную помеху, которая создаётся точечным передатчиком. Он при этом не соответствует положению БС. Поскольку канал распространения сигнала тот же самый, то число путей, приходящих на приёмник, увеличивается вдвое: сигнальные пути от БС и пути от помеховой станции (рис. 2).

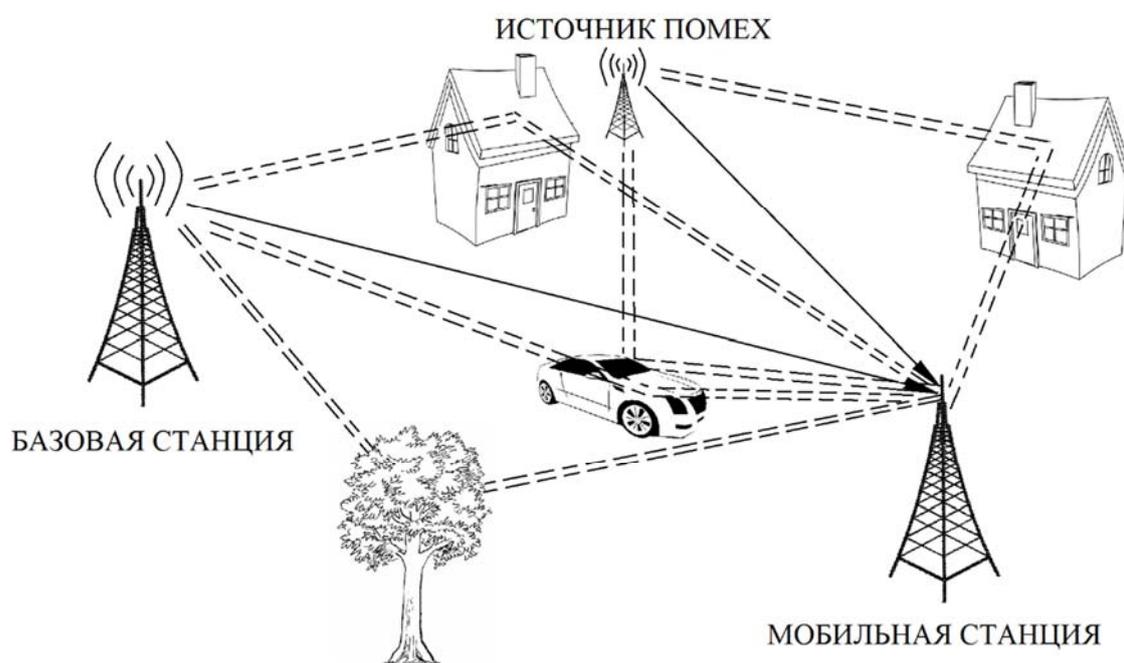


Рис 2. Модель канала связи с источником активных помех

В предыдущем случае (без помехи) использовался критерий максимума ОСШ, однако здесь он не подходит: при выборе собственного числа возникает вопрос, каким оно является (помеховым или сигнальным). Поэтому будем использовать винеровский критерий [6], в котором обеспечивается минимум среднеквадратической погрешности воспроизведения пилот-сигнала в OFDM. В этом случае выбирается сигнальное собственное число, собственный вектор, производится весовая обработка, принимается сигнал, и мы проверяем его по критерию минимума ошибки.

Технология OFDM подразумевает наличие пилот-поднесущих, известных на приёмной стороне по частоте и по коду модуляции. В расшифрованном коде выбираются места этих пилотов, производится сравнение по среднеквадратической ошибке, затем обеспечивается пороговая обработка. При большой ошибке происходит отказ от этого собственного числа. Так методом перебора ищется минимальная приемлемая ошибка, которая будет на основе пилот-поднесущей. Это будет означать, что обнаружен сигнал и его собственный вектор будет использоваться для весовой обработки.

### **Выводы**

Разработанный алгоритм позволяет увеличить пропускную способность канала при наличии в нем точечного источника активных помех. Обеспечение адаптации элементов АР на приемной стороне даёт возможность выбора одного (в большинстве случаев прямого) пути, по которому приходит максимальный сигнал, и подавления остальных (шумовых). Точно так же и при обратной передаче. Таким образом, мощность передатчика тратится исключительно на путь, позволяющий обеспечить максимальную эффективность работы канала на приём.

Использование винеровского критерия вместо критерия максимума ОСШ позволяет осуществлять качественную обработку сигнала даже тогда, когда на канал связи оказывают влияние помехи, как вызванные «влезанием» соседних станций (ввиду нелинейности передатчика), так и созданные намеренно источником активных помех. Благодаря пороговой обработке производится корректный выбор переданного БС сигнала, который пришел на раскрыв приемной АР.

Моделирование показывает существенное снижение вероятности битовой ошибки и повышение пропускной способности канала связи.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Федосов В.П., Кучерявенко С.В., Муравицкий Н.С. Повышение эффективности радиосвязи в релеевском канале на основе антенных решеток // Антенны. – 2008. – № 11. – С. 98-104.

2. Муравицкий Н.С., Федосов В.П. Метод улучшения приёма в системе беспроводной передачи данных на основе антенных решеток при наличии активных помех // Труды международной научной конференции «Излучение и рассеяние ЭВМ - ИРЭМВ». – Таганрог: ТТИ ЮФУ. 2009. – С. 412-515.

3. Taiwen Tang; R.W. Heath. Space-time interference cancellation in MIMO-OFDM systems // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2005. – С. 1802-1816.

4. Федосов В.П., Муравицкий Н.С. Адаптивная приемная антенная решетка для обработки пространственно-временных сигналов в МИМО-системе беспроводной передачи данных // Антенны. – 2011. – № 8. – С. 35-43.

5. Федосов В.П. Алгоритмы совместной адаптации на приём и передачу в системе связи на основе антенных решёток при наличии активных помех. – Прикладная электродинамика и антенные измерения.

6. Федосов В.П., Романов В.А. Статистическая радиотехника // Электронное учебное пособие, Ростов-на-Дону, 2008.

**Автор:** Федосов Валентин Петрович, д.т.н.; профессор, кафедра теоретических основ радиотехники; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: [vpfedosov@sfedu.ru](mailto:vpfedosov@sfedu.ru); 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371632;

**Автор:** Пацюк Тимур Тимофеевич, аспирант группы РТao2-29 кафедры теоретических основ радиотехники Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, телефон: +7 (918) 512-08-31, email: [patzyuck2011@yandex.ru](mailto:patzyuck2011@yandex.ru)

**Author:** Fedosov Valentin Petrovich, dr. of eng. sc.; professor, the department of fundamentals of radio engineering; Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: [vpfedosov@sfedu.ru](mailto:vpfedosov@sfedu.ru); 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371632;

**Author:** Patsyuk Timur Timofeevich, graduate student of RTao2-29 group, the department of fundamentals of radio engineering Institute of Radioengineering Systems and Control, Southern Federal University; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, phone: +7 (918) 512-08-31, email: [patzyuck2011@yandex.ru](mailto:patzyuck2011@yandex.ru)

*Научное издание*

**Компьютерные и информационные  
технологии  
в науке, инженерии и управлении  
«КомТех-2022»**

В двух томах  
Том 2

Отв. за выпуск Клевцов С. И.  
Оригинал-макет подготовила Замай Н. А.