



Національний технічний університет  
"Харківський політехнічний інститут"

National Technical University  
"Kharkiv Polytechnic Institute"



# Сучасні Інформаційні Системи

# Advanced Information Systems

Том 3, № 2

Volume 3, No. 2

**Щоквартальний  
науково-технічний журнал**

**Заснований у березні 2017 року**

У журналі публікуються результати досліджень з експлуатації та розробки сучасних інформаційних систем у різних проблемних галузях. Журнал призначений для наукових працівників, викладачів, докторантів, аспірантів, а також студентів старших курсів відповідних спеціальностей.

**Засновник і видавець:**

Національний технічний університет  
"Харківський політехнічний інститут"

Кафедра "Обчислювальна техніка та програмування",  
вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків, Україна

**Телефон:**

+38 (057) 707-61-65

**E-mail редколегії:**

kuchuk56@ukr.net

**Інформаційний сайт:**

<http://ais.khpi.edu.ua>

**Quarterly  
scientific and technical journal**

**Founded in March 2017**

The journal publishes the research study from the usage and development of advanced information systems in various problem areas. The journal is intended for researchers, lecturers, doctoral students, postgraduate students, and for senior students of the corresponding specialties.

**Founder and publisher:**

National Technical University  
"Kharkiv Polytechnic Institute"

Department of Computer Science and Programming,  
61002, Ukraine, Kharkiv, Kyrpychova str., 2

**Phone:**

+38 (057) 707-61-65

**E-mail of the editorial board:**

kuchuk56@ukr.net

**Information site:**

<http://ais.khpi.edu.ua>

*Затверджений до друку Вченою Радою Національного технічного університету  
"Харківський політехнічний інститут" (протокол від 5 липня 2019 року № 7).*

*Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 22522-12422Р від 13.01.2017 р.*

**Харків • 2019**

## Редакційна колегія

### Головний редактор:

СОКОЛ Євген Іванович  
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*).

### Заступник головного редактора:

СЕМЕНОВ Сергій Геннадійович  
(*д-р техн. наук, ст. наук. співр., Харків, Україна*).

### Члени редакційної колегії:

БАЙРАМОВ Азад Агахар огли  
(*д-р фіз.-мат. наук, проф., Баку, Азербайджан*);

ГНАТЮК Сергій Олександрович  
(*д-р техн. наук, доц., Київ, Україна*);

ЗАЙЦЕВА Єлена  
(*д-р наук, проф., Жиліна, Словаччина*);

КАРПІНСЬКИЙ Микола Петрович  
(*д-р техн. наук, проф., Бельсько-Бяла, Польща*);

КОВАЛЕНКО Андрій Анатолійович  
(*д-р техн. наук, доц., Харків, Україна*);

КОСТЕНКО Павло Юрійович  
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);

КУЧУК Георгій Анатолійович  
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);

ЛИТВІН Василь Володимирович  
(*д-р техн. наук, проф., Львів, Україна*);

ЛУКІН Володимир Васильович  
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);

МАМУЗІЧ Ілля  
(*д-р техн. наук, проф., Загреб, Хорватія*);

МИГУЩЕНКО Руслан Павлович  
(*д-р техн. наук, доц., Харків, Україна*);

МОХАММЕД Амін Саліх  
(*д-р наук, доц., Ербіль, Ірак*);

ПОВОРОЗНЮК Анатолій Іванович  
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);

РАСКІН Лев Григорович  
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);

РАДЕВ Христо Кирилов  
(*д-р техн. наук, проф., Софія, Болгарія*);

САРАВАНА Балаїї Б.  
(*PhD, доц., Ербіль, Ірак*);

СЕРКОВ Олександр Анатолійович  
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);

СМІРНОВ Олексій Анатолійович  
(*д-р техн. наук, проф., Кропивницький, Україна*);

СТАНКУНАС Йонас  
(*д-р техн. наук, проф., Вільнюс, Литва*);

СУЧКОВ Григорій Михайлович  
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);

ФІЛАТОВА Ганна Євгенівна  
(*д-р техн. наук, доц., Харків, Україна*);

ШВАЧИЧ Геннадій Григорович  
(*д-р техн. наук, проф., Дніпро, Україна*).

### Відповідальний секретар:

ПОДОРОЖНЯК Андрій Олексійович  
(*канд. техн. наук, доц., Харків, Україна*).

### Технічний секретар:

ГРЕБЕНІУК Дарина Сергіївна.

## Editorial board

### Editor-in-Chief:

Yevgen SOKOL  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine).

### Associate editor:

Serhii SEMENOV  
(Dr. Sc. (Tech.), Senior Res., Kharkiv, Ukraine).

### Editorial board members:

Azad Agalar oğlu BAYRAMOV  
(Dr. Sc. (Ph-Math.), Prof., Baku, Azerbaijan);

Sergiy GNATYUK  
(Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kyiv, Ukraine);

Elena ZAITSEVA  
(Dr. (Comp. Eng.), Prof., Zilina, Slovakia);

Mikolay KARPINSKI  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Bielsko-Biala, Poland);

Andriy KOVALENKO  
(Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kharkiv, Ukraine);

Pavlo KOSTENKO  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);

Heorhii KUCHUK  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);

Vasyl LYTVYN  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Lviv, Ukraine);

Volodymyr LUKIN  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);

Ilya MAMUZIĆ  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Zagreb, Croatia);

Ruslan MYGUSHCHENKO  
(Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kharkiv, Ukraine);

Amin Salih MOHAMMED  
(Dr. (Comp. Eng.), Ass. Prof., Erbil, Iraq);

Anatoliy POVOROZNYUK  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);

Lev RASKIN  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);

Hristo RADEV  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Sofia, Bulgaria);

Balasubramanian SARAVANA BALAJI  
(PhD (Comp. Eng.), Ass. Prof., Erbil, Iraq);

Oleksandr SERKOV  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);

Alexey SMIRNOV  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kropyvnytskyi, Ukraine);

Jonas STONKUNAS  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Vilnius, Lithuania);

Hryhorii SUCHKOV  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);

Hanna FILATOVA  
(Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kharkiv, Ukraine);

Hennadii SHVACHICH  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Dnipro, Ukraine).

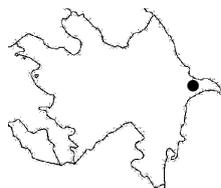
### Responsible secretary:

Andrii PODOROZHNIAK  
(Ph.D., Ass. Prof., Kharkiv, Ukraine).

### Technical secretary

Daryna HREBENIUK.

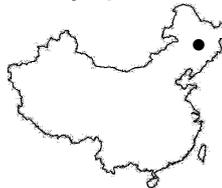
## Географія статей номера



Азербайджан  
Azerbaijan



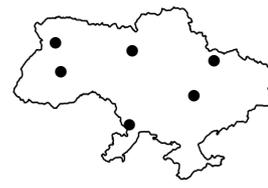
Ірак  
Iraq



Китай  
China



Польща  
Poland



Україна  
Ukraine

## З М І С Т

### ПРОБЛЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

<i>Мандрикова Л. В., Постернакова В. А., Красовська І. Г., Симонович Т. С.</i> Аналіз ризиків експлуатації медичних експертних систем (eng.) .....	5
--	---

### МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

<i>Насібов Я. А., Байрамов А. А., Сабзієв Е. Н., Гашимов Е. Г.</i> Моделювання раціонального розташування систем спостереження (eng.) .....	10
---	----

### МЕТОДИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ

<i>Герман Е. Є., Шутинський О. Г., Лисаченко І. Г., Демєнкова С. Д.</i> Оптимальний нечіткий регулятор в системі управління карбонізації у содовому виробництві .....	14
<i>Серков О. А., Пустовойтов П. Є., Яковенко І. В., Лазуренко Б. О., Чурюмов Г. І., Токарєв В. В., Ванг Наннан</i> Надширокопосмугові технології в системах управління мобільними об'єктами (eng.) .....	22

### МЕТОДИ СИНТЕЗУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

<i>Гордійчук В. В.</i> Методика вибору раціональних значень параметрів радіостанцій з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти на основі таймерних сигнальних конструкцій в умовах впливу навмисних завад .....	28
<i>Співак І. Я., Крепич С. Я., Горішний В. І.</i> Організація cloud-архітектури для систем забезпечення функціональної придатності статичних систем .....	35
<i>Хижняк І. А.</i> Прикладна інформаційна технологія тематичного сегментування оптико-електронних зображень з бортових систем дистанційного зондування Землі (eng.) .....	40
<i>Чалий С. Ф., Лециньський В. О., Лециньська І. О.</i> Побудова пояснень в рекомендаційних системах за принципом чорного ящика (eng.) .....	47

### ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

<i>Дубницький В. Ю., Зубрицька Г. Г., Ходырев А. И.</i> Определение индекса Джини с учётом погрешностей выборочных наблюдений .....	52
<i>Морозова О. І.</i> Аналіз використання інформаційних технологій в системах з дуальними процесами (eng.) .....	60
<i>Вартанян В. М., Штейнбрехер Д. О.</i> Комплексний метод оцінки ефективності системи управління знаннями в проектному середовищі (eng.) ..	64
<i>Василюшин В. І., Лютов В. В., Комін Д. С.</i> Підвищення ефективності спектрального аналізу при попередній обробці сигналів методом SSA в умовах порогового відношення сигнал-шум .....	69

## TABLE OF CONTENTS

### PROBLEMS OF IDENTIFICATION IN INFORMATION SYSTEMS

<i>Mandrikova L., Posternakova V., Krasovska I., Symovych T.</i> Analysis of the risk of operation of medical expert systems .....	5
--	---

### INFORMATION SYSTEMS MODELING

<i>Nasibov Y. A., Bayramov A. A., Sabziev E. N., Hashimov E. G.</i> Modelling of the rationally deployment of observing systems .....	10
---	----

### ADAPTIVE CONTROL METHODS

<i>German E., Shutinskyi O., Lysachenko I., Demenkova S.</i> Optimal fuzzy controller in the carbonization control system at the soda production (ukr.) .....	14
<i>Serkov A., Pustovoitov P., Yakovenko I., Lazurenko B., Churyumov G., Tokariev V., Nannan W.</i> Ultra wideband technologies in mobile object management systems.....	22

### METHODS OF INFORMATION SYSTEMS SYNTHESIS

<i>Hordiichuk V.</i> Method of selection of rational dimensions of parameters of radio stations with the frequency hopping spread spectrum and the basis of timer signal constructions in the conditions of the intentional interference (ukr.) .....	28
<i>Spivak I., Krepych S., Horishni V.</i> Cloud-architecture organization for systems of provision of functional suitability of static systems (ukr.) .....	35
<i>Khizhnyak I.</i> Applied information technology of thematic segmentation of optical-electronic images from on-board systems of remote sensing of the Earth .....	40
<i>Chalyi S., Leshchynskyi V., Leshchynska I.</i> Designing explanations in the recommender systems based on the principle of a black box .....	47

### INFORMATION SYSTEMS RESEARCH

<i>Dubnitskiy V., Zubrytska H., Khodyrev A.</i> Determination of Gini index with considering the error of selected observations (rus.) .....	52
<i>Morozova O.</i> Analysis of using information technologies in systems with dual processes .....	60
<i>Vartanyan V., Shteinbrekher D.</i> Complex method of the knowledge management efficiency evaluation in the project environment .....	64
<i>Vasylyshyn V., Lyutov V., Komin D.</i> Improving the performance of spectral analysis with preliminary signal processing by SSA method in the conditions of threshold signal-to-noise ratio (ukr.) ...	69

<b>МЕТОДИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ</b>	<b>METHODS OF INFORMATION SYSTEMS PROTECTION</b>
<i>Євсєєв С. П., Шматко О. В., Ромащенко Н.</i> Алгоритм оцінювання ступеня ризику інформаційної безпеки, що базується на нечітко-множинному підході (eng.) ..... 73	<i>Yevseiev S., Shmatko O., Romashchenko N.</i> Algorithm of information security risk assessment based on fuzzy-multiple approach ..... 73
<i>Калантаєвська С. В., Малик О. С., Тюрніков М. М., Жук П. В., Шишацький А. В., Пікуль Р. В.</i> Обґрунтування шляхів розвитку засобів радіоелектронної боротьби (eng.) ..... 80	<i>Kalantaievska S., Malyk O., Tiurnikov M., Zhuk P., Shyshatskyi A., Pikul R.</i> Foundation the ways of radio electronic warfare devices development ..... 80
<i>Мохаммед А. С., Саравана В. В., Мавлуд Х. Ф.</i> Концептуальний аналіз систем розпізнавання райдужної оболонки ока (eng.) ..... 86	<i>Amin Salih Mohammed, Saravana Balaji B., Hiwa Abdulkarim Mawlood</i> Conceptual analysis of Iris Recognition Systems ..... 86
<i>Сидоренко В. М., Поліщук Ю. Я., Гнатюк С. О.</i> Формування переліку критичних авіаційних інформаційних систем в умовах реалізації кіберзагроз ..... 91	<i>Sydorenko V., Polishchuk Yu., Gnatyuk S.</i> Formation of the list of critical aviation information systems in the context of the cyber threats activities (ukr.) ..... 91
<b>ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ</b>	<b>APPLIED PROBLEMS OF INFORMATION SYSTEMS OPERATION</b>
<i>Артеменко А. М., Струцінський О. В., Лукашук О. В., Бєсова О. В.</i> Особливості локації вертольотів у приморських районах (eng.) ..... 99	<i>Artemenko A., Strutsinskiy O., Lukashuk O., Biesova O.</i> Features locations helicopter in coastal areas ..... 99
<i>Берднік П. Г.</i> Білінгвальний підхід до іноземної навчання іноземних студентів у Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна (eng.) ..... 104	<i>Berdnik P.</i> Bilingual approach to foreign students math teaching in the Kharkiv National University named after V.N. Karazin ..... 104
<i>Князєв В. В., Серков О. А., Бреславець В. С., Яковенко І. В.</i> Електромагнітна сумісність напівпровідникових приладів в умовах перехідного випромінювання (eng.) 109	<i>Knyazev V., Serkov A., Breslavets V., Yakovenko I.</i> Electromagnetic compatibility of semiconductor devices exposed to transition radiation ..... 109
<i>Кучук Н. Г., Гавриленко С. Ю., Лукова-Чуйко Н. В., Собчук В. В.</i> Перерозподіл інформаційних потоків в гіперконвергентній системі ..... 116	<i>Kuchuk N., Gavrylenko S., Lukova-Chuiko N., Sobchuk V.</i> Redistribution of information flows in a hyperconvergent system (ukr.) ..... 116
<i>Радомська М. М., Карташ Ю. Г.</i> Порівняльний аналіз еколого-економічної ефективності модернізації громадського транспорту міста Києва (eng.) ..... 122	<i>Radomska M., Kartash Yu.</i> The comparative analysis of the environmental and economic efficiency of the Kyiv city public transport modernization ..... 122
<i>Свергунова Ю. О., Штомпель М. А., Лисечко В. П., Ковтун І. В.</i> Квазіортогональний частотний доступ на піднесних частотах (eng.) ..... 127	<i>Sverhunova Yu., Shtompel M., Lysechko V., Kovtun I.</i> Quasiorthogonal frequency access on subcarrier frequencies ..... 127
<b>Алфавітний покажчик</b> ..... 132	<b>Alphabetical index</b> ..... 132



За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор.  
Включений до "Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати  
дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук"  
наказом Міністерства освіти і науки України від 04.04.2018 № 326 (додаток 9, п. 56);  
до категорії Б – наказом Міністерства освіти і науки України від 07.05.2019 № 612 (додаток 7, п. 33)

# Problems of identification in information systems

UDC 621.391.8

doi: 10.20998/2522-9052.2019.2.01

L. Mandrikova<sup>1</sup>, V. Posternakova<sup>1</sup>, I. Krasovska<sup>2</sup>, T. Symovych<sup>1</sup><sup>1</sup>National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine<sup>2</sup>Telecommunications and Global Informative Space Institute, Kyiv, Ukraine

## THE ANALYSIS OF MEDICAL EXPERT SYSTEMS' USE RISKS

**Abstract.** In the following paper the characteristics of medical information computer systems are presented. There were separated out medical expert systems as having significant features. Actual medical expert systems are considered as critical ones, especially sensitive to the occurrence of risks and risk situations. In general, there are common approaches to risk analysis in the development and operation of software. In this work, the classification of risks in accordance with selected methodologies associated with information support, or automation of the diagnostic process is presented. The abovementioned systems are complex software and computer combinations. When creating such complexes, a large number of risks arise, which in turn can cause abnormal situations that, first of all, can lead to serious consequences. Therefore, the identification and qualification of risks in advance, according to existing risk classifications, can prevent such extraordinary situations. To create such risk-qualifying systems, certain databases have been developed that are founded on studies conducted by a large number of people. In turn, we need to use the work of a large number of specialists to create the necessary knowledge base. Among the chosen risks classification systems, the MSF systemizing was selected for the following study. In order to realize the comparative characteristics of the known MES, the method of inconstant (variant) networks was used based on the selected classification. According to this method, each system was evaluated. Based on the analysis of several methodologies, it has been determined that the use of the MSF methodology is most appropriate when it comes to medical expert systems. The most significant risks that arise during the operation of such systems are identified. When analyzing each risk, the probability of its occurrence is determined and the consequences of its implementation are taken into account. In the abovementioned MES we have taken into account the risks associated with the operation, interface and user qualification. The selected classification has a large number of risk categories that are relevant to the various stages of the product life cycle, and it makes it possible to identify, classify and deal with the risks arising from the operation of the MES.

**Keywords:** critical software; risk analysis; medical expert systems; MES classification methods; risk classification according to MSF.

### Introduction

Medical expert systems (MES) can be categorized as critical software systems and therefore have many features that require consideration of the risks involved in their development and operation. The main feature of MES is that refusal or extra-ordinary functioning of such systems can cause a significant damage to health and endanger the life of the patient. Taking into account such essential features, MES during the work with them require considerable attention. Actually not all existing methods and approaches used to reveal, identify, and analyze risks are fully suitable for critical-purpose systems, and therefore for medical expert systems. Anyway, to effectively compare the methods of risk analysis, it is necessary to involve a wide range of sources related to the development and use of software, namely, expert systems in medicine.

In order to carry out an analysis of operational risks with regard to MES, it is necessary to determine the requirements for their characteristics and assess the impact of possible damage from their violation. As a result of this analysis, it is necessary to create a plan for measuring and tracking risks in the life cycle of the MES, especially in the phase of operation. The main objective of risk management is the detection, identification and control of situations and factors that lead to negative consequences. It should be noted that the most significant aftereffects are precisely the MES exploitation risks,

since they are directly related to the possible harm to human health. Therefore, it is necessary to carry out the analysis of risks under various conditions, differing in their sources and the reasons of the risks threat appearance, the probability degree of their emergence from a large number of possible, in the severity of the consequences. In conducting the analysis and risk management, it is necessary first of all to identify the most characteristic ones (for the certain type of software) that is the object of the study, in our case it is the MES. Thus, the problem of qualitative and quantitative analysis of the MES operation risks is relevant, because it will enable the functioning of this type of software systems without failures and extraordinary situations.

The article is devoted to the problem of carrying out qualitative analysis of operational risks, which will allow us to choose a method of risks classification. The result is a list of software exploitation risks that need to be identified, analyzed and evaluated in a timely manner when using MES in medical practice.

*The purpose of the paper* is to analyze existing risk classifications and to select the one that will be used to detect, identify and eliminate risks arising from the operation of the MES.

### The problem formulation

To effectively solve this problem we need: to define the concept, to consider the purpose and classification of the MES; to examine the methodologies for the

classification of software operation risks; to characterize the MES operation risks; to analyze the existing types of software use risks and choose their classification, which most of all correspond exactly to the risks of the MES exploiting.

**Medical information computer systems, their definition and classification**

It should be noted that the important kind of medical information systems are medical computer systems (MCS). [4]. The use of software in medical practice allows us to create effective means for providing the automated getting all the necessary information of the person's health, its processing in real time and management of the patient's condition [2].

MCS intended for information support or automation of the diagnostic process. They are actually complex computer software combinations.

MCS can and should be classified according to their functionality and purpose. Expert systems belong to a class of artificial intelligence complexes that contain a knowledge base with a set of heuristic algorithms. The most important areas of the consulting and diagnostic systems use are urgent and life-threatening conditions characterized by time shortage, limited possibilities of examination and counseling, and often by low clinical symptoms with a high level of threat to the patient's life and rapid rate of the process' development [6].

The experience of consulting and diagnostic systems' use demonstrates a significant improvement in the quality of diagnosis, which not only reduces unjustified losses, but also allows to specialists more efficient use of health care resources, to regulate the volume of necessary research and, finally, to increase qualification level of the doctor, for which such a system undoubtedly serves also as an educational one [5].

Among computer expert systems, the medical expert systems (MES) occupy a prominent place. The main purpose of MES is to establish a diagnosis. Diagnosis is a process of phased information entry into the "doctor-patient" system, the purpose of which is to create the most adequate model of the patient's body state [1]. In cases of difficult diagnostic solutions, medical expert systems give physicians the opportunity to automatically check their own diagnostic assumptions, or to consult a computer for advice.

In the narrow sense the medical information system is a complex combination of technical and mathematical support that is intended directly for the collection and analysis of medical and biological information, as well as for the delivery of results in a user-friendly form. Thus, the following definition can be allotted: the medical information system is a software and hardware complex that prepares and provides the processes of collecting, storing and handling information in medicine and healthcare branch (Fig. 1) [2].

Anyway, medical computer systems are an important kind of medical information systems. The use of software in medical practice allows us to create

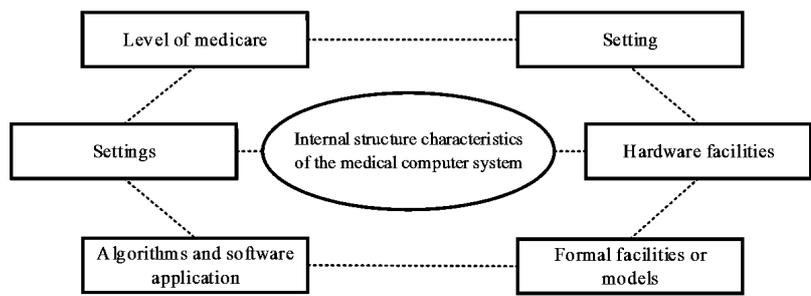


Fig. 1. The internal structure of the medical computer system

effective tools for automated collection of information about the person's body condition, its real time processing and patient's health status management.

The main purpose of medical computer systems is the information support or automation of the diagnostic process. They represent compound software-computer complexes. The peculiarity of mentioned complexes is the formation of databases founded on the large number of people observation; and the creation of a knowledge database requires the highly skilled professionals' participation. And it should be specialists in a particular medical field.

The main risk of medical expert systems is a situation that can lead to the recognition of a healthy person ill or, even worse, a sick person as a healthy one. To avoid this, especially in systems designed to automate the diagnostic process, statistic indicators such as: sensitivity (true positive proportion) and specificity (true negative proportion) were specially calculated. In this regard, medical computer systems must undergo thorough and lengthy testing to analyze all possible risks.

Medical computer systems can be classified according to their functional capabilities and their purpose as well (Fig. 2) [3].

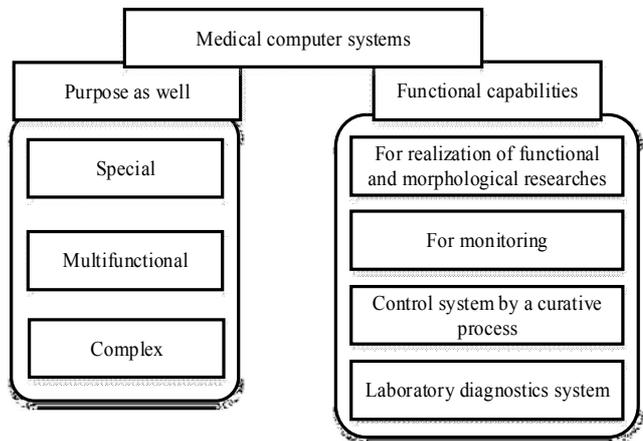


Fig. 2. The MCS classification

**Medical expert systems**

The key point of the entire diagnostic-medical process is to establish a diagnosis. Complex processes of comprehension and comparison of a large factors number of factors by the doctor are the basis of traditional diagnostic technology. To establish the diagnosis, one should make a general patient survey, clinical and biochemical tests, then compare all the data with the standards of the selected MES and note the risks that may interfere with the diagnosis of the patient.

Diagnosis is a process of phased information processing in the “doctor-patient” system, the purpose of which is to create the most adequate model of the patient's body state. The diagnostic process can be divided into four related phases: collecting information about the patient's health condition (symptoms' detection); the most significant features selection; conducting analyzes; comparison with the illnesses' symptoms [1].

Expert systems belong to a class of artificial intelligence systems that contain a knowledge base with a set of heuristic algorithms. The most important areas of consulting and diagnostic systems' application are urgent and life-threatening conditions characterized by time deficiencies, limited possibilities of examination and counseling and, often, by low clinical symptoms with a high level of threat to the sick person's life and the rapid pace of the process' development at the same time. The experience of using medical advisory and diagnostic systems proves a significant increase in the quality of diagnosis, which not only reduces the losses, but also allows to more effectively apply the resources of health care, regulate the volume of necessary research, and finally, to increase the level of illnesses' diagnostics by doctors [4].

Among the diagnostic types of MES most well-known systems are: “Home Doctor” [5], “Chronos Expert” [5], DIOGEN SYSTEM [6], System for the diagnosis of urgent conditions in children DIN [6].

MES “Home Doctor”(in Ukrainian “Domashniy Likar”) is a simple medical expert system. It is intended only for the initial determination of the disease nature, when it is not yet possible to consult a specialist. At the earliest possible opportunity, one should consult a doctor, regardless of the diagnosis posed by the system.

The hypothesis window is always in working order, that is, after each response, the system changes its assumption about your illness. The results should be taken into account only after answering all the suggested questions.

### Substantiation of risks classification choice associated with the MES operation

In the MES, considered in this paper, the risks relating to the functioning, interface and qualifications of the user, that is, the physician who works with the system should be taken into account. Paying a certain attention to the risks it is necessary to choose the classification of well-known methodologies for their estimation. The used classification is based on: MSF; studies by Shafer D., Fatrell R., Shafer L.; Barry Boehm's methodology. In the work carried out by Shafer D., Fatrell R., Shafer L. [7], the risks of software projects are proposed to be divided into twelve categories, each of which contains factors, risks and criteria for their evaluation. The list of categories is as follows:

- tasks and goals factors;
- factors related to the organization management;
- customer related factors;
- factors of budget/payments;
- schedule related factors;
- contain of the project;
- factors which effect the project's completing;

- factors related to the project's control;
- factors which effect the project's development;
- development medium factors;
- factors related to the staff;
- factors related to supporting.

Barry Boehm [8, 9] proposed the list containing ten the most wide-spread risks related to the program project:

- shortage of specialists;
- unrealistic terms and financial means;
- implementation of inappropriate functionality;
- wrong interface development;
- unnecessary optimization, dwelling on details;
- incorrect flow of changes;
- insufficient information about external components that determine the environment of the system or involved in its integration;
- deficiencies in the work performed by external (in relation to the project) resources;
- insufficient productivity of the received system;
- “gaps” in qualifications of specialists in various branches of knowledge.

The classification of risks within the MSF divides all sources of risks into four classes that contain the corresponding elements (Table 1) [10].

Table 1 – Classification of risks within MSF

People	Technologies
Customers	Security
End users	Development and testing environment
Sponsors	Toolkit
Interested parties	Introduction
Staff	Conduct
Institution	Operating environment
Professional skills	Accessibility
Policy	External conditions
Morality	Legal base
Process	Industrial specifications
Goals and tasks	Competition
Decision-making	Economy conditions
Project characteristics	Technologies
Budget, expenses, terms	Business conditions
Requirements	Safety (security)
Designing	Development and testing environment
Realization (fulfillment)	Toolkit
Testing	Introduction

In order to compare the classifications, we use the method of variant(alternative) networks. According to the method, it is necessary to distinguish the evaluation criteria and indicate their degree of importance. The results of the variant networks method are presented in Table 2. We evaluate the following criteria on a five-point scale: the number of risks categories (a); the prevalence of the methodology (b); the versatility (c). Actually, for each criterion the importance is indicated in the following way: very important (5); important (4); rather important (3). In fact, Barry Boehm's risk classification is not perfect for risks analysis in MES, since it has the smallest number of categories from the above classifications.

**Table 2 – The results of the variant(alternative) networks method**

Characteristics	1a(5)	2b(4)	3b(3)	Total
Classification				
MSF	5	5	4	57
By Shafer D., Fatrell R., Shafer L.	3	3	4	38
By Barry Boehm	2	3	4	34

As a matter of fact, classification by Shafer D., Fatrell R., Shafer L. has more risk categories than the previous one. But in spite of this, it is more appropriate for risk analysis at the development stage of the MES, but not during the process of operation. Also, this classification isn't widespread. Anyway, after conducting an assessment of risk classifications using the method of variant (alternative) networks, it can be concluded that the classification of MSF risks has a significant basis for identifying MES risks during the operation phase. Namely, a large number of risk categories, among which there are many categories that relate to different stages of the software product's life cycle. MSF is also the most widespread system that allows you to find a lot of information about the methodology.

Actually, the classification of MSF risks detects the risks associated with the operation of the MES. The consequences of risks implementation are also taken

into account, each risk has a priority: high (1), medium (2), low (3). Risks according to MSF classification:

- project's functionality (1) - failure or incorrect operation of system's separate functions.
- user's interface (3) - The interface does not meet the basic requirements, such as simplicity, usability and functionality.
- inadequate knowledge base (1) – Insufficient amount of information about specific illnesses in the knowledge base, or complete absence of data about the disease.
- user's experience (3) – inadequate qualification or inattention of a specialist who works with a system.
- system's failure (2) – the possibility of information loss after the failure of system's individual modules or total collapse of the system.
- system support (2) – No developer help if necessary.

Anyway, based on the classification, MSF detects the following risks in the MES that were considered during the study (Table 3). These risks are significant when it comes to the work of the MES. It is proved that timely detection of these risks can minimize or completely prevent the occurrence of emergency cases in MES operation. This suggests a more effective diagnosis of diseases, and, consequently, more effective treatment of patients.

**Table 3 – The significant risks in medical expert systems**

№	MES	Pur-poses	MES specialization	The significant risks in MES by means of MSF
1	“Chronos Expert”	Diagnostics	Predicting the periods of exacerbation and remission in pathological status	project's functionality; inadequate knowledge base ; system failure; system support;
2	“Home Doctor”		The initial definition of the disease nature	project's functionality; user's interface; inadequate knowledge base; system failure; system support;
3	MES Of differential diagnostics		Help to the physician in identifying a patient's diagnosis with symptoms and disease history	project's functionality; staff experience; inadequate knowledge base; system failure; system support;
4	MES DIOGEN		Diagnosis of hereditary diseases	project's functionality; inadequate knowledge base; system failure; system support;
5	MES DIN		Recognition the child's current condition during critical status in terms of one or more syndromes	project's functionality; staff experience; inadequate knowledge base; system failure; system support;

**Conclusion**

Thus, in the above-mentioned study, a qualitative analysis of the risks arising during the MES operation was carried out. For this purpose, first of all the concept of MES was defined and their main characteristics were also given, as well as examples of really functioning MES. In our paper the most common risk analysis methodologies were selected and reviewed: MSF; by Shafer D., Fatrell R., Shafer L.; Barry Boehm's methodology.

Thus, as a result of the comparative analysis, the most appropriate MSF classification was selected. The performed study showed that on the basis of MSF

classification, risks in the MES are identified and their priority is determined.

It should be noted, that among the most important risks of MES exploitation, one can distinguish the functionality of the project, the experience of the personnel that uses them, the inadequate completeness of the knowledge base and also possible failures of the MES. Actually, it is very important to implement constant and timely maintenance of the system. This enables to non-stop replenish the knowledge base, if necessary. It should also be emphasized that in order to ensure system's reliability, it is quite necessary to add the mechanism of self-education in the MES to its functional.

REFERENCES

1. Bulakh, I., Lyakh, Yu., Martsenyuk, V. and Haimzon I. (2008), *Medical Informatics*, UMTC "UkrmedkNig", Ternopil, 316 p.
2. *Risk management. Cosmic conditions*. GOST R ISO 17666-2006 (approved of 29.06.2006, No. 126-ST).
3. Vitlinskyi V.V. and Nakonechnyi S.I. (1996), *Risk at Management*, Borisfen-M Limited, Kyiv, 326 p.

4. *Guide to Software Engineering Knowledge Base (SWEBOK)* (2004), IEEE Computer Society, 200 p.
5. *Medical expert systems* (2018), available at: <http://ilab.xmedtest.net/?q=node/5558>.
6. *Medical expert systems* (2018), available at: <http://pandia.ru/text/78/371/10.php>.
7. Fatrell, R.T., Schafer, D.F. and Schafer L.I. (2003), *Managing programmer projects: achieving optimal quality at minimum costs*, Williams, Moscow, 1136 p.
8. Barry, W. Boehm (1988), A Spiral Model of Software Development and Enhancement, Computer, Vol. 21, Is. 5, pp. 61–72, DOI: <https://doi.org/10.1109/2.59>
9. Barry, W. Boehm (1989), *Software risk management*, IEEE Computer Society Press, 496 p.
10. *Discipline of risks management* (2019), available at: <https://www.academia.edu/11613241>.

Надійшла (received) 23.04.2019

Прийнята до друку (accepted for publication) 19.06.2019

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Мандрікова Людмила Василівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна\$

**Ludmila Mandrikova** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Software Engineering Department, National Aerospace University “KhAI”, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [lmandrikova@khai.edu](mailto:lmandrikova@khai.edu); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1781-1662>

**Постернакова Вероніка Альбертівна** – старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення, Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;

**Veronika Posternakova** – Senior teacher of Software Engineering Department, National Aerospace University “KhAI”, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [posternakova.v@gmail.com](mailto:posternakova.v@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4008-6956>

**Красовська Інеса Григорівна** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України, Київ, Україна;

**Inessa Krasovska** – Candidate of Technical Sciences, Senior staff scientist of Telecommunications and Global Informative Space Institute National Academy of Science, Kyiv, Ukraine;

e-mail: [ines75@ukr.net](mailto:ines75@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6280-4205>

**Симович Тетяна Станіславівна** – асистент кафедри іноземних мов Національного аерокосмічного університету імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;

**Tetyana Symovych** – Assistant of Foreign Language Department, National Aerospace University “KhAI”, Kharkiv, Ukraine; e-mail: [simovictatana@gmail.com](mailto:simovictatana@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7049-2210>

#### Аналіз ризиків експлуатації медичних експертних систем

Л. В. Мандрікова, В. А. Постернакова, І. Г. Красовська, Т. С. Симович

**Анотація.** Наведено характеристику медичних інформаційних і комп'ютерних систем. Окремо розглядаються медичні експертні системи як системи, що мають суттєві особливості, які пов'язані з діагностикою захворювань та підтримкою прийняття рішень щодо встановлення діагнозу пацієнту. Розглянуто актуальні медичні експертні системи як системи критичного призначення, особливо чутливі до виникнення ризиків і ризикових ситуацій. Завдання – виявити, ідентифікувати та ефективно боротись з наслідками ризиків, які можуть негативно вплинути на прийняття рішень при встановленні діагнозу. Наведено поширені підходи до аналізу ризиків при розробці і під час роботи програмного забезпечення. Наведені класифікації ризиків згідно відібраних методологій. Серед обраних класифікацій здійснено порівняльну характеристику класифікаційних ознак опрацювання цих систем. Для порівняння ризиків кожної з розглянутих медичних експертних систем та вилучення наслідків помилок в медичних експертних системах використано метод варіантних мереж. Відповідно до цього методу виконано оцінювання кожної системи, що наведено в статті. На основі аналізу методологій розробки медичних експертних систем визначено, що класифікацію ризиків за методологією MSF доцільно використовувати саме для медичних експертних систем.

**Ключові слова:** критичне ПЗ; аналіз ризиків; медичні експертні системи; методи класифікації МЕС; класифікація ризиків по MSF.

#### Анализ рисков эксплуатации медицинских экспертных систем

Л. В. Мандрикова, В. А. Постернакова, И. Г. Красовская, Т. С. Симович

**Аннотация.** Приведена характеристика медицинских информационных и компьютерных систем. Отдельно рассматриваются медицинские экспертные системы как системы, имеющие существенные особенности, связанные с диагностикой заболеваний и поддержкой принятия решений по установлению диагноза пациенту. Рассмотрены актуальные медицинские экспертные системы как системы критического назначения, особенно чувствительные к возникновению рисков и ризиковых ситуаций. Задача - выявить, идентифицировать и эффективно бороться с последствиями рисков, которые могут негативно повлиять на принятие решений при установлении диагноза. Приведены распространенные подходы к анализу рисков при разработке и во время работы программного обеспечения. Приведенные классификации рисков по отобраным методологиям. Среди отобранных классификаций проведена сравнительная характеристика классификационных признаков обработки этих систем. Для сравнения рисков каждой из рассмотренных медицинских экспертных систем и извлечения последствий ошибок в медицинских экспертных системах использован метод вариантных сетей. Согласно этому методу выполнено оценивание каждой системы, приведенной в статье. На основе анализа методологий разработки медицинских экспертных систем определено, что классификацию рисков по методологии MSF целесообразно использовать именно для медицинских экспертных систем.

**Ключевые слова:** критическое ПО; анализ рисков; медицинские экспертные системы; методы классификации МЭС; классификация рисков по MSF.

# Information systems modeling

UDC 519.633.2

doi: 10.20998/2522-9052.2019.2.02

Y. A. Nasibov<sup>1</sup>, A. A. Bayramov<sup>2</sup>, E. N. Sabziev<sup>3</sup>, E. G. Hashimov<sup>2</sup><sup>1</sup> Institute of Geography of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan<sup>2</sup> War College of Armed Forces of the Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan<sup>3</sup> Institute of Control Systems of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

## MODELLING OF THE RATIONALLY DEPLOYMENT OF OBSERVING SYSTEMS

**Abstract.** The various types of electron-optical supervisory control systems (SCS) have been used in Armed Forces of many advanced countries. The mission of these SCS is to supervise day and night enemy troops, technics and weapon systems, frontier intruders with high precision a great and middle distance. The SCS optimal deployment in mountainous terrain makes possibility to use rationally SCS number, because SCS has very much costs. Using the rationally SCS number we can reduce a necessity of the specialist number. Also, it accelerates comander's correct decision making. The optimal deployment of SCS on a terrain is one of important task of military reconnaissance. The specific character of such task is that the necessary for continuing surveillance and control military objects can be located in specific zones of terrain (for examples, in canyons, along of river etc.). Accessible places of SCS set are situated on some distance from these zones. The number of SCS is limited; therefore, it is impossible to distribute theirs on the all set points. It is necessary to select such SCS set points that the zone observation range would be the largest. In present paper the mathematical model of the rationally deployment of technical observing systems in mountainous terrain has been developed and offered. The determination method of visibility level between selected terrain points has been developed. The assesment criterion of rationally deployment and the algorithm of fast solution have been offered.

**Keywords:** technical observing systems; mountainous terrain; rationally deployment; mathematical model.

### Introduction

Nowdays, the various types of electron-optical supervisory control systems (SCS) have been used in Armed Forces of many advanced countries. With goal of optimal (rationally) SCS deployment in mountainous terrain by using of the digital altitude model of terrain the viewsheld analysis is possible to carry out [1-4]. The correct SCS deployment makes possibilities to take into account during monitoring such dead zones as runways or ravines. The correct SCS's posts selection increases the visible areas and, in the same time, decreases invisible areas and it helps us to eveal and to prevent enemy subversive actions.

The SCS deployment makes possibilities to take into account during monitoring such dead zones as runways or ravines. The correct SCS's posts selection increases the visible areas and, in the same time, decreases invisible areas and it helps us to eveal and to prevent enemy subversive actions. This SCS can be applied in civil goals, too: in war zone for security providing of oil pipeline, header water pipe, road infrastructure. The optimal deployment of SCS on a terrain is one of important task of military reconnaissance. The specific character of such task is that the necessary for continuing surveillance and control objects can be located in specific zones of terrain (for examples, in canyons, along of river etc.). Accessible places of SCS set are situated on some distance from these zones. The number of SCS is limited; therefore, it is impossible to distribute theirs on the all set points. It is necessary to select such SCS set points that the zone observation range would be the largest.

Analysis of rationally SCS deployment in mountainous terrain by using of the digital altitude

model helps to select optimal points on the terrain. The SCS optimal deployment in mountainous terrain makes possibility to use rationally SCS number, because SCS has very much costs. Using the rationally SCS number we can reduce a necessity of the specialist number. Also, it accelerates comander's correct decision making. The SCS deployment makes possibilities to take into account during monitoring such dead zones as runways or ravines. The correct SCS's posts selection increases the visible areas and, in the same time, decreases invisible areas. The correct post's points and rational number deployment help to observe and to detect many targets and movements on the terrain. Also, it helps us to eveal and to prevent enemy subversive actions.

In present paper the mathematical model of the rationally deployment of technical observing systems in mountainous terrain has been developed and offered. The determination method of visibility level between selected terrain points has been developed. The assesment criterion of rationally deployment and the algorithm of fast solution have been offered.

### Some definitions

For analysis, let us use the 3D digital vector model of the terrain relief. There is Digital Terrain Elevation Data (DTED) file in Fig. 1. We can see that this file has the values of elevations of the relief set in points of regular grid.

There are four neighbours around of each relief's points. For example, the points with knot's number of  $(i - 1, j)$ ,  $(i + 1, j)$ ,  $(i, j - 1)$  and  $(i, j + 1)$  are neighbours for point with knot's number of  $(i, j)$ . Let us denote the height of relief in knot of  $(i, j)$  by  $h(i, j)$ . It is obvious, we can take such  $0xyz$  coordinate system that  $\{(i, j), (i \pm 1, j), (i, j \pm 1), \dots\}$  knots set is located parallel to  $0x$

axis for each  $j$ , and  $\{(i, j), (i, j \pm 1), (i, j \pm 2), \dots\}$  knots set is located parallel to  $Oy$  axis for each  $i$ , and  $h(i, j)$  elevations are indicated along  $Oz$  axis. The  $Oxy$  plane included  $h(i, j) = 0$  points, and let us call it as basic plane.

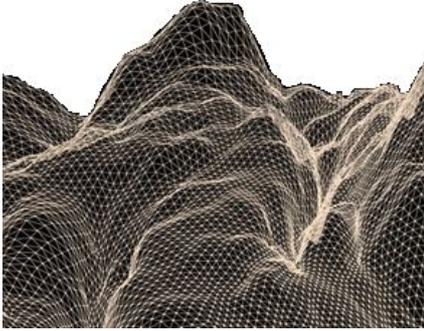


Fig. 1. 3D digital vector model of the terrain's relief

Neighbour's points are connected by straight lines, and in result, the 3D digital vector model of relief of the terrain is generated. These segments are called relief lines and their projections on side plane are called edges. All these edges can be divided on two classes. Let us consider if the first numbers of connected  $(i, j)$ ,  $(i \pm 1, j)$  knots of some edge are coincide then the this edge belongs to  $P$  class. If the second numbers of connected  $(i, j)$ ,  $(i, j \pm 1)$  knots of some edge are coincide then the this edge belongs to  $M$  class.

Let  $A$  and  $B$  are some knots. Let  $Pr(A, B)$  is the projection of  $AB$  segment on the  $Oxy$  plane. The edges set, the projection of which are crossed on the  $Pr(A, B)$ , is called incidental.

Let us consider that for any  $i, j$  the relief in range of space quadrangle with  $(i, j)$ ,  $(i+1, j)$ ,  $(i+1, j+1)$ ,  $(i, j+1)$  knots has such shape that any two points of its boundary edges can be connected by line not crossed on relief plane. So, we consider that always the knots see each other in range such space quadrangle.

### The task determination

We consider that 3D map of terrain relief is presented in vector form, that is, for considered terrain the  $h(i, j)$  heights are set in  $(i, j)$  knots. Let the necessary be search terrain's zones are known and connected to  $(i, j)$  knots. Let us consider that the possible knots of SCS installation are marked. It is obvious, in the range of each observation place the most suitable observation point can be selected. For example, if the observation of nearest lowland is priority then the observation point can be placed nearer to observed points. However, if the observation of far lowland is priority then the observation point can be placed in highest point, etc. Therefore, we can adopt that observation points set is grouped around of  $N$  separate high-altitude knots. Let they are called initial knots. In real conditions usually  $N \leq 10$ .

It is required to deploy  $n$  ( $n < N$ ) SCS on the terrain that they would provide the maximum observation zone. Not intersection the line segment connecting  $A$  and  $B$  points on the relief plane is condition of visibility  $B$  point from  $A$  point. That is, if  $AB$  segment is placed above all incidental edges then  $A$  point see  $B$  point. The next method for solution this task is offered:

- development of  $\varphi$  procedure for the each other visibility checkup of two given knots;
- by application of  $\varphi$  procedure for each  $A$  knot from the set of possible SCS deployment places to determine the set of visible and invisible points in range of technics possibilities of SCS;
- assessment of visibility level of zone and determination of the most suitable SCS deployment in the set of initial knots;
- improvement of computed solution by variation of knots in the range of group.

### Development of the $\varphi$ procedure

The task of investigation of  $B$  point visibility from  $A$  point can be turn into next subtasks:

- Determination of the incidental edges set;
- Assessment of the spatial deployment of  $AB$  segment and incidental edges.

Let us consider task (I). It is obvious, the incidental edges set can be presented in form of sets sum of incidental edges of  $P$  and  $M$  classes. Let mark these sets in  $\mathcal{M}_p$  and  $\mathcal{M}_m$  and forms. Let  $A$  and  $B$  knots have  $(i_A, j_A, h_A)$  and  $(i_B, j_B, h_B)$  coordinates, respectively, where  $i_A, j_A, i_B, j_B$ , are integer numbers.

Below there is an equation of the line connected  $A$  and  $B$  points on the  $Oxy$  side plane [5, 6]:

$$\frac{y - j_A}{j_B - j_A} = \frac{x - i_A}{i_B - i_A}. \quad (1)$$

The coordinates of knots can be calculated on the base of equation (1). Let assume  $j_A \neq j_B$ . Let  $\Delta_y = 1$ , if  $j_A < j_B$ , and  $\Delta_y = -1$ , if  $j_A > j_B$ . Denote the integer part of

$$x_j = i_A + ((i_B - i_A)/(j_B - j_A)) \cdot (j - j_A), \quad (2)$$

by  $\beta(j)$ . It is gotten from (1) when  $y = j$ . Then  $\mathcal{M}_p$  set will be:

$$\mathcal{M}_p = \left\{ \left[ \left[ \beta(j_A + k\Delta_y), j_A + k\Delta_y \right], \left[ \beta(j_A + k\Delta_y) + 1, j_A + k\Delta_y \right] \right], k = \overline{1, k_y} \right\},$$

here:

$$k_y = (j_B - j_A)/\Delta_y.$$

If  $j_A = j_B$  then  $x_j = i_A$  and  $\mathcal{M}_p$  set will be in form

$$\mathcal{M}_p = \left\{ \left[ \left[ i_A, j_A + k\Delta_y \right], \left[ i_A + 1, j_A + k\Delta_y \right] \right], k = \overline{1, k_y} \right\}.$$

Let assume  $i_A \neq i_B$ . Also, we take  $\Delta_x = 1$ , if  $i_A < i_B$ , and  $\Delta_x = -1$ , if  $i_A > i_B$ . Denote the integer part of

$$y_i = j_A + ((j_B - j_A)/(i_B - i_A)) \cdot (i - i_A), \quad (3)$$

by  $\alpha(i)$ . It is gotten from (1) when  $x = i$ .

Then  $\mathcal{M}_p$  set will be in form:

$$\mathcal{M}_p = \left\{ \left[ \left[ i_A + k\Delta_x, \alpha(i_A + k\Delta_x) \right], \left[ i_A + k\Delta_x, \alpha(i_A + k\Delta_x) + 1 \right] \right], k = \overline{1, k_x} \right\},$$

here

$$k_x = (i_B - i_A)/\Delta_x.$$

If  $i_A = i_B$  then  $y_j = j_A$  and  $\mathcal{M}_M$  set will be in form

$$\mathcal{M}_M = \left\{ \left[ \begin{array}{l} [i_A + k\Delta_x, j_A] \\ [i_A, j_A + 1] \end{array} \right], k = 1, 2, \dots, k_x \right\}.$$

The  $\mathcal{M}$  set of all incidental edges will be a sum of the incidental edges of  $P$  and  $M$  classes, that is  $\mathcal{M} = \mathcal{M}_P \cup \mathcal{M}_M$ . Now, let us consider task (II). First of all, let order elements of  $\mathcal{M}$  set by serially number and dispose from  $A$  to  $B$  knots. Let incidental edges have numbers of  $k = 1, 2, \dots, k_0$ . The coordinates of the crossing points of incidental edges on the (1) line are determined by (2) and (3) equations in dependence on class of its belonging. Let this point has  $(x_0, y_0)$  coordinates. Let denote the knots coordinates of  $k$  incidental edge by  $(x'_k, y'_k)$  and  $(x''_k, y''_k)$  respectively, and appropriate relief points by  $(x'_k, y'_k, h(x'_k, y'_k))$  and  $(x''_k, y''_k, h(x''_k, y''_k))$  respectively. Then, there is an equation of relief's line connecting these knots

$$\frac{x - x'_k}{x''_k - x'_k} = \frac{y - y'_k}{y''_k - y'_k} = \frac{z - h(x'_k, y'_k)}{h(x''_k, y''_k) - h(x'_k, y'_k)}, \quad (4)$$

and there is an equation of line connecting  $A$  and  $B$  peaks

$$\frac{x - i_A}{i_B - i_A} = \frac{y - j_A}{j_B - j_A} = \frac{z - h_A}{h_B - h_A}. \quad (5)$$

In concordance with above described method, there is not a visibility between  $A$  and  $B$  peaks if for some  $k$  the line (4) in range of appropriate incidental edge will be located above the line (5).

Therefore, for clarification of visibility conditions between  $A$  and  $B$  peaks it is necessary to investigate for all  $k$  mutual alignment of these lines in indicated ranges.

Let denote the values of  $z$  calculated in base point  $(x_0, y_0)$  from (4) and (5), respectively, by  $z'_k$  and  $z_l$ . Then, it is obvious, there is not a visibility between  $A$  and  $B$  peaks if for any  $k$  there is  $z'_k > z_l$ . And there is a visibility between  $A$  and  $B$  peaks if for all  $k=1, 2, \dots, k_0$  there is  $z'_k \leq z_l$ .

### The criterion of the zone observability

Let denote the set points of under obligatory observation terrain zones by  $V_0$ .

As stated above, the observation set points will be grouped around separate altitude knots of  $A_m$  ( $m = 1, 2, \dots, N$ ), which are taken as initial knots. Let  $V_m$  are set knots, which can be observed from  $A_m$  knot in the case of ideal flat relief, the ranges of which only are

depended on technical characteristics of observation devices.

By use  $\varphi$  procedure for each initial knot of  $A_m$  we will get  $U_m \subseteq V_m$  sets.

The various tasks are set when devices are placed. Let consider two examples of these tasks.

*Task 1.* To deployment SCS such way that to embrace widest zone observation. In this case, we can take a following functional as the assessment criterion of zone observation range:

$$\mathfrak{Z}(m_1, m_2, \dots, m_n) = mes\left(\bigcup_{m=1}^N V_m / \bigcup_{k=1}^n U_k\right) \rightarrow \min,$$

here:  $m_1, m_2, \dots, m_n$  are serial numbers of taken  $A_m$  sets in number  $n$ ,  $mes(L)$  is a measure of  $L$  set.

As far as, all considered sets are limited and discrete then an operator  $mes(L)$  is a number of elements of appropriate set.

*Task 2.* To deployment SCS such way that to embrace widest zone required observation. In this case, we can take a following functional as the assessment criterion of zone observation range:

$$\mathfrak{Z}(m_1, m_2, \dots, m_n) = mes\left(V_0 \setminus \bigcup_{k=1}^n U_{mk}\right) \rightarrow \min.$$

Thus, first of all, by application of  $\varphi$  procedure all sets included in functional are described. Then, by the method of  $m_1, m_2, \dots, m_n$  exhaustion,  $\mathfrak{Z}$  is calculated and the most suitable is determined. At this time, the number of all various observation devices on the initial peaks can be calculated as in combination  $N$  with  $n$  [7]:

$$C_N^n = N! / ((N - n)! n!),$$

here:  $N$  is a number of initial knots,  $n$  is a number of observation devices. In real case, usually  $N \leq 10$  and  $n = 3$  or  $4$ , therefore, at this stage the total number of calculations is  $\leq 240$ . Further, by varying knots in the range of  $m_1, m_2, \dots, m_n$  groups we can improve obtained solution. It is obvious, that from the point of view of mathematics it is possible to prove that in common case such algorithm not leads to potimal solution. However, in practice such solution is satisfactory. Therefore, this solution is called rationally.

### Conclusion

So, it can be concluded:

- the mathematical model of the rationally deployment of technical observing systems in mountainous terrain has been developed and offered;
- the method of determination of the visibility between peaks points is developed;
- the criterium of assesment of the optimal deployment and the fast algorithm of task solution are offered.

### REFERENCES

1. Nasibov, Y.A. (2014), "Geoinformation system, application areas and benefits", *Herbi Bilik*, 4, pp. 18–26.
2. Sabziev, E.N., Bayramov, A.A. and Nasibov, Y.A. (2018), "Modelling of the rationally deployment of technical observing systems in mountainous terrain", *Proc. of the International Scientific Conference "Modern Problems of Mathematical Modeling, Computational Methods and Information Technologies"*, Rivne, Ukraine, 02–04 March, pp. 20–21.
3. Bayramov, A.A., Hashimov, E.G. and Nasibov, Y.A. (2018), "The supervisory control systems deployment in mountainous terrain", *VIII Int. Conf. "Modern development trends of ICT and control methods"*, Poltava, Ukraine, 26–27 April, pp. 3–4.

4. Nasibov, Y.A. and Bayramov, A.A. (2018), "The mountainous terrain digital elevation model making by GIS using", Abstract book. *EURASIAN GIS 2018 Congress*, 04–07 September, Baku, Azerbaijan. p. 61.
5. Beklemishev, D.V. (1987), *Course of analytic geometry and linear algebra*, Nauka, FIZMAT, Moscow, 320 p.
6. Kanatnikov, A.N. and Krishenko, A.P. (2000), *Analytic geometry*, MSTU after N.E. Bauman, Moscow, 388 p.
7. Erosh, E.L. (2001), *Discrete mathematics. Combinatorics*, SPbGUAP, Saint-Petersburg, 37 p.

Надійшла (received) 22.02.2019

Прийнята до друку (accepted for publication) 24.04.2019

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Насібов Яшар Алі огли** – науковий співробітник, Інститут географії Національної академії наук, Баку, Азербайджан;  
**Yashar Ali Ogly Nasibov** – research fellow, Institute of Geography of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan;

e-mail: [yasharnasibli@yahoo.com](mailto:yasharnasibli@yahoo.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8749-6154>

**Байрамов Азад Агалар огли** – доктор фізико-математичних наук, професор, професор-радник, Військова академія Збройних Сил Азербайджанської Республіки, Баку, Азербайджан;

**Azad Agalar ogli Bayramov** – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Prof. Advisor, War College of Armed Forces of the Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan;

e-mail: [azad.bayramov@yahoo.com](mailto:azad.bayramov@yahoo.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6672-2338>

**Сабзієв Ельхан Наріман оглу** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, Інститут систем управління Національної академії наук Азербайджану, Баку, Азербайджан;

**Elhan Nariman oglu Sabziev** – Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Institute of Control Systems of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan;

e-mail: [elkhan.sabziev@gmail.com](mailto:elkhan.sabziev@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8150-9439>

**Гашимов Ельшан Гіяс огли** – кандидат технічних наук, професор, начальник відділу ад'юнктури та науки, Військова академія Збройних Сил Азербайджанської республіки, Баку, Азербайджан;

**Elshan Gıyas oğlu Hashimov** – Candidate of Technical Sciences, Professor, Chief of department of Adjuncture and science, War College of Armed Forces of the Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan;

e-mail: [hasimovel@gmail.com](mailto:hasimovel@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8783-1277>

#### Моделирование рационального размещения систем спостереження

Я. А. Насібов, А. А. Байрамов, Е. Н. Сабзієв, Е. Г. Гашимов

**Анотація.** У збройних силах багатьох розвинених країн використовуються різні види електронно-оптичних наглядових систем (SCS). Призначення цих SCS полягає в цілодобовому точному контролі на близькому і далеких відстанях за військами супротивника, його технікою і озброєнням, а також за порушниками кордонів. Оптимальне розташування SCS в гористій місцевості сприяє можливості використовувати раціональну кількість SCS, тому що вартість SCS є дуже високою. Використовуючи раціональну кількість SCS можливо скоротити кількість необхідних фахівців. Це також скорочує час прийняття рішення командуванням. Оптимальне розташування SCS на місцевості є одним з важливих завдань військової розвідки. Специфічний характер цього завдання полягає в необхідності тривалого спостереження за військовими об'єктами, які можуть бути розташовані в особливих зонах на місцевості (наприклад, в каньйонах, уздовж русла річок тощо). Місця розташування SCS можуть розташовуватися на різних відстанях від цих зон. Кількість SCS обмежена, тому неможливо встановити їх на всіх обраних точках. Необхідно вибрати такі місця розташування SCS, щоб зона огляду була б максимальною. У даній статті пропонується розроблена авторами математична модель раціонального розташування технічних систем спостереження в гористій місцевості. Розроблено метод визначення рівня видимості між обраними точками на місцевості. Запропоновані критерії оцінки раціонального розміщення і алгоритм швидкого вирішення цього завдання.

**Ключові слова:** технічні системи спостереження; гориста місцевість; раціональне розміщення; математична модель.

#### Моделирование рационального расположения систем наблюдения

Я. А. Насибов, А. А. Байрамов, Э. Н. Сабзиев, Э. Г. Гашимов

**Аннотация.** В вооруженных силах многих развитых стран используются различные виды электронно-оптических наблюдательных систем (SCS). Назначение этих SCS заключается в круглосуточном точном контроле на близком и дальних расстояниях за войсками противника, его техникой и вооружением, а также за нарушителями границ. Оптимальное расположение SCS в гористой местности способствует возможности использовать рациональное число SCS, потому что стоимость SCS очень высока. Используя рациональное число SCS можно сократить число необходимых специалистов. Это также сокращает время принятия решения командованием. Оптимальное расположение SCS на местности является одним из важных задач военной разведки. Специфический характер этой задачи заключается в необходимости длительного наблюдения за военными объектами, которые могут быть расположены в особенных зонах на местности (например, в каньонах, вдоль русла рек и т.д.). Места расположения SCS могут располагаться на различных расстояниях от этих зон. Число SCS ограничено, поэтому невозможно установить их на всех выбранных точках. Необходимо выбрать такие места расположения SCS, чтобы зона обзора была бы максимальной. В данной статье предлагается разработанная авторами математическая модель рационального расположения технических систем наблюдения в гористой местности. Разработан метод определения уровня видимости между выбранными точками на местности. Предложены критерия оценки рационального размещения и алгоритм быстрого решения этой задачи.

**Ключевые слова:** технические системы наблюдения; гористая местность; рациональное размещение; математическая модель.

## Adaptive control methods

УДК 519.5

doi: 10.20998/2522-9052.2019.2.03

Е. Є. Герман, О. Г. Шутинський, І. Г. Лисаченко, С. Д. Деменкова

Національний технічний університет «ХПІ», Харків, Україна

### ОПТИМАЛЬНИЙ НЕЧІТКИЙ РЕГУЛЯТОР В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ КАРБОНІЗАЦІЇ У СОДОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

**Анотація.** Предметом дослідження в даній статті є процедура синтезу нечіткого контролера в системі управління відділенням карбонізації у виробництві кальцинованої соди. **Метою роботи** є розробка оптимального нечіткого контролера, використання якого в системі управління зумовлювало оптимальний результат згідно встановленим критеріям. **Завдання.** На основі існуючих підходів до синтезу нечіткого контролера розробити процедуру синтезу оптимального нечіткого ПІД контролера (НПІДК) відповідно до цілей управління. Процедура побудови контролера залежить як від структури контролера, так і від параметрів нечіткого налаштування, таких як кількість функцій приналежності, їх вигляд, параметри, що визначають функцію приналежності. В результаті проведеного моделювання системи управління відділенням карбонізації було показано залежність кінцевого результату від параметрів нечіткого налаштування. **Висновки.** На підставі запропонованих методів синтезу розроблено структури оптимальних НПІДК з різними наборами параметрів нечіткого налаштування. Показано, що будь який оптимальний нечіткий ПІД регулятор дає кращі показники, ніж класичний контролер, та найкращим з них є регулятор, в якому блок нечіткого налаштування має гаусові функції приналежності.

**Ключові слова:** карбонізація; нечіткий ПІД контролер; функції приналежності; параметри нечіткого налаштування.

#### Вступ

Моделювання промислових процесів, і зокрема карбонізації амонізованого розсолу у виробництві кальцинованої соди, є складною задачею. Це викликано насамперед нелінійністю процесів, які протікають як в просторі так і за часом. Одним з можливих варіантів вирішення цього питання є впровадження в систему управління технічних засобів, які мають можливість функціонувати за алгоритмами, що базуються на використанні методів нечіткої логіки та нечіткого управління.

Нечітка логіка і заснована на ній теорія нечітких множин пропонує рішення для завдань, які не вдається знайти на основі точних математичних моделей. Нечітке логічне управління (НЛУ) поєднує в собі два різні типи інформації: чисельні значення вимірюваних та розрахункових показників з одного боку, і лінгвістичні інструкції і описи процесу та алгоритм управління, які виробляє експерт з іншого. Основним завданням дослідження є розробка оптимального нечіткого контролера (НЛК), який буде адаптуватись до змін процесу.

Рішення даної задачі можна отримати без застосування промислових систем, якщо використати експериментальну установку для отримання математичної моделі, а потім провести моделювання процесу управління за допомогою сучасних апаратних та програмних засобів.

#### Огляд питання в сучасній літературі

Комп'ютеризація технологій промислового виробництва і підвищення його ефективності за рахунок використання останніх досягнень є необхідною умовою сучасності. Це викликає необхідність створення швидко переналагоджуваного гнучкого тех-

нологічного обладнання, а, отже, й відповідних програмних систем управління цим обладнанням [1].

Починаючи з 80-х років ХХ століття, а особливо останнє десятиріччя, спостерігається глобальна тенденція в поширенні використання інтелектуальних інформаційно-керуючих систем в різних галузях науки і техніки. До них відносяться і системи нечіткого управління (СНУ), які більшістю фахівців розглядаються як один з напрямків сучасних технологій управління [2]. Їх актуальність і перевага перед відомими класичними технологіями управління пов'язані з тенденціями збільшення складності математичних моделей реальних систем і необхідністю підвищити їх адекватність шляхом урахування більшої кількості різних факторів і їхнього впливу на процеси прийняття рішень.

Базова структура СНУ складається з 4 основних компонентів (рис. 1) [3]:

- база знань (БЗ),
- блок фазифікації (БФ), або фазифікатор,
- блок дефазифікації (БДФ), або дефазифікатор,
- логічна система прийняття рішень (ЛСПР).



Рис. 1. Структура системи нечіткого управління

База знань містить всі знання регулятора і включає базу правил (БП) нечіткого управління (НУ) і базу даних (БД). БД описує визначення об'єктів (факти, умови, концепції) і визначення фу-

нкій приналежності, що використовуються в правилах НУ. БП містить інформацію про те, як ці об'єкти можуть використовуватися для виведення нових керуючих впливів. Центральна частина СНУ – ЛСПР – це механізм, який здійснює процедуру виводу по правилах нечіткого управління і задає умови для визначення необхідних управляючих впливів. БФ відображає значення з дійсного простору в нечі-

тке, в той час як БДФ виконує зворотну функцію [4]. В даний час у більшості промислових додатків використовуються контролери і моделі двох типів Мамдані [5] і Такагі-Сугено [6]. Більшість з них базуються на типових процедурах, властивим традиційним нечітким контролерам: фазифікації, агрегації локальних висновків, імплікації і дефазифікації. Функціональна модель НЛК представлена на рис. 2.

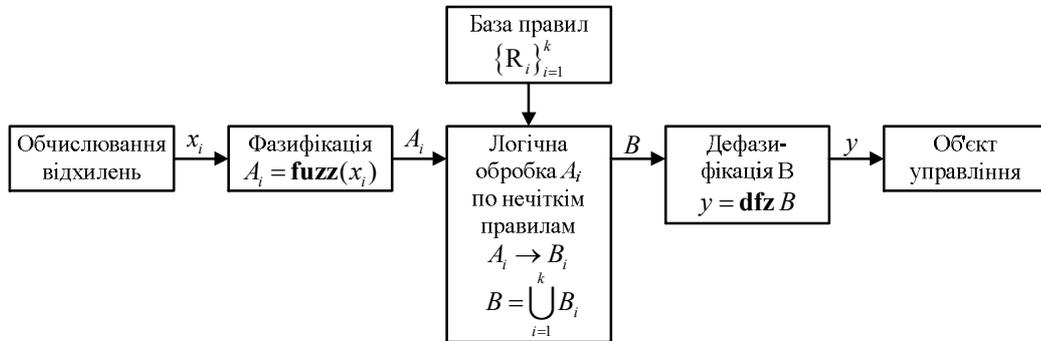


Рис. 2. Функціональна модель нечіткого логічного контролера

Обчислення керуючих впливів в НЛК складається з чотирьох основних етапів:

- обчислення відхилень вхідний фізичної змінної  $e$ ;
- фазифікації: перетворення вхідної фізичної змінної в нечітку множину  $A_i (i = \overline{1, k}) = \text{fuz}(e_i)$  значень вхідної змінної;
- логічна обробка множини нечітких змінних  $A_i$  відповідно до бази правил НЛК та отримання локальних висновків  $B_i$ , а також виконання операції агрегації:

$$B = \bigcup_{i=1}^k B_i ; \tag{1}$$

- дефазифікація: процедура перетворення нечіткого загального висновку  $B$  в керуючий вплив:

$$\text{dfz}(B) = u . \tag{2}$$

Алгоритм функціонування НЛК описується наступною системою рівнянь, яка визначається послідовністю перетворень інформації в НЛК:

$$\{R_i\}_{i=1}^k = \begin{cases} R_1 : A_1 \circ R_1 = A_1 \circ (A_1 \rightarrow B_1); \\ R_2 : A_2 \circ R_2 = A_2 \circ (A_2 \rightarrow B_2); \\ \dots \\ R_k : A_k \circ R_k = A_k \circ (A_k \rightarrow B_k); \end{cases} \tag{3}$$

$$B = \bigcup_{i=1}^k B_i; \quad \text{dfz}(B) = u;$$

де “ $\circ$ ” – композиція нечітких відносин; “ $\rightarrow$ ” – нечітка імплікація;  $A_i (i = \overline{1, k}) = \text{fuz}(e_i)$ ;  $B_i (i = \overline{1, k})$  – локальний висновок з правила  $R_i$ ;  $B$  – загальний нечіткий висновок з бази правил  $\{R_i\}_{i=1}^k$ ;  $\text{fuz}$ ,  $\text{dfz}$  – функції (операції) фазифікації і дефазифікації, відповідно.

На практиці знаходять застосування різноманітні структури НЛК. Наприклад, в [7] такі контролери реалізуються у вигляді цифрових пристроїв у

двох варіантах: НЛК прямої дії та інкрементний НЛК.

В останні роки інтенсивна ведуться дослідження по реалізації гібридних нечітких ПД контролерів [8] (рис. 3). В цьому випадку до складу КПДК включений додатковий блок, що використовує нечіткі висловлювання щодо нелінійної залежності вхід-вихід. У гібридному контролері на базі нечітких висловлювань поліпшуються динамічні властивості системи.

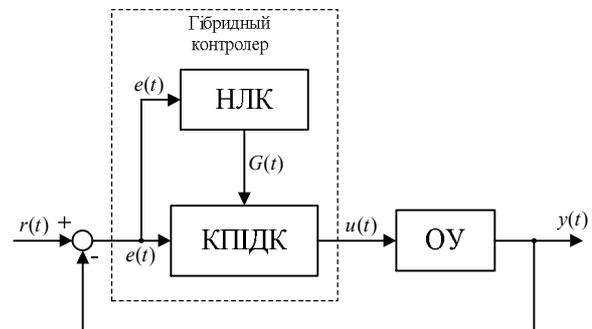


Рис. 3. Структурна схема гібридного контролера на основі нечіткої бази правил, де  $r(t)$  – керуючий вплив або уставка;  $e(t)$  – сигнал неузгодженості;  $u(t)$  – вихід контролера;  $y(t)$  – регульована величина

Ряд авторів пропонує застосовувати НЛК виключно для управління нелінійними об'єктами, однак лінійними об'єктами треба управляти тільки за допомогою класичних ПД контролерів (КПДК). Однак, як обгрунтовано в [9], управління базується на таких показниках як статична помилка, перерегулювання та час регулювання, які є нелінійними функціями параметрів ПД контролера, навіть для лінійного об'єкту управління.

Таким чином, будь-яке завдання управління, незалежно від виду контролера (лінійного або нелінійного) можна розглядати як нелінійну. Тому НЛК, який реалізує нелінійне відображення вхідів і виходів, набагато краще відповідає завданню оптимізації за нелінійним критерієм [10].

Однак найбільшою проблемою в реалізації нечіткого управління є налаштування нечіткого контролера. Існує кілька підходів до проектування НПДК [11], деякі з яких базуються на евристичних знаннях, тоді як інші засновані на законах класичного ПД управління. Тому можливо визначити деякі співвідношення між класичними і нечіткими ПД параметрами.

**Мета роботи та постановка задачі**

В [12] було розглянуто методи використання НПДК в промислових системах управління. Звідки можна зробити висновок, що в багатьох прикладних задачах, системи, що використовують у своїй основі нечітку логічне управління, за своїми характеристиками значно перевищували своїх класичних аналогів, проте наскільки НЛК в тому чи іншому випадку буде краще його класичного аналога залишається питанням. Тому виникає завдання моделювання кожного конкретного процесу, використовуючи формалізовані правила конфігурації та налаштування параметрів НЛК.

**Структура нечіткого контролера і формування бази правил**

Методи проектування нечітких контролерів залишаються нечіткими процесами на увазі відсутності

суворих і ефективних аналітичних методів проектування на противагу з методами проектування контролерів в рамках лінійної теорії управління. Для НПДК множину конструктивних параметрів в узагальненому вигляді можна розділити на дві групи: структурні параметри і параметри налаштування [13]. Структурні параметри контролера визначаються незалежно, при проектуванні до початку його використання, в той час як параметри налаштування розраховуються в режимі онлайн для коригування функціонування контролера, з метою підвищення якості системи управління та забезпечення її адаптивних властивостей.

Наразі розроблено велику кількість різних варіантів структур ПД подібних нечітких контролерів. В [11] наведені основні варіанти структур НПДК розрізняються за кількістю вхідних сигналів і керуючих впливів. Порівняльна таблиця характеристик структур в залежності від кількості входів та виходів представлена в табл. 1. Послідовність операцій, що виконуються НПДК з відображенням 1-в-1, представлена на рис. 4.

У найпростішому варіанті структури НПДК з одним вхідної змінної в [14] запропоновано використовувати три нечітких правила, 6 розрахункових параметрів і два параметри нечіткої настройки  $x_1$  і  $x_2$  трьох нечітких змінних (N, Z, P).

Таблиця 1 – Характеристики різних структур НПДК

Тип контролера	Роздільне обчислення управляючих впливів	Незв'язність входів	Незалежність налаштування коефіцієнтів	Загальна кількість правил
КПДК	Так	Так	Так	0
НПДК	3-в-1	Ні	Ні	$N^3$
	2-в-1	Ні	Ні	$N^2$
	1-в-1	Так	Ні	$N$
	1-в-3	Так	Так	$3N$

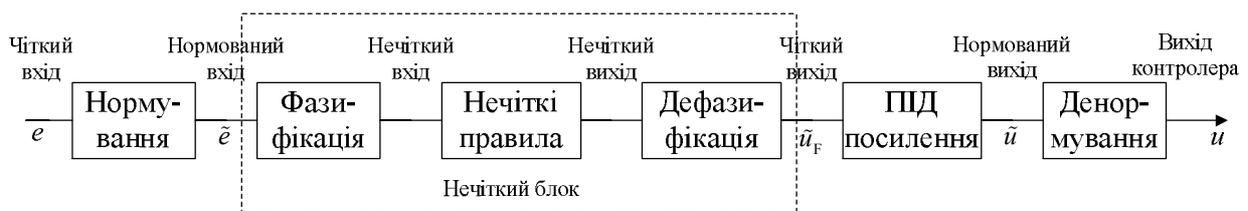


Рис. 4. Послідовність операцій в НПДК

Для нормованого сигналу помилки  $\tilde{e}$  і дефазифікованого вихідного сигналу нечіткого блоку контролера  $\tilde{y}_F$  база правил НПДК має вигляд:

- Правило 1: якщо ( $\tilde{e} \in N$ ), то ( $\tilde{y}_F \in N$ );
- Правило 2: якщо ( $\tilde{e} \in Z$ ), то ( $\tilde{y}_F \in Z$ );
- Правило 3: якщо ( $\tilde{e} \in P$ ), то ( $\tilde{y}_F \in P$ );

де нечітка змінна N означає “негативний”, Z – “близько нуля”, P – “позитивний”.

Функції приналежності такого контролера для  $\tilde{e}$  і  $\tilde{y}_F$  показані на рис. 5.

У поданій структурі НПДК використовується два параметри нечіткого налаштування  $x_1$  і  $x_2$ .

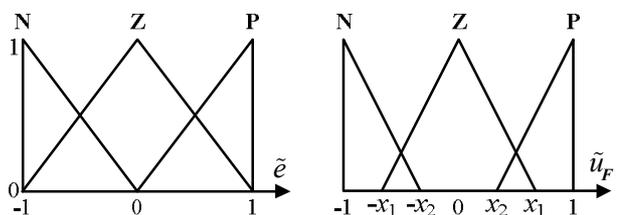


Рис. 5. ФП для нормованого сигналу помилки  $\tilde{e}$  вихідного сигналу нечіткого блоку  $\tilde{y}_F$  з БЗ (4)

Для зменшення складності обчислень керуючих впливів НПДК пропонується використовувати мінімальну кількість нечітких змінних, то є тільки дві – N і P, які відповідають безлічі нечітких значень

ФП – “негативний” і “позитивний”, відповідно [15]. Отже, НПІДК буде має функції приналежності для  $\tilde{e}$  і  $\tilde{u}_F$ , як показано на рис. 6.

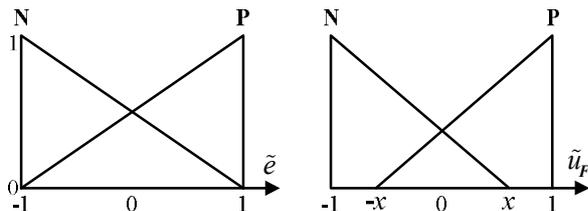


Рис. 6. ФП для нечіткого блоку контролера з БЗ (5).

Відповідно, база правил нечіткого ПІД контролера прийме вигляд:

- Правило 1: якщо ( $\tilde{e} \in N$ ), ТО ( $\tilde{u}_F \in N$ );
  - Правило 2: якщо ( $\tilde{e} \in P$ ), ТО ( $\tilde{u}_F \in P$ ).
- (5)

Зменшення числа функцій приналежності для нечітких контролерів, дозволяє скоротити число параметрів нечіткої настройки. У новій структурі НПІДК і введеної бази правил (5) є тільки один параметр нечіткої настройки  $x$ , що дозволяє скоротити погрешність і трудомісткість обчислень параметрів НПІДК. Графічний приклад формування вихідної дії показаний на рис. 7.

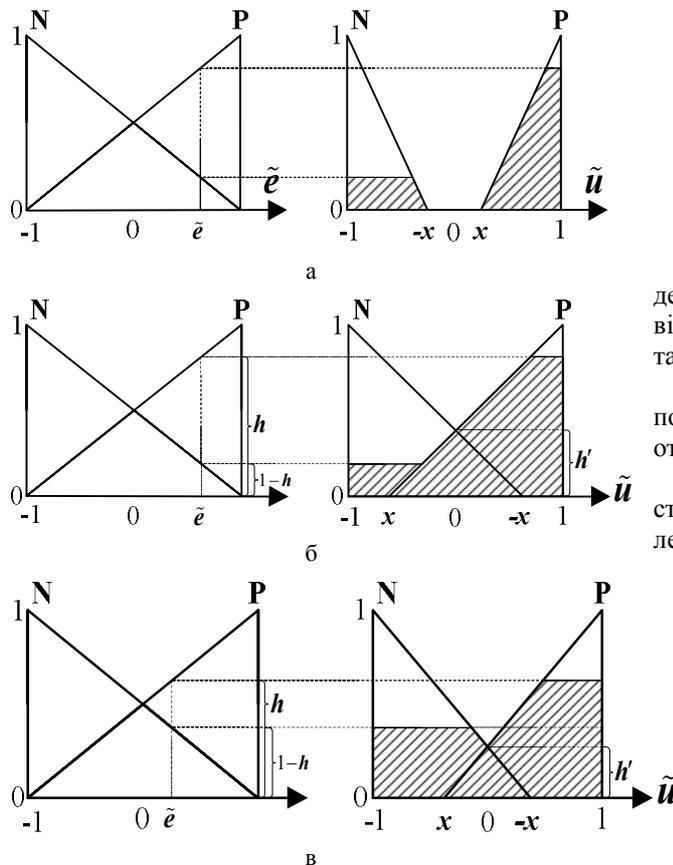


Рис. 7. Нечіткий логічний висновок в НПІДК 1-в-1 з двома функціями належності на вході і виході

а –  $x \geq 0$ ; б –  $x < 0$ ,  $h' \geq 1 - h$ ; в –  $x < 0$ ,  $h' < 1 - h$

Виходячи з правила простоти, замість трикутних ФП можна також використовувати гаусові ФП,

так як вони визначаються такою ж кількістю параметрів.

### Розробка оптимального нечіткого ПІД регулятора

Вище обговорювалося синтез НПІДК за такими напрямками як структура контролера і формування бази правил. Як було показано, база правил контролера залежить від параметрів нечіткої настройки, а вибір цих параметрів є одним з основних завдань синтезу НПІДК.

Одним з варіантів визначення параметрів нечіткої настройки є використання оптимізаційних методів. Таким чином НПІДК, параметри нечіткої настройки якого отримані шляхом оптимізації, будемо називати оптимальним НПІДК (ОНПІДК).

Сама оптимізація буде провадитися виходячи їх відповідних оцінок якості [16]:

– інтеграл від квадрата помилки (ІКО):

$$IKO = \int_0^T e^2(t) dt,$$

– інтеграл від модуля помилки (ІМО):

$$IMO = \int_0^T |e(t)| dt,$$

– інтеграл від зваженого модуля помилки (ІЗМО):

$$IZMO = \int_0^T t |e(t)| dt,$$

– інтеграл від зваженого квадрата помилки (ІЗКО):

$$IZKO = \int_0^T te^2(t) dt,$$

де  $T$  – верхня межа інтегрування, що фізично відповідає часу моделювання, вибирається довільно, але так, щоб інтеграл прагнув до кінцевому значення.

Як показує практика моделювання, найкращі показники якості системи управління зазвичай отримують при використанні ІЗМО.

Нижче розглянемо кілька варіантів НПІДК зі структурою 1-в-1, структурна схема якого представлена на рис. 8.

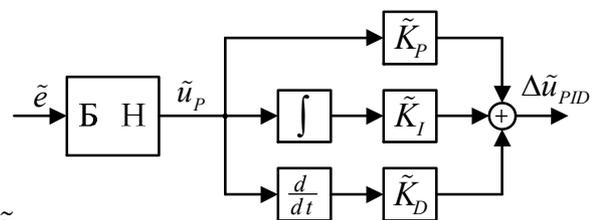


Рис. 8. НПІДК з одним входом і відображенням нечіткого виводу 1-в-1

**Варіант 1.** Для початку визначимо оптимальні параметри контролера без блоку нечіткої настройки (класичний ПІД контролер).

**Варіант 2.** Додамо в КПІДК блок нечіткої настройки (рис. 9), що містить по 3 трикутні ФП на вході і на виході.

**Варіант 3.** Оптимізуємо ПД параметри контролера з урахуванням блоку нечіткої настройки, поданим в попередній контролер.

**Варіант 4.** Блок нечіткої настройки містить по 2 трикутні ФП на вході і на виході. Оптимізуємо як ПД параметри контролера, так і параметри нечіткої настройки.

**Варіант 5.** Блок нечіткої настройки містить по 3 гаусові ФП на вході і на виході. Оптимізуємо як ПД параметри контролера, так і параметри нечіткої настройки.

**Варіант 6.** Блок нечіткої настройки містить по 2 гаусові ФП на вході і на виході. Оптимізуємо як ПД параметри контролера, так і параметри нечіткої настройки.

### Результати моделювання контуру управління з використанням оптимального нечіткого регулятора

Виходячи з математичної моделі процесу карбонізації у виробництві кальцинованої води, управління можна звести до каналу температури. При цьому, модель об'єкту управління описана у вигляді передавальної функції. Ця модель, яка була отримана на основі аналітичних розрахунків та експериментальних даних, матиме вигляд:

$$W(s) = \frac{1.47e^{-5s}}{41s^2 + 15s + 1} \quad (6)$$

Математична модель контуру була реалізована в системі MATLAB з залученням апарату мови візуального програмування Simulink. Алгоритми нечіткого виводу були реалізовані при використанні Fuzzy Logic Toolbox.

В якості зміни вхідної дії було обрано ступінчастий сигнал.

Результати порівнювалися з аналогічними системами управління на основі КПКДК.

На рис. 9 показано порівняння перехідних характеристик контурів управління, які включають КПКДК (пунктир), КПКДК з блоком нечіткої настройки (точка-тире) і ОНПКДК з оптимізованими ПД параметрами (суцільна), відповідно. Результати моделювання наведені в табл. 2.

На рис. 10 показано порівняння перехідних характеристик контурів управління які містять ОНПКДК з оптимізованими ПД параметрами і ОНПКДК з двома ФП на вході і виході, відповідно. Результати моделювання наведені в табл. 3.

На рис. 11 показано порівняння перехідних характеристик контурів управління, що містять ОНПКДК, в яких блоки нечіткого виводу містять на вході і виході по 3 та 2 гаусові функції приналежності відповідно. Результати моделювання наведені в табл. 4.

Порівняльний графік перехідних характеристик контурів регулювання для всіх запропонованих типів регуляторів показаний на рис. 12.

Таблиця 2 – Результати моделювання для перших трьох варіантів регуляторів

	КПКДК	КПКДК с БНН	ОНПКДК с оптим. ПД
Динамічна похибка	0.51486	0.2153	0.11679
Час регулювання при Dstat=0.005	55.6	55.2	22.5
Статична похибка при Treg=20	0.36553	0.19676	0.018242
Підінтегральна площа	6.4399	3.1266	1.027

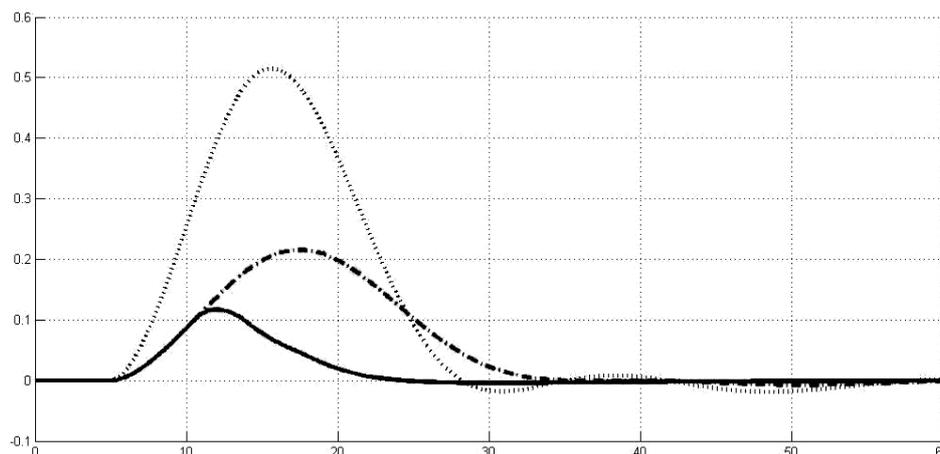


Рис. 9. Перехідна характеристика для КПК, КПК з блоком нечіткого налагодження і ОНПКДК з оптимізованими ПД параметрами.

Таблиця 3 – Результати моделювання для 3-го і 4-го варіантів регуляторів

	ОНПКДК с оптим. ПД	ОНПКДК с 2-мя треугольными ФП
Динамічна похибка	0.11679	0.51486
Час регулювання при Dstat=0.005	22.5	55.6
Статична похибка при Treg=20	0.018242	0.36553
Підінтегральна площа	1.027	6.4399

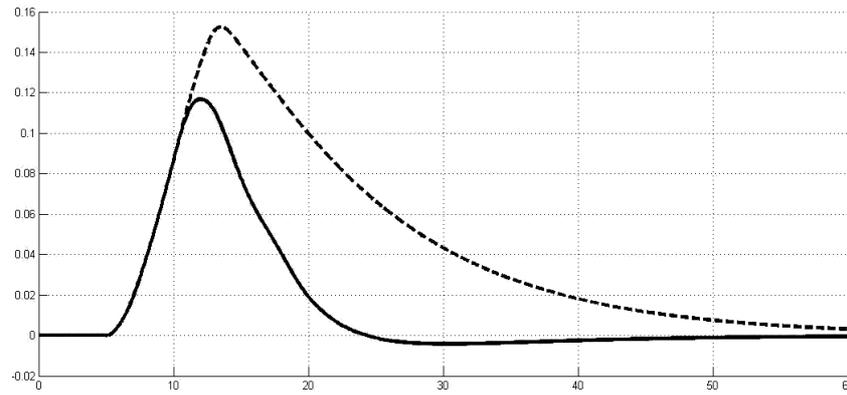


Рис. 10. Перехідна характеристика контуру управління для 3-го і 4-го варіантів регуляторів

Таблиця 4 – Результати моделювання для 5-го і 6-го варіантів регуляторів

	ОНПДК 3-гаус	ОНПДК 2-гаус
Динамічна похибка	0.028742	0.029349
Час регулювання при $D_{stat}=0.005$	19.05	20
Стагична похибка при $T_{reg}=20$	0.0037506	0.0049289
Підінтегральна площа	0.21525	0.24159

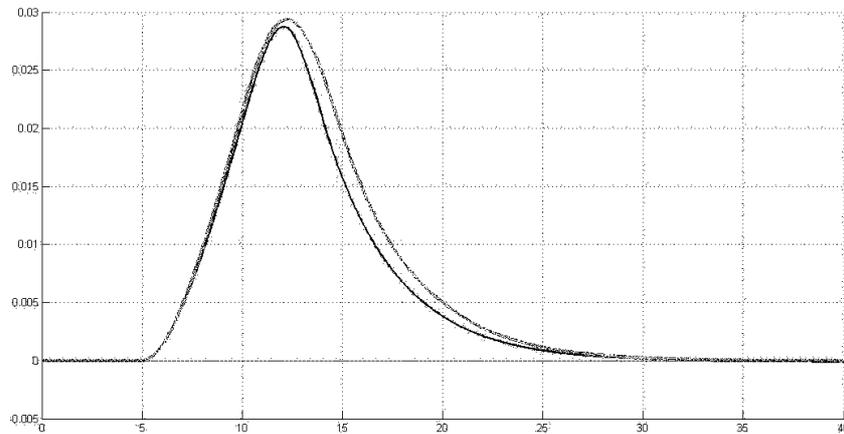


Рис. 11. Перехідна характеристика контуру управління для 5-го і 6-го варіантів регуляторів

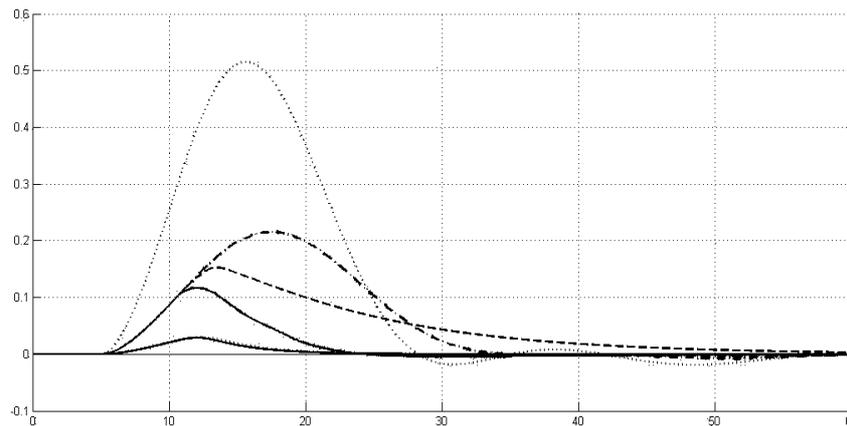


Рис. 12. Перехідні характеристик контурів регулювання для всіх запропонованих варіантів регуляторів

У підсумку проведених досліджень потрібно відмітити, що було представлено декілька типів оптимальних НПДК в залежності від вибору кількості та форми функцій приналежності. З результатів видно, що будь який з запропонованих ОНПДК дає кращі характеристики, ніж класичний ПІД регулятор.

Найкращі характеристики з ОНПДК показали регулятори в яких блок нечіткого налаштування має гаусові функції приналежності.

**Висновки**

Проведено інформаційно-аналітичний огляд літератури щодо використання теорії нечітких мно-

жин при розробці та застосуванні нечітких контролерів в промисловості.

На підставі запропонованих методів синтезу нечітких ПІД регуляторів розроблені структури оптимальних НІПДК з різними наборами параметрів нечіткого налаштування. Побудовані графіки пере-

хідних процесів контуру регулювання для всіх запропонованих регуляторів. Показано, що будь який ОНПДК дає кращі показники, ніж класичний контролер, та найкращими з них є ОНПДК, в яких блок нечіткого налаштування має гаусові функції приналежності.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мирошник М.А. Проектирование систем искусственного интеллекта с использованием нечеткой логики / М.А. Мирошник, Э.Е. Герман, В.Г. Котух, Е.В. Загуменная // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2015. – Вып. 182. – С.42-50.
2. Герман Э.Е. Современное состояние и перспективы развития систем нечеткого управления / Э.Е. Герман // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – 2008. – №57. – С. 37–44.
3. Lee C.C. Fuzzy Logic in control systems: Fuzzy Logic Controller – Part I / C.C. Lee // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. – 1990. – Vol. 20, № 2. – P. 404–418.
4. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление: Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.
5. Mamdani E.H. Application of fuzzy algorithms for the control of a dynamic plant / E.H. Mamdani // Proceedings of the Institution of Electrical Engineers. – 1974. – T. 121, № 12. – P. 1585–1588.
6. Takagi T. Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control / T. Takagi, M. Sugeno // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. – 1985. – T. SMC-15, № 1. – P. 116-132.
7. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник: под ред. Н.Д. Егупова.. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2002. – 744 с.
8. Герман Э.Е. Синтез гибридных контроллеров для управления процессами выращивания крупногабаритных монокристаллов / Э.Е. Герман // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – № 3. – С. 53–56.
9. Jantzen J. Design of fuzzy controllers. [Technical University of Denmark: Dept. of Automation. Lecture notes] / J. Jantzen. – 1998. – P. 27. – Режим доступу до журн.: <http://faculty.petra.ac.id/resmana/private/fuzzy/design.pdf>.
10. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта: под редакцией Д. А. Пospelova. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. – 1986. – 312 с.
11. Герман Э.Е. Методы проектирования нечетких ПИД контроллеров / Э.Е. Герман, А.І. Гапон, Л.В. Дербунувич // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ“ХПІ” 2005. -№17– С. 15-21.
12. Герман Е.С. Використання нечіткого регулятора в системі управління карбонізації у содовому виробництві / Герман Е.С., О.Г. Шутинський, О.М. Маковоз // Вісник НТУ «ХПІ». – Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ». – № 35. – С. 24–27.
13. German E.E., Zlotov Ye. V. Mathematical modeling of the carbonization column in the production of soda ash. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI Міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD–2018, 16–18 травня 2018 р.: у 4 ч. Ч. IV (секція 19) / за ред. проф. Сокола Є. І. – Харків: НТУ «ХПІ». – С.164.
14. Chen G. Conventional and fuzzy PID controllers: An overview / G. Chen // International Journal of Intelligent Control and Systems. – 1996. – Vol. 1. – P. 235–246.
15. Герман Э.Е. Оптимизация параметров нечетких ПИД контроллеров / Э.Е. Герман, Л.В. Дербунувич, С.В. Белецкий // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – 2007. – № 36 – С. 3–8.
16. Dorf, Richard C. Modern control systems / Richard C. Dorf, Robert H. Bishop // – Boston, Prentice Hall 2014. – 1082 p.

## REFERENCES

1. Miroshnik M.A., German E.E., Kotukh V.G., Zagumnennaya E.V. (2015), “Design of artificial intelligence systems with using fuzzy logic”, *Radio engineering: All-Ukr. interdep. sci.-tech. collection*, Vol. 182, pp. 42-50.
2. German E.E. (2008), “Current state and development prospects of fuzzy control systems”, *Herald of National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”*, Vol. 57, pp. 37–44.
3. Lee C.C. (1990), “Fuzzy Logic in control systems: Fuzzy Logic Controller – Part I”, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 20, № 2, pp. 404–418.
4. Piegat A. (2009), *Fuzzy Modelling and Control*, BINOM, Knowledge Laboratory, 798 p.
5. Mamdani E.H. (1974), “Application of fuzzy algorithms for the control of a dynamic plant”, *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*. Vol 121, № 12, pp. 1585–1588.
6. Takagi T., Sugeno M. (1985), “Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control”, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. Vol 15, № 1, pp. 116-132.
7. *Methods of robust, neuro-fuzzy and adaptive control: Textbook*. ed. by Yegupov N. (2002), Bauman MSTU, 744 p.
8. German E.E. (2010), “Synthesis of hybrid controllers to control of the growing process of large-sized single crystals”, *Information-control systems on railway transport*, Vol. 3, pp. 53–56.
9. Jantzen J. (1998), *Design of fuzzy controllers*. Technical University of Denmark: Dept. of Automation. Lecture notes, available at: <http://faculty.petra.ac.id/resmana/private/fuzzy/design.pdf>.
10. Fuzzy sets in control and artificial intelligence models, ed. by Pospelov D. (1986), Moscow. Science. 312 p.
11. German E.E., Gapon A.I., Derbunovich L.V. (2005), “Design methods for fuzzy PID controllers”, *Herald of National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”*. *Automation and instrument making*, Vol. 17, pp. 15-21.
12. German E.E., Shutinsky O.G., Makovoz O.M. (2016), “The use of a fuzzy controller in a carbonization control system in soda production”, *Herald of National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”*. *Chemistry, chemical technology and ecology*, Vol. 35, pp. 24–27.

13. German E.E., Zlotov Ye.V. (2018), "Mathematical modeling of the carbonization column in the production of soda ash", *Information technologies: science, techniques, technology, education, health: abstracts of the XXVI International Scientific and Practical Conference MicroCAD*, p.164.
14. Chen G. (1996), "Conventional and fuzzy PID controllers: An overview", *International Journal of Intelligent Control and Systems*. Vol. 1. pp. 235–246.
15. German E.E., Derbunovich L.V., Beletsky S.V. (2007), "Optimization of fuzzy PID controllers parameters", *Herald of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*, Vol. 36, pp. 3-8.
16. Dorf R.C., Bishop R.H. (2014), *Modern control systems*, Boston, Prentice Hall, 1082 p.

Received (Надійшла) 11.04.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.06.2019

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Герман Едуард Євгенович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації технічних систем та екологічного моніторингу, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

**Eduard German** – PhD of tech. sci., Associate Professor of Automation of the Technological Systems and Ecological Monitoring Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [german.khpi@ukr.net](mailto:german.khpi@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8221-033X>

**Шутинський Олексій Григорович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації технічних систем та екологічного моніторингу, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

**Oleksii Shutynskiy** – PhD of tech. sci., Associate Professor of Automation of the Technological Systems and Ecological Monitoring Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [shutynskiy@gmail.com](mailto:shutynskiy@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4288-9309>

**Лисаченко Ігор Григорович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації технічних систем та екологічного моніторингу, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

**Igor Lysachenko** – PhD of tech. sci., Associate Professor of Automation of the Technological Systems and Ecological Monitoring Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [igor\\_gr.lis@gmail.com](mailto:igor_gr.lis@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3723-8587>

**Деменкова Світлана Дмитрівна** – асистент кафедри автоматизації технічних систем та екологічного моніторингу, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

**Svetlana Demenkova** – Assistant of Automation of the Technological Systems and Ecological Monitoring Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [svet1972232765@gmail.com](mailto:svet1972232765@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6596-6605>

### Оптимальный нечеткий регулятор в системе управления карбонизации в содовом производстве

Э.Е. Герман, А.Г. Шутинский, И.Г. Лысаченко, С.Д. Деменкова

**Аннотация.** Предметом исследования в данной статье является процедура синтеза нечеткого контроллера в системе управления отделением карбонизации в производстве кальцинированной соды. Целью работы является разработка оптимального нечеткого контроллера, использование которого в системе управления обусловливало оптимальный результат согласно установленным критериям. **Задача:** на основе существующих подходов к синтезу нечеткого контроллера разработать процедуру синтеза оптимального нечеткого ПИД контроллера (НПИДК) соответствующего целям управления. Процедура построения контроллера зависит как от структуры контроллера, так и от параметров нечеткой настройки, таких как количество функции принадлежности, их вид, параметры, определяющие функцию принадлежности. В результате проведенного моделирования системы управления отделением карбонизации была показана зависимость конечного результата от параметров нечеткой настройки. **Выводы:** на основании предложенных методов синтеза разработаны структуры оптимальных НПИДК с различными наборами параметров нечеткой настройки. Показано, что любой оптимальный нечеткий ПИД регулятор дает лучшие показатели, чем классический контроллер, и лучшими из них являются регуляторы, в которых блок нечеткой настройки имеет гауссовы функции принадлежности.

**Ключевые слова:** карбонизация; нечеткий ПИД контроллер; функции принадлежности; параметры нечеткой настройки.

### Optimal fuzzy controller in the carbonization control system at the soda production

E. German, O. Shutynskiy, I. Lysachenko, S. Demenkova

**Abstract.** The subject of research in this article is the procedure for the synthesis of a fuzzy controller in the carbonization control system in the production of soda ash. The aim of the work is the development of optimal fuzzy controller, the use of which in the control system will condition the optimal result according to the established criteria. **Task:** based on the existing approaches to the synthesis of FLC, to develop a procedure for the synthesis of the optimal fuzzy PID controller corresponding to the control problems. The procedure for construct of controller depends both on the structure of the controller and on the parameters of fuzzy tuning, such as quantity of the membership function, their appearance, and the parameters that determine the membership function. As a result of the simulation of the carbonization section control system, the dependence of the final result on fuzzy tuning parameters was shown. **Conclusions:** on the basis of the proposed synthesis methods, the structures of optimal FPIDC with different sets of fuzzy tuning parameters were developed. It is shown that any optimal fuzzy PID controller gives better performance than the classic controller, and the best of them are the controller in which the fuzzy tuning block has Gaussian membership functions.

**Keywords:** carbonization; fuzzy UID controller; membership functions; Fuzzy setup parameters.

A. Serkov<sup>1</sup>, P. Pustovoitov<sup>1</sup>, I. Yakovenko<sup>1</sup>, B. Lazurenko<sup>1</sup>, G. Churyumov<sup>2</sup>, V. Tokariev<sup>2</sup>, W. Nannan<sup>3</sup>

<sup>1</sup> National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup> Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

<sup>3</sup> Harbin Institute of Technology, Harbin, China

## ULTRA WIDEBAND TECHNOLOGIES IN MOBILE OBJECT MANAGEMENT SYSTEMS

**Abstract.** The **subject** of study is the processes of noise immunity ensuring of wireless control channels and mobile objects communication. The **aim** of article is to increase the capacity and noise immunity of control and communication systems under the natural and intentional interference influence. The **concept** is based on the technology of ultra-wideband communication that consists in the transmission of low-power coded pulses in a very wide bandwidth without a carrier wave. The **task** is to ensure stable and safe operation of mobile objects. **Methods used:** methods of analytical, simulation, and temporal position-pulse coding. The following **results** were obtained. A security concept has been developed for wireless control channels and mobile objects communication. It is shown that in order to obtain high noise immunity of control and communication channels and to protect information from interception, it is necessary to apply wireless ultra-wideband communication technology, which allows providing of large capacity and transmission rate. The possibility of joint interference-free operation in the same frequency range of both traditional narrow-band communication systems and systems using ultra-wideband signals is grounded. A technical solution for the design of an ultra-wideband receiving-transmitting antenna system is proposed. **Conclusion.** The usage of channels with an ultra-wide bandwidth allows an almost unlimited increase in the number of control and communication channels of mobile objects. Pre-distribution between the channels of orthogonal codes implements the process of control and communication without interception of information and mutual interference. Moreover, the usage of the temporal position-pulse coding method prevents intersymbol distortions of coding ultrashort pulses. It also reduces the rate of information signals distortion caused by its multipath propagation that guarantees the safety of managing mobile objects.

**Keywords:** control system; mobile object; noise immunity; line capacity.

### Introduction

Unmanned aerial vehicles (UAV) utilize critical systems in which incorrectly received information by the control system can lead to a catastrophe. In addition, reliability demands of these systems constantly increasing. In the same time analysis of failures of such systems showed that the number of accidents and the associated risks has a strong tendency to increase. The most dangerous are emergencies caused by information distortions in control channels that are caused by external influencing factors. Qualification norms and onboard durability standards of aviation equipment to the effects of external affecting factors are detailed in standard [1].

Analysis of the requirements set out in standard has shown that are particularly dangerous cases where, as a source of external impact is a powerful electromagnetic field, accompanying lightning discharge [2-4]. Wide frequency range (0.3 - 30 MHz) in combination with large amplitude pulsed electromagnetic fields (15 - 100 kV / m) are the most dangerous reliability factors of an aircraft. In this way, noise immunity, reliability and quality of received data plays a pivotal role in drones control channels.

### The analysis of problem and formulation of the task

Noise resistance of control channel means maximum level of electromagnetic interference affecting the control channel at which it saves the required quality of work [5]. In order to increase noise immunity we should encode information in the information channels and management channels. In the

presence of external impact factors, block codes that are able to correct mistakes have an advantage over binary codes. However, these codes require double redundancy, which leads to reduced speed of information transfer. At the same time, in order to increase the transmission rate control signals in wireless channels requires using the widest possible frequency range. Among all onboard systems of aircraft the most widespread protocol MIL-STD-1553B (Ministry of Defense USA), application which is due to a fairly high level noise immunity of systems. Protocol provides maximum data transfer rate of 1 Mbps with a spectral efficiency of 1 bit / Hz. This way, the transmission duration of one bit coded information is 1  $\mu$ s. [6, 7]. It should be noted that a high level of protocol noise immunity is provided by availability of additional communication channels. Other UAV control channels serve as a reserve in case of failure of the main channel. However, the time needed to switch from the main channel transfer to secondary one eliminates the possibility of effectively increasing the noise immunity by using additional control and communication channels. Thus, known methods of encoding information in wireless flight control channels devices do not provide the necessary level of noise immunity. This situation requires the development of new.

### Task solution

In wireless control and communication channels, transmission medium is a physical path between transmitter and receiver. The quality of information transfer is defined by environmental characteristics and signal characteristics. Major factor imposing restrictions on transmission, is the environment itself. The main

source of losses in communication systems, like any other systems is the attenuation  $L$ , which is determined by the ratio:

$$L = 10 \lg (4\pi d / \lambda)^2 \text{ дБ}, \quad (1)$$

where  $d$  – distance, m;  $\lambda$  – wavelength, m.

So, with the middle frequency band [8] of the satellite mobile of 6 GHz, transmitter power signal of 10-30 W and the length of the radio lines  $4 \cdot 10^4$  km., the attenuation coefficient of free space on the radio line is  $10^{20}$ . At the same time, the average value of the power of information signals at the input receiver is  $10^{-14}$  W, that provides stability of operation of the communication channel.

However, when we determine characteristics of information transfer, the medium itself is not the most important factor, but the bandwidth of the emitted signal. The most common and optimal range for wireless control and communication systems is from 1 to 10 GHz. [9]. This is due to the fact that at frequencies below 1 GHz there are significant atmospheric interference and interference from various electronic devices. At the same time, at frequencies above 10 GHz, signal absorption by the atmosphere and precipitation is large. Thus, the frequency range from 1 to 10 GHz is the most suitable for organizing a control channel for unmanned aerial vehicles. At the same time, the need to organize high-speed wireless control and communication channels requires an increase in the width of the frequency range of the control channel. On the other hand, there is a physical limitation of the frequency spectrum. Therefore, the development of technologies of ultra-wideband communications that resolve this contradiction is relevant.

The aim of the work is to increase the bandwidth and noise immunity of control and communication systems under the action of natural and deliberate interference.

The achievement of this goal became possible by using ultra-wideband signals (UWBS), in particular: ultrashort pulses with durations of the order of units and fractions of a nanosecond [10, 11].

By definition, L.Yu. Astanin [12] UWBS are signals whose spectral width commensurate with the center frequency.

When using broadband transmission, a deliberate conversion of relatively narrow-band information signals with an efficiently transmitted spectrum width  $\Delta f$  into a broadband signal with an efficiently transmitted spectrum width  $\Delta F$  while maintaining the total signal energy  $E$  is carried out. In this case, the spectral density of the energy of the channel signal is deliberately reduced in  $\Delta F / \Delta f$  times, which will be  $\Delta E / \Delta F$ , and the base of the channel signal will increase by a factor of  $\Delta F / \Delta f$ .

The basis of the ultrashort pulse UWBS is the product of the signal duration and the width of its spectrum:

$$B = \Delta t \cdot \Delta F \approx 1, \quad (2)$$

where  $\Delta t$  – impulse duration,  $\Delta F$  – pulse power spectrum width.

Thus, direct spreading of the frequency spectrum is the simplest and most convenient method for expanding the base of a signal. Moreover, the higher the frequency used, the higher the potential data transfer rate. Thus, UWBS - technology is to transmit low-power coded pulses in a very wide frequency band without a carrier frequency. In this case, it is not a harmonic oscillation that is emitted, but an ultrashort pulse, the duration of which lies within 0.2–2.0 nS, and the period of the pulse sequence is 10–100 nS. Typically, such signals have the form of idealized Gaussian monocycles, the main part of the emission spectrum of which is in the frequency range from 1 to 10 GHz [9]. So use as a coding pulse monocycle Gauss duration of 2.0 nS. up to 0.1 nS, the power spectrum bandwidth will be respectively from 500 MHz to 10 GHz. And the spectrum of the signal will occupy the entire frequency band from 0 to  $\Delta F \approx 1 / \Delta t$ . For the practical implementation of UWBS, powerful impulse keys with a switching front duration of the order of 10–100 pS are needed megahertz repetition rate and high stability of the order of 10 pS. As high-speed switches, drift diodes should be used with a sharp recovery of the locking properties [13, 14]. The family of electric impulse generators created on this basis makes it possible to practically implement UWBS technology. In the UAV control channel, information is encoded by means of temporal position-pulse modulation [6]. So the pulse offset relative to the reference position in the sequence forwards sets the zero bit, and backward - sets one. The offset time does not exceed a quarter of the pulse duration, and one information bit is encoded by a sequence of many pulses per bit. To separate information communication channels, the position of each pulse is shifted by a time proportional to the current value of a certain pseudo-random sequence. Moreover, the shift time is one to two orders of magnitude higher than the shift during time modulation. Each channel is assigned its own spreading code combination, the elements of which constitute the orthogonal basis and specify the channel code. In addition the decoding of the information message is carried out only if the receiver and transmitter use the same channel code, which increases the noise immunity of signals in the wireless control and communication system of the UAV. The separation of the useful signal in the background noise is carried out by the correlation of the received and reference signals. The correlator performs a convolution of the received signal from the reference one. It is an ideal detector for determining the time shifts of received pulses relative to the reference. So when receiving a unit, the correlation function is +1, and when receiving 0, it takes the value - 1. In all other cases, the correlation function is 0. And since the information bit is represented, for example, by 200 ultrashort pulses, then if the code coincides, they accumulate in the integrator receiver and the bit will be detected correctly, even if 99 pulses out of 200 will be spoiled. The useful signal stands out from the noise level, significantly exceeding its signal-to-noise ratio. In this case, the coding of the information bit by a series of ultrashort pulses eliminates the problem of multipath propagation of the signal, since the signal arriving with

a shift in time due to different paths will be rejected as interfering. At the same time, the use of a series of ultrashort pulses to encode the information bit makes it possible to eliminate intersymbol interference. This is due to the fact that before the passage of the next ultrashort pulse from the coding series, the energy of the previous pulse has time to completely dissipate.

In wireless UAV control channels, the key issue is the reception and transmission of UWBS. Due to the fact that coded impulse signals are to be transmitted in a very wide frequency band without a carrier frequency, the requirements for broadband receiving and

transmitting antennas are specific. The technical characteristics of the most acceptable is the antenna element [15], which is an antenna with an expanding slot (Tapered Slot Antenna - TSA).

The shape of the open slit determines the frequency band, and the energy pattern of the antenna is characterized by a narrow main beam and almost no side lobes. The antenna has a complex surface shape, therefore, to study the characteristics of such an antenna, a software package for three-dimensional electrodynamic modeling HFSS was used. A model was created in this package (Fig. 1) [16].

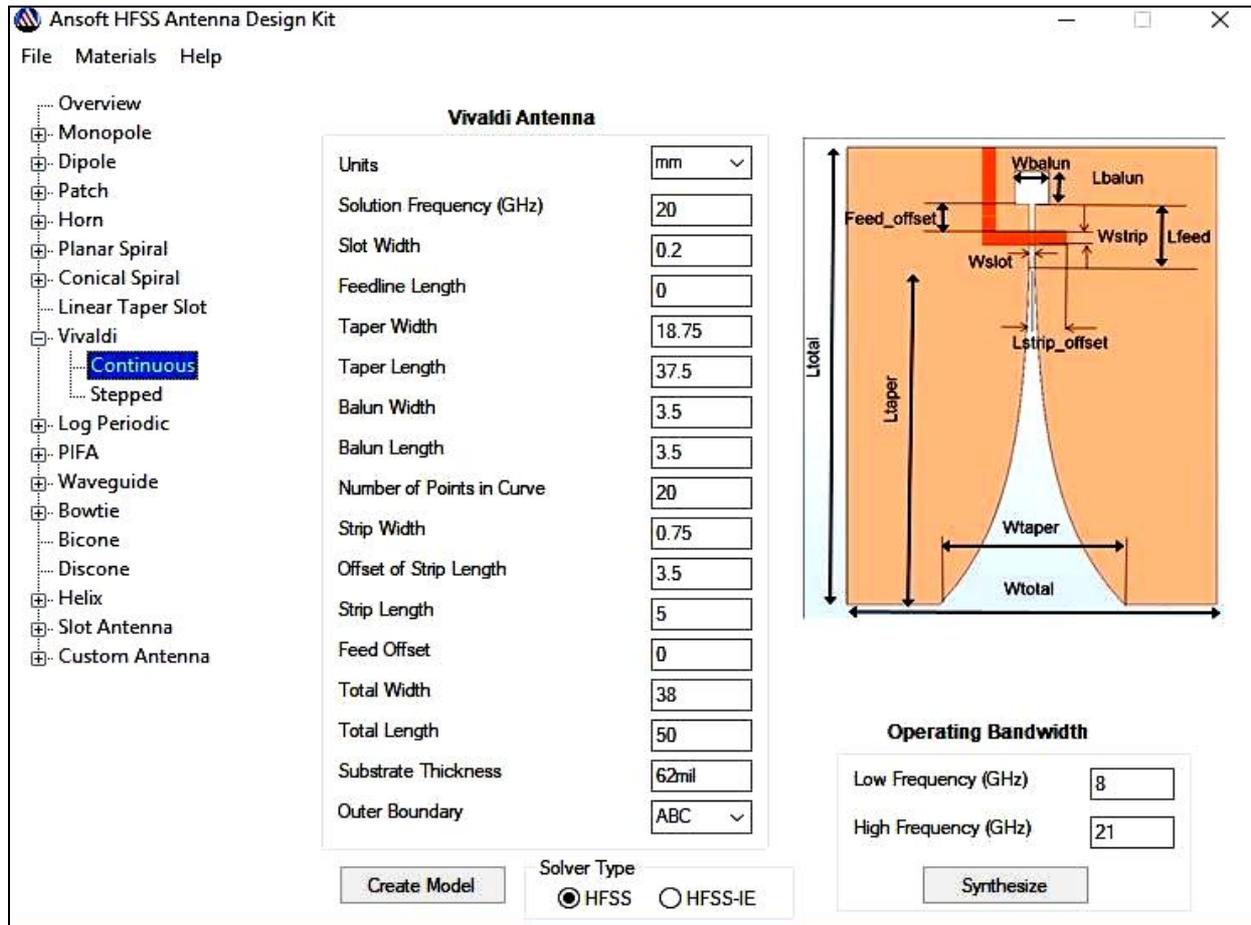


Fig. 1. TSA – antenna model

The simulation results (Fig. 2) showed sufficient antenna bandwidth, which showed the feasibility of using it in ultra-wideband technologies.

However, the preliminary formation of an UWBS (Gaussian monocycle) that is sent to the antenna system causes coordination difficulties in a wide frequency range. This is observable in the form of the reflections of individual components of UWBS, which distort the shape of the Gaussian monocycle.

To eliminate these drawbacks, a model (Fig. 3) of a TSA binary antenna [17, 18] has been proposed. In the proposed technical solution, the informative mono-pulse signal is divided in half. One part of the signal is successively inverted and delayed by a time equal to a half of the duration of the single pulse. Then, using both monopoles signals, excite respectively two adjacent TSA antennas placed on a single dielectric base. The

electromagnetic fields of two unipolar pulses - the main and inverted - interfere in the equivalent common space of the aperture of the antennas, creating the electromagnetic field of the bipolar pulse, which is an ultra-wideband pulse signal. This eliminates the time interval between the two parts of the radiated field, which is typical of a single-pulse TSA antenna. It should also be noted that the ultra-wideband pulsed antenna is capable of emitting both an ultrashort unipolar mono-pulse and a bipolar-pulsed information signal.

Moreover, the proposed technical solution allows to significantly increasing the range of propagation of pulsed electromagnetic signals. Thus, compared with the radiation level of a unipolar pulsed signal, the propagation distance of a bipolar pulse generated in the aperture of the antenna increases by 9.5 times, and compared to a monochromatic signal - by 2.37 times [15].

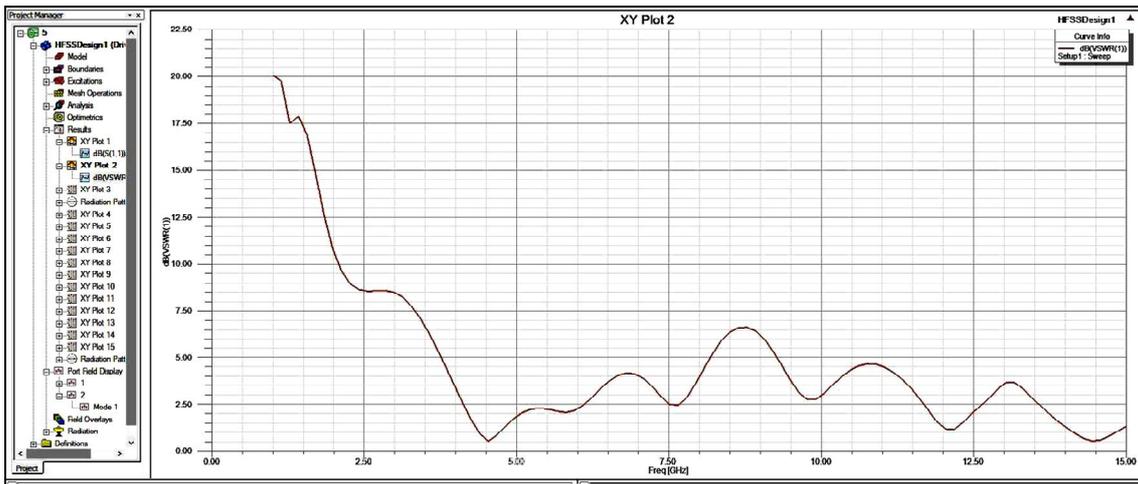


Fig. 2. Test results

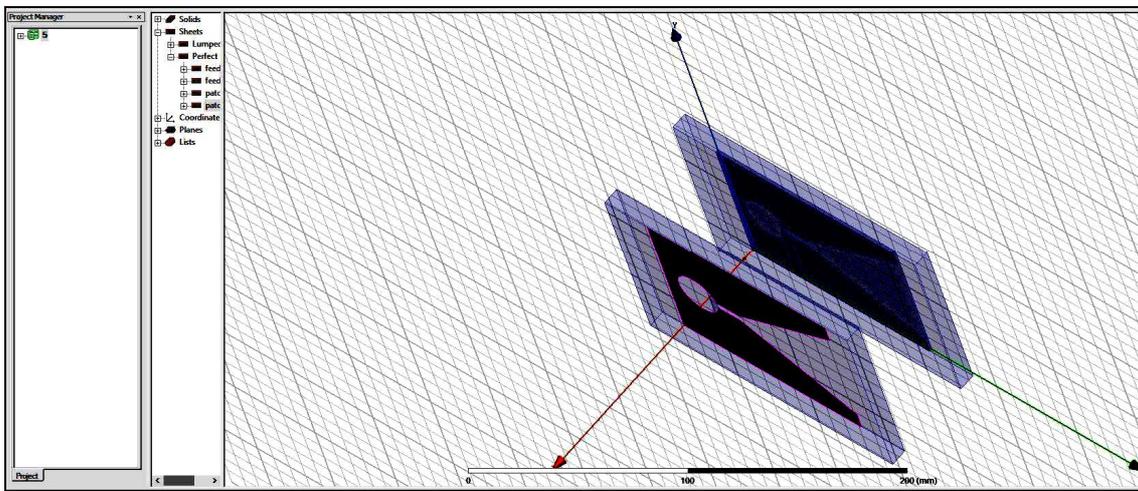


Fig. 3. Binary antenna TSA

**Conclusions**

The use of UWBS technology in the control and communication channels of the UAV allows obtaining a number of advantages that cannot be achieved by traditional methods. In particular, this relates to improving the quality indicators of the UAV control channels. The expansion of the communication channel bandwidth and the transition to channels with an ultra-wide bandwidth allows for an almost unlimited increase in the number of communication channels. By distributing modulation codes between UAVs in advance, their control is implemented without interception of control and mutual interference.

The most important criterion characterizing the effectiveness of wireless communication systems is the high potential specific data transfer density. It is defined as the value of the achievable total data transfer rate per square meter of the working area and has today the value of this indicator - about 1 Mbit / s.

The use of short pulses prevents intersymbolic distortions since the energy of the received pulse practically always has time to almost completely fade before the next pulse arrives. It also reduces the level of distortion of information signals caused by its multipath propagation.

A characteristic feature inherent in control and communication systems based on UWBS is the low probability of detecting both the fact of the temporary establishment of a communication channel and the impossibility of intercepting a unmanned aerial vehicles control channel.

Simultaneous noise-free operation in the same frequency range of both traditional narrow-band communication systems and UWBS systems is due to the fact that the level of the control signal does not exceed the noise level in the working frequency range.

At the same time, a reduction in the power and radiation level of electromagnetic fields makes it possible to ensure that the requirements of electromagnetic compatibility are met at all stages of the development and implementation of UAV control and communication systems.

**Acknowledgment**

The authors express personal gratitude for the continued assistance and financial support to the group EMC of Research & Design Institute “Molniya”, EMC Certificate Test Center “Impuls”. Especially colleague Prof. Kravchenko V. I., Sen. Res. Knyazev V. V., Nemchenko Yu. S., Lesnoy I. P.

## REFERENCES

1. Qualifying Requirements QR-160D (2004), *Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment*, ARIAC.
2. *International Standard IEC 62305-1 Edition 2.0 2010-12* (2010), Annex A. Parameters of lightning current. Annex B. Time functions of the lightning current for analysis purposes.
3. Ruban I.V., Churyumov, G.I., Tokarev, V.V. and Tkachov, V.M. (2017), "Provision of Survivability of Reconfigurable Mobile System on Exposure to High-Power Electromagnetic Radiation", *Selected Papers of the XVII International Scientific and Practical Conference on Information Technologies and Security (ITS 2017)*, CEUR Workshop Processing, Kyiv, Ukraine, November 30, pp. 105–111.
4. Churyumov, G., Tokarev, V., Tkachov, V. and Partyka, S. (2018), "Scenario of Interaction of the Mobile Technical Objects in the Process of Transmission of Data Streams in Conditions of Impacting the Powerful Electromagnetic Field", *2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*, 21–25 Aug. 2018, pp. 183–186.
5. International Standard IEC 1000-4-92 (1992), *Immunity tests. Resistant to interference*, Level of noise immunity.
6. Serkov, A., Breslavets, V., Tolkachov, M. and Kravets, V. (2018), "Method of coding information distributed by wireless communication lines under conditions of interference", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No.2, pp. 145–148, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.25>
7. Serkov, A., Kravets, V., Sokolov, S., Breslavets, V., Shevtsova, V., Tolkachev, M., Marchenko, D. and Lazurenko, B. (2018), "Computer modeling of the process of stress and current generation in cable communication lines as a result of electromagnetic field, accompanying lightning discharge", *Research report under the contract No. 65708*, December 22 2017 (2018), 57 p.
8. Makarenko, S.I. (2017), *Informational confrontation and electronic warfare in the network-centric wars of the beginning of the XXI century*, High Technologies, St. Petersburg, 546 p.
9. Harmuth, H.F. (1981), *Non sinusoidal Waves for Radar and Radio Communication*, Academic Press, New York, London, Toronto, Sydney, San Francisco, 376 p.
10. Serkov, A., Breslavets, V., Tolkachov, M., Churyumov, G. and Issam, Saad (2017), "Noise-like signals in wireless information transmission systems", *Advanced Information Systems*, 2017, Vol. 1, No. 2, pp. 33–38, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.06>
11. Serkov, A.A. and Churyumov, G.I. (2017), "On the issue of solving the problem of electromagnetic compatibility of the wireless telecommunication systems", *Applied radio electronics*, Vol. 16, No. 3-4, pp. 117–121.
12. Varganov, M.E., Zinoviev, Yu.S. and Astanin, L.Yu. (1985), *Radiocative Characteristics of Aircraft*, Radio and Communication, Moscow, 236 p.
13. Kordo-Syssoev, A.F. and Prylevsky, V.L. (2000), "Powerful Sourced of Ultra wide Bond Pulsed Cogerent Signals", *"EUROEM 2000" Euro Electromagnetic*, Edinburg.
14. Serkov, A., Breslavets, V., Yakovenko, I. and Dziabenko, O. (2018), "Excitation of surface vibrations of semiconductor structures exposed to external electromagnetic radiation", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 3, pp. 142–146, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.25>
15. Serkov, O., Breslavets, V., Tolkachov, M. and Churyumov G. (2018), "The Wideband Pulsed Antenna and its Application", *9-th Inter. Conf. on Ultra wideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS-2018)*, September 4–7, Odessa, Ukraine, ISBN: 978-1-5386-2467-8, IEEE Catalog Number: CFP18587, pp. 340–343.
16. Marusenko, N.N. (2018), *Model and method for providing ultra-wideband wireless communications*, NTU "KhPI", Kharkov, 103 p.
17. Serkov, O.A., Breslavets, V.S., Tolkachov, M.Yu. and Churyumov G.I. (2018), *Method of Generation the Wideband Impulse Signals and Antenna for his Realization*, Patent appl. of Ukraine, for utility model number a 2018 03104; appl. 26.03.2018.
18. Serkov, A. and Churyumov G. (2018), "Ultra Wideband Signals in Wireless Control Systems and Communication", *4-th China-Ukraine Science and Technology Forum*, September 14–19, Harbin Institute of Technology, Harbin, China.

Received (Надійшла) 11.03.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.05.2019

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Серков Олександр Анатолійович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри систем інформації, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

**Aleksandr Serkov** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Information Systems Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [saa@kpi.kharkov.ua](mailto:saa@kpi.kharkov.ua); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6446-5523>

**Пустовойтов Павло Євгенович** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри систем інформації, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

**Pavel Pustovoitov** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Information Systems Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [p.pustovoitov@gmail.com](mailto:p.pustovoitov@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3884-0200>

**Яковенко Ігор Володимирович** – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри систем інформації, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

**Igor Yakovenko** – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Professor of Information Systems Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [yakovenko60iv@ukr.net](mailto:yakovenko60iv@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0963-4347>

**Лазуренко Богдан Олександрович** – магістрант кафедри систем інформації, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

**Bohdan Lazurenko** – Master Student of Information Systems Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [torroloco789@gmail.com](mailto:torroloco789@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3339-1402>

**Чурюмов Геннадій Іванович** – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фотоніки та лазерної інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;

**Gennady Churyumov** – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Professor of Physical Foundations of Electronic Engineering Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [g.churyumov@ieee.org](mailto:g.churyumov@ieee.org); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4826-510X>

**Токарев Володимир Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електронних обчислювальних машин, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;

**Volodymyr Tokariev** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Electronic Computers Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [tokarev.v@ukr.net](mailto:tokarev.v@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4854-7403>

**Ванг Наннан** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри мікрохвильових пристроїв, Харбінський технологічний інститут, Харбін, Китай;

**Wang Nannan** – PhD (Technical Sciences), Associate Professor, Associate Professor of Microwave Engineering Department, Harbin Institute of Technology, Harbin, China;

e-mail: [wangnn@hit.edu.cn](mailto:wangnn@hit.edu.cn); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4231-9330>

### Надширокопосмугові технології в системах управління мобільними об'єктами

О. А. Серков, П. Е. Пустовойтов, І. В. Яковенко, Б. О. Лазуренко, Г. І. Чурюмов, В. В. Токарев, Ванг Наннан

**Анотація.** Предметом вивчення є процеси забезпечення завадостійкості безпроводових каналів управління та зв'язку мобільних об'єктів. **Мета** – підвищення пропускної здатності та завадостійкості систем управління та зв'язку в умовах дії природних та штучних завад. В основу **концепції** покладено технологію надширокопосмугового зв'язку, суть якої полягає в передачі малопотужних кодованих імпульсів в дуже широкій смузі частот без несучої частоти. **Задача** – забезпечення усталеної та безпечної роботи мобільних об'єктів. Використані **методи**: методи аналітичного, імітаційного моделювання та часового позиційно-імпульсного кодування. Отримані наступні **результати**. Розроблена концепція забезпечення безпеки в безпроводових каналах управління та зв'язку мобільних об'єктів. Показано, що для отримання високої завадостійкості каналів управління і зв'язку та захисту інформації від перехоплення слід застосовувати технологію безпроводового надширокопосмугового зв'язку, яка дозволяє забезпечити великі обсяги та швидкості передачі інформації. Обґрунтовано можливість сумісної беззавадової роботи в одному частотному діапазоні як традиційних вузькопосмугових систем зв'язку, так і систем, які використовують надширокопосмугові сигнали. Запропоновано технічне рішення щодо конструкції надширокопосмугової приймально-передавальної антенної системи. **Висновки.** Використання каналів із надширокою смугою частот дає можливість практично необмеженого збільшення кількості каналів управління та зв'язку мобільних об'єктів. Попередній розподіл між каналами ортогональних кодів реалізує процес управління та зв'язку без перехоплення інформації та взаємних завад. Причому, використання методу часового позиційно-імпульсного кодування запобігає виникненню міжсимвольних спотворень кодуємих надкоротких імпульсів. При цьому також знижується рівень спотворень інформаційних сигналів, які викликані його багатопроменевим розповсюдженням, що гарантує безпеку управління мобільними об'єктами.

**Ключові слова:** система управління; мобільний об'єкт; завадостійкість; пропускна здатність.

### Сверхширокополосные технологии в системах управления мобильными объектами

А. А. Серков, П. Е. Пустовойтов, И. В. Яковенко, Б. А. Лазуренко, Г. И. Чурюмов, В. В. Токарев, Ванг Наннан

**Аннотация.** Предметом изучения являются процессы обеспечения помехоустойчивости беспроводных каналов управления и связи мобильных объектов. **Цель** – повышение пропускной способности и помехоустойчивости систем управления и связи при действии естественных и преднамеренных помех. В основу **концепции** положена технология сверхширокополосной связи, которая заключается в передаче маломощных кодированных импульсов в очень широкой полосе частот без несущей частоты. **Задача** – обеспечение устойчивой и безопасной работы мобильных объектов. Используются **методы**: методы аналитического, имитационного моделирования и временного позиционно-импульсного кодирования. Получены следующие **результаты**. Разработана концепция обеспечения безопасности в беспроводных каналах управления и связи мобильных объектов. Показано, что для получения высокой помехоустойчивости каналов управления и связи и защиты информации от перехвата следует применять технологию беспроводной сверхширокополосной связи, которая позволяет обеспечить большие объемы и скорости передачи информации. Обоснована возможность совместной беспомеховой работы в одном частотном диапазоне как традиционных узкополосных систем связи, так и систем, использующих сверхширокополосные сигналы. Предложено техническое решение по конструкции сверхширокополосной приемно-передающей антенной системы. **Выводы.** Использование каналов со сверхширокой полосой частот дает возможность практически неограниченного увеличения числа каналов управления и связи мобильных объектов. Предварительное распределение между каналами ортогональных кодов реализует процесс управления и связи без перехвата информации и взаимных помех. Причем, применение метода временного позиционно-импульсного кодирования предотвращает межсимвольные искажения кодируемых сверхкоротких импульсов. При этом также снижается уровень искажений информационных сигналов, вызванных его многолучевым распространением, что гарантирует безопасность управления мобильными объектами.

**Ключевые слова:** система управления; мобильный объект; помехоустойчивость; пропускная способность.

# Methods of information systems synthesis

УДК 621.391

doi: 10.20998/2522-9052.2019.2.05

В. В. Гордійчук

Інститут Військово-Морських Сил НУ “Одеська морська академія”, Одеса, Україна

## МЕТОДИКА ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ РАДІОСТАНЦІЙ З ПСЕВДОВИПАДКОВОЮ ПЕРЕСТРОЙКОЮ РОБОЧОЇ ЧАСТОТИ НА ОСНОВІ ТАЙМЕРНИХ СИГНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ В УМОВАХ ВПЛИВУ НАВМИСНИХ ЗАВАД

**Анотація.** Однією з важливих характеристик систем і засобів радіозв'язку, які функціонують в умовах радіоелектронного подавлення, є їх скритність, що є здатністю систем і засобів радіозв'язку протистояти дії засобів радіотехнічної розвідки. Одним з напрямків підвищення завадозахищеності та скритності засобів радіозв'язку є використання технології псевдовипадкової перестройки робочої частоти. Проведений автором статті аналіз відомих наукових джерел показав, що вони орієнтовані на позиційні сигнально-кодові конструкції та в них не використовуються таймерні сигнально-кодові конструкції. Автором статті проведено розробку методики вибору раціональних значень параметрів радіостанцій з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти на основі таймерних сигнальних конструкцій в умовах впливу навмисних завад. В ході дослідження автором були використані основні положення теорії зв'язку, теорії радіоелектронної боротьби, теорії сигналів та загальнонаукові методи аналізу та синтезу. Зазначена методика відрізняється від існуючих тим, що в методиці реалізовано вибір параметрів частотно-часової матриці таймерних сигнальних конструкцій в залежності від сигнально-завадової обстановки, що реалізує не тільки зміну швидкості перестройки робочих частот, але й зміну початкового заповнення полінома в залежності від типу та інтенсивності завад; використані завадостійкі та спектрально-ефективні сигнально-кодові конструкції, що підвищує завадозахищеність та швидкість передачі засобів радіозв'язку при дії навмисних завад. Ефективність використання алгоритму вибору параметрів частотно-часової матриці можливо оцінити по вирашу у ймовірності помилкового приймання сигналів, що забезпечується при перестройці режиму від початкового. Отже сумарний вираш від використання розробленої методики складає до 15-20% у порівнянні з використанням частотної модуляції і циклічних кодів при однаковій пропускну здатності при впливі різних видів навмисних завад та з використанням алгоритму формування частотно-часової матриці 20-25%. Враховуючи зазначене, напрямком подальших досліджень слід вважати розробку науково-методичного апарату підвищення структурної скритності засобів радіозв'язку на основі використання таймерних сигнальних конструкцій.

**Ключові слова:** система радіозв'язку; радіоресурс; завадозахищеність; радіоелектронне подавлення; радіоелектронна розвідка; скритність.

### Вступ

На фізичному рівні основними етапами перетворення сигналу в програмованій радіостанції є розширення спектру та модуляція (демодуляція) сигналу.

В якості методу розширення спектру передбачається використовувати метод псевдовипадкової перестройки робочої частоти (ППРЧ) (FHSS - frequency-hopping spread spectrum). Режим FHSS неодноразово проявив себе як ефективний в умовах впливу навмисних завад, будучи реалізованим у переважній більшості сучасних засобів зв'язку військового призначення.

В якості цифрових методів модуляції сигналу пропонується застосування спектрально-ефективних  $M$  позиційно фазоманіпульованих (ФМ- $M$ ),  $M$  позиційних сигналів з квадратурною амплітудною маніпуляцією (КАМ- $M$ ) та амплітудно-фазової модуляції АФМ- $M$  [1-4].

Завдання знаходження сигнально-кодових конструкцій (СКК) звичайно вирішується шляхом аналізу енергетичних і частотних характеристик засобів радіозв'язку (ЗРЗ) для конкретних умов використання цих сигнально-кодових конструкцій [2].

У відомих роботах [1, 4] в умовах впливу навмисних завад сигнально-кодові конструкції вибиралися шляхом максимізації енергетичної ефективності при обмеженнях значення коефіцієнта завадозахищеності для середніх значень відношення сигнал-завада у дискретному симетричному каналі та при використанні аналітичних залежностей для розрахунку пропускну спроможності дискретного симетричного каналу, ефективних тільки для середніх відношень сигнал-завада, що відповідають ймовірності бітової помилки  $P_0 < 10^{-6}$ . У цих роботах не враховується те, що засоби радіозв'язку із FHSS в умовах впливу навмисних завад можуть працювати при низьких відношеннях сигнал-завада.

Проведений аналіз відомих наукових досягнень виявив те, що в існуючих методиках вибору параметрів засобів радіозв'язку не реалізована адаптивна зміна швидкості та закону перестройки робочої частоти у поєднанні з адаптивною зміною сигнально-кодової конструкції [1-5].

**Метою** зазначеної статті є розробка методики вибору раціональних значень параметрів радіостанцій з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти на основі таймерних сигнальних конструкцій в умовах впливу навмисних завад.

### Виклад основного матеріалу

Реалізація методики вибору параметрів засобів радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти в залежності від сигнально-завадової обстановки дозволить розширити можливості роботи засобів радіозв'язку та підвищити швидкість передачі.

#### Постановка задачі.

**Задано:** параметри радіозасобів та каналу зв'язку  $\Psi = \{\psi_i\}$ ,  $i = 1, m$ , де  $\psi_1 \dots \psi_m$  – потужність корисного сигналу, тривалість імпульсу сигналу, смуга пропускання каналу зв'язку, вид навмисної завади, відношення сигнал/завада, швидкість стрибків, робоча частота, види модуляції, мінімально необхідна швидкість передачі інформації (необхідна пропускна спроможність), набір коригувальних кодів з відповідними параметрами: швидкість кодування, граничне значення відношення сигнал/шум в каналі, при якому коригувальний код починає давати вигоду порівняно з модуляцією без кодування.

**Необхідно:** визначити значення параметрів сигналу (вид і параметри TSC (timer signal constructions – таймерні сигнальні конструкції), кількість та швидкість стрибків, потужність передавача), при яких мінімізується ймовірність біткової помилки  $P_b$  при виконанні обмежень на швидкість передачі в каналі  $v_i \geq v_{i, \text{доп}}$ .

**Обмеження та допущення:** вид модуляції – фазова модуляція (ФМ-М) та квадратурна амплітудна модуляція (КАМ-М), де  $M$  – обсяг ансамблю сигналів; розмірність ансамблю сигналів  $2 \leq M \leq 16$ ; вид завадостійкого коду – турбокод зі швидкістю  $0,2 \leq R \leq 0,75$ ; ймовірність помилкового приймання  $P_b \leq 10^{-2}$ , види навмисних завад: шумова загороджувальна завада, шумова завада в частині смуги, багатональна завада, ретрансльована завада. Для простоти проведення розрахунків навмисних завад будемо вважати їх як обмежений по смузі адитивний білий гаусівський шум зі спектральною щільністю потужності  $G_3$  та різним коефіцієнтом  $\gamma$ , що характеризує частину смуги, яку займає завада.

Задача визначення параметрів сигналу з мінімальною ймовірністю біткової помилки в системі з FHSS зводиться до типової оптимізаційної [1–5]:

$$\begin{cases} P_b = F_1(v_1, M, n, R, d, Q_3^2, P_c, K_{\text{п}}, K_{\text{ш}}) \rightarrow \min; \\ v_1 = F_2(M, n, R, d, Q_3^2, K_n) \geq v_{1, \text{доп}}. \end{cases} \quad (1)$$

Таким чином, вибір оптимальних параметрів радіозасобів з FHSS зводиться до адаптивного регулювання потужності сигналу, вибору режиму роботи FHSS та зміни параметрів СКК в залежності від завадової обстановки.

З [2] слідує, що, якщо множина допустимих розв'язків складається зі скінченного числа точок, що задаються обмеженнями системи рівнянь (1), то оптимізаційна задача може бути вирішена прямим перебором всіх значень цільової функції.

Методика вибору раціональних значень параметрів радіозасобів з FHSS проілюстрована на рис. 1

у вигляді алгоритму для її реалізації. Основні етапи методики є такими.

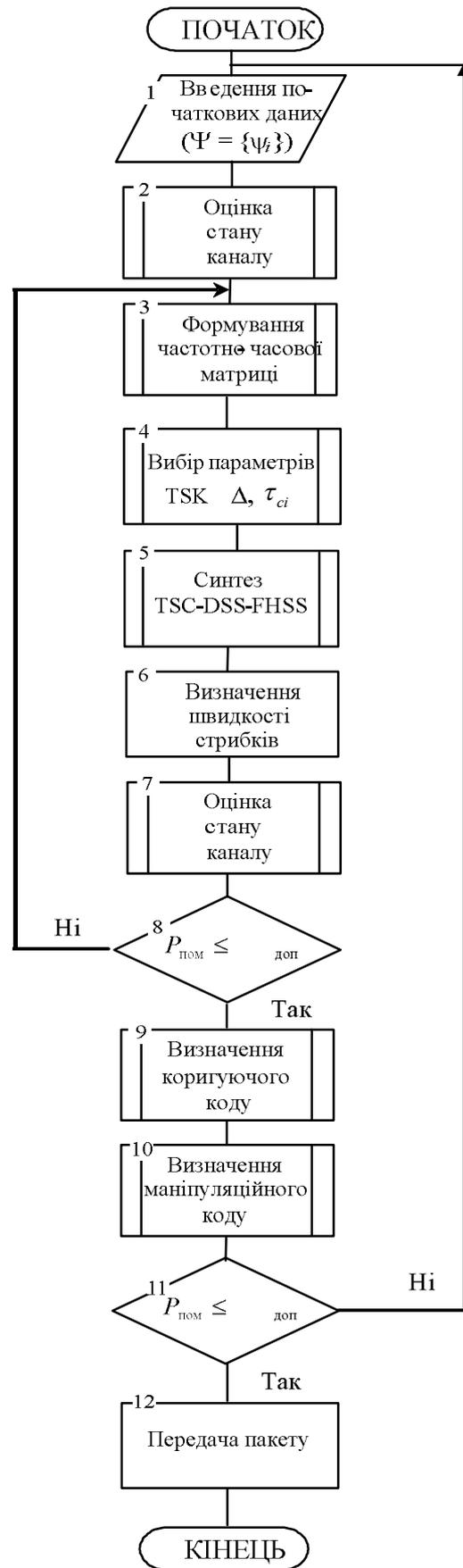


Рис. 1. Алгоритм реалізації методики

*Дія 1. Введення початкових даних.* Вводяться параметри передавального пристрою і каналу зв'язку  $\Psi = \{\psi_i\}$ ,  $i = \overline{1, m}$ , а також заданої швидкості передачі інформації  $v_{i \text{ доп}}$ .

*Дія 2. Оцінювання стану каналу зв'язку.* Для проведення аналізу якості каналу зв'язку застосовують дві групи методів аналізу часових рядів. До першої групи відносяться методи сумісної обробки вимірювань – найменших квадратів, максимальної правдоподібності, найменших модулів, непараметричні методи тощо [5, 6], які для отримання результату (оцінки) вимагають накопичення деякої вибірки об'ємом  $n$  - вимірювань (як правило,  $n \gg 1$ ) і досить поширені на практиці. Другу групу утворюють методи, що використовують послідовну (по мірі надходження вимірювань) обробку даних. Їх теоретичною базою є оптимальна лінійна і нелінійна фільтрація [5, 6]. Важливо відзначити, що методи, засновані на оптимальній фільтрації вимірювань, можуть застосовуватися при більш загальних припущеннях (нестационарний характер процесів, що аналізуються, випадковість різних факторів тощо). Ця обставина разом з істотними перевагами обчислювального порядку, що проявляються при рішенні задач оцінювання по мірі проведення вимірювань (особливо для великих масивів даних), робить доцільним і актуальним використання методів оптимальної фільтрації для синтезу алгоритмів динамічного контролю якості робочих і резервних каналів зв'язку.

*Дія 3. Формування частотно-часової матриці та визначення швидкості стрибків* – на даному етапі визначається закон та швидкість перестройки робочої частоти в залежності від стану каналу, при цьому стовбець матриці є часовою позицією, а рядок відповідає умовному номеру частоти [3]. Для порівняння різних ЗРЗ з FHSS в якості однієї з ознак використовується швидкість стрибків частоти за одиницю часу. По цій ознаці розрізняють ЗРЗ з повільною, середньою та високою швидкістю перебудови частотних елементів. Для адекватного формування частотно-часової матриці необхідно зазначити те, що на ЗРЗ з FHSS впливають навмисні завади та різні види завмирань. Отже, якщо час роботи на одній частоті  $T_c < t_3$ , то на демодульований сигнал вплив амплітудних та частотно-селективних завмирань не відбувається. Якщо  $T_c > t_3$ , то вплив складової багатопроменевого поширення залежить від смуги частот модульованого сигналу, а також від швидкості стрибків. Для ЗРЗ з повільним FHSS час роботи на одній частоті  $T_c \gg T_s$  тривалості передачі символу. Оскільки припускається, що  $T_c > t_3$ , то всі складові багатопроменевого поширення будуть на вході приймача протягом одиниці часу, поки сигнал знаходиться на одній і тій самій частоті, тому вплив багатопроменевого поширення буде таким самим, як і при відсутності частотних стрибків.

Передатна характеристика еквівалентного низькочастотного каналу змінюється кожного разу, коли несуча перестроюється на нову частоту, тому що є функцією несучої частоти. Як наслідок, при  $T_c > t_3$

стрибки частоти видаляють вплив багатопроменевого поширення на процес демодуляції.

Алгоритм формування частотно-часової матриці складається з наступних етапів [4, 5]:

1. Визначення виду і характеристик навмисних завад.
2. Складання матриці гри радіоелектронного конфлікту.
3. Перевірка значення коефіцієнта перекриття та часу затримки.
4. Збільшення швидкості перестроювання робочої частоти.
5. Перевірка коефіцієнту розширення спектру.
6. Перевірка швидкості перестроювання робочої частоти на предмет максимального значення.
7. Збільшення коефіцієнту розширення спектру.
8. Перевірка коефіцієнту розширення спектру на предмет максимального значення.
9. Зміна початкового заповнення поліному частотно-часової матриці.

На першому етапі відбувається оцінювання каналу зв'язку на присутність у ньому навмисних завад, визначається вид завади та її параметри. При дії ретрансльованої завади на другому етапі перевіряється коефіцієнт перекриття  $\gamma$ . В залежності від значення  $\gamma$  та  $t_3$  відбувається зміна швидкості перестроювання робочої частоти (етап 6, 7) або зміна початкового заповнення поліному частотно-часової матриці (етап 10).

*Дії 5,6. Вибір параметрів TSC. Синтез TSC-FHSS.*

У FHSS використовується алгоритм навмисного розширення спектра інформаційного сигналу в межах великого діапазону частот, що забезпечує йому суттєвого зменшення його рівня спектральної щільності. При цьому робоча частота несучого коливання сигналу передавача змінюється відповідно до деякого закону, який відомий тільки приймачу завадозахищеної системи зв'язку. В приймачі при виділенні інформаційного сигналу виконується зворотна операція по відновленню його початкової смуги частот.

Основною перевагою системи зв'язку з FHSS є складність прослуховування сигналу, що передається, або придушення його вузькосмуговою завадою через постійну зміну частоти несучого коливання підканалу. Таким чином, ускладнюється виявлення енергії сигналу в ефірі та знижується ймовірність перехоплення повідомлень засобами радіотехнічної розвідки [7, 8]. Подальшим підвищенням ефективності систем зв'язку з FHSS є застосування більш складніших за формою сигнальних конструкцій в індивідуальних каналах абонентів. Для рішення цієї задачі пропонується використовувати TSC, структурна прихованість яких була розрахована у роботі [7] у порівнянні з позиційними сигналами, що дозволяє зробити висновок про перспективність їх застосування при побудові завадозахищених систем зв'язку. Розрізняють повільну та швидку FHSS, але в повному обсязі дані методи неможливо застосувати до непозиційних сигнальних конструкцій.

Відомо [7], що більш стійким до завад є ширококутний сигнал, який сформований шляхом швидкого розширення спектра. Пояснюється це тим, що вплив вузькокутної завади на один з частотних підканалів  $f_i$  не приведе до повного спотворення біта, а дозволить відновити його полярність за мажоритарним принципом. Тривалість інтервалу перебування  $T_n$  пов'язана з тривалістю інформаційного символу  $t_0$  співвідношенням:

$$T_n = \frac{t_0}{k}, \quad (2)$$

де  $k$  – кількість частотних підканалів на інтервалі  $t_0$ .

Цієї властивості не має ширококутний сигнал з повільним розширенням спектра, проте його реалізація набагато простіша. Швидкість перебудови несучої частоти дорівнює або менше швидкості передавання бітової швидкості повідомлення. Тому, за період частотного підканалу може бути переданий один та більше біт. Тривалість  $T_n$  пов'язана з  $t_0$  співвідношенням:

$$T_n = K \cdot t_0, \quad (3)$$

де  $K$  – кількість біт, які приходяться на один частотний підканал.

За порядком використання робочих частот розрізняють системи зв'язку з послідовним FHSS, якщо в кожний момент часу передавання ведеться на одній частоті, й з паралельним FHSS, якщо передавання ведеться одночасно на декількох частотах [7]. Для сигналів із FHSS вводиться поняття бази, що характеризує розширення спектра

$$B = \frac{\Delta f_{прч}}{\Delta F_c}, \quad (4)$$

де  $\Delta f_{прч}$  – ширина використовуваного для передавання діапазону частот;  $\Delta F_c$  – ширина спектра передавального сигналу.

У системах зв'язку можуть застосовуватися складні сигнали, що використовують ФМ ПВП і FHSS. У цьому випадку база сигналу буде визначатися виразом  $B = M \times L$ , де  $M$  – база ФМ ПВП;  $L$  – база сигналу FHSS.

Розглянемо особливості побудови сигнальних конструкцій на основі FHSS і TSC. В роботі [8] доведена доцільність розширення спектра TSC за рахунок використання швидкої FHSS. На рис. 2 наведені часові діаграми, що пояснюють алгоритм передачі TSC ( $x_{TCK}(t)$ ) за допомогою FHSS ( $f_{прч-TCK}(t)$ ). Якщо тривалість імпульсів таймерних сигналів  $t_c$  кратна елементу  $\Delta$ , то вибір періоду однієї частоти може бути організовано з урахуванням рівності

$$t_{nep} = \Delta = \frac{t_0}{s}, \quad (5)$$

або

$$t_{nep} = \frac{t_0}{s \cdot i_\Delta}, \quad (6)$$

де  $i_\Delta$  – кількість підканалів на тривалість  $\Delta$ .

У бінарній системі з FHSS тривалості всіх імпульсів однакові, тому визначення значущих моментів відновлення (ЗМВ) прийнятих сигналів не представляє труднощів. У TSC перехід зі стану "0" в "1" і навпаки залежить від  $\Delta$  в  $t_c$ , тому для позначення переходу ЗМВ в роботі [8] запропоновано використовувати деякі фіксовані частоти, які при необхідності також можуть мінятися від одного сеансу передавання до іншого. Застосування додаткових частот дозволяє підвищити надійність виділення фронтів таймерного сигналу. Наприклад, на рис. 2 такими частотами є  $f_1$  для переходу імпульсу зі стану "1" в "0" і частота  $f_2$  – для переходу "0" в "1". При цьому очікуваний на прийманні сигнал із частотою  $f_3$  (заштрихована область), згідно із законом зміни частоти відповідно до деякого псевдовипадкового коду, заміниться сигналом із частотою  $f_1$ .

Аналогічно, замість очікуваного сигналу з частотою  $f_3$  (заштрихована область) буде прийнятий сигнал з частотою  $f_2$ , що дозволить визначити перехід імпульсу таймерної конструкції зі стану "0" в "1".

Розглянемо принципи побудови систем зв'язку на основі FHSS та TSC [7, 8]. TSC поступають на вхід першого модулятора, з виходу якого формується сигнал:

$$u(t) = x_{TCK}(t) U_0 \cos(\omega_0 t).$$

Потім  $u(t)$  надходить на другий модулятор, частота носійного коливання якого визначається кодовим сигналом. На виході буде сформований ширококутний сигнал:

$$u'(t) = x_{мск}(t) U_0 \cos(\omega_0 t) \cdot \cos(\omega(g(t)t)),$$

де  $\cos(\omega(g(t)t))$  – це набір частот, який представляє собою функцію від кодового сигналу.

Використання одноетапної модуляції спрощує схему передавача. На основі комбінації кодового сигналу відбувається вибір частоти носійного коливання, зміна параметра (наприклад, фази) якого відбувається з урахуванням значень полярності TSC на інтервалі  $\tau$ . Як зазначено в [8] для фіксування зміни фронтів таймерних сигналів запропоновано застосування відповідних додаткових частот.

Недоліком запропонованого методу є необхідність фіксування зміни полярності фронтів TSC за допомогою додаткових частот, тобто приймач повинен перебувати в постійному очікуванні приймання сигналів з частотою  $f_1$  й  $f_2$ . Як показано в попередній схемі передавача з одноетапною модуляцією, фіксування фронтів TSC при демодуляції можливо за рахунок фазової модуляції, тому додаткові частоти не потрібні.

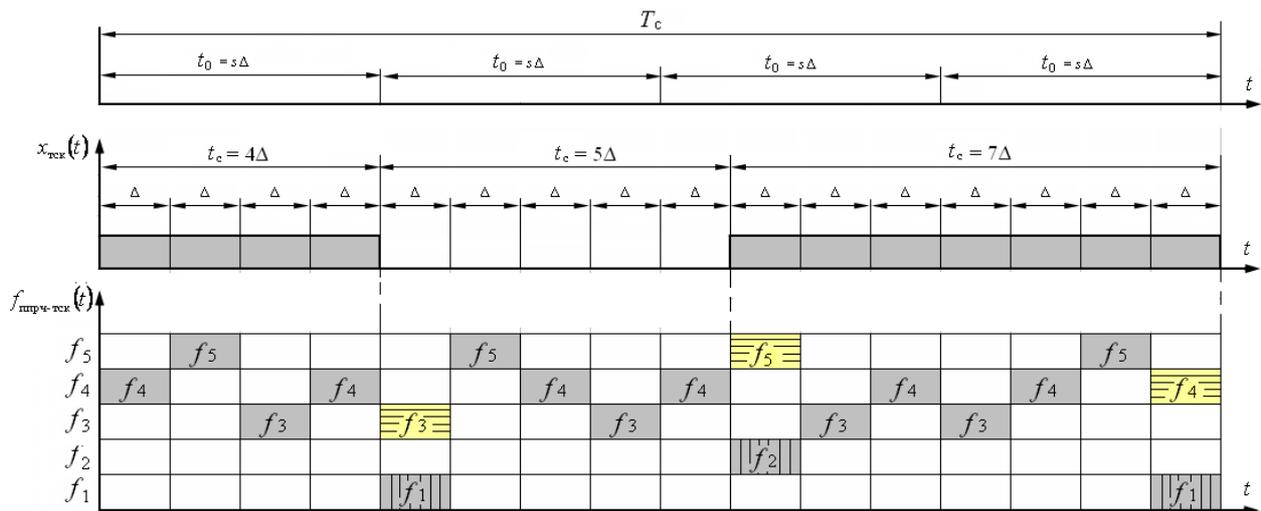


Рис. 2. Синтез сигнальної конструкції на інтервалі часу  $T_c = n\tau$  при спільному використанні TSC і FHSS

Підвищення прихованості передавання сигналів FHSS та усунення зазначених недоліків запропоновано наступний алгоритм адаптації метода швидкої FHSS до розширення спектру TSC:

визначаються параметри TSC  $s$ ,  $n$  та  $i$ ;

вибирається додаткова псевдовипадкова послідовність (ПВП) з тривалістю елементів

$$\tau = \Delta / j, \quad (7)$$

де  $j$  – кількість елементів  $\tau$  на тривалості часу  $\Delta$ ;

здійснюється розширення спектра TSC шляхом перемноження бінарних значень його амплітуд з амплітудами ПВП;

$$y_{TSC}(\tau) = x_{TSC}(\tau) \times c(\tau). \quad (8)$$

для елементів  $\tau$  послідовності  $y_{TSC}(\tau)$  застосовуються метод FHSS, але при цьому можливі варіанти, коли  $\tau$  співпадає з періодом  $t_{пер}$ , а також  $t_{пер} = \tau \cdot j$ , тобто один частотний підканал об'єднує кілька послідовностей  $\tau$ .

Як бачимо, у такому алгоритмі розширення TSC за допомогою FHSS не застосовані фіксовані частотні підканали для позначення переходів значущих моментів модуляції.

Для прийняття такого сигналу приймач системи зв'язку повинен мати не тільки закон зміни робочої частоти підканалів, але й послідовність прямого розширення спектру  $c(\tau)$  таймерної сигнальної конструкції. Це потребує для виділення фронтів TSC застосування кореляційного приймача з опорним коливанням  $c(\tau)$ .

Таким чином, запропонований метод формування сигнальних конструкцій на основі FHSS з попереднім розширенням спектра TSC псевдовипадковими послідовностями дозволяє підвищити основні показники прихованості передачі: енергетичної, структурної й інформаційної. Однак залишається відкритим питання про вибір основних параметрів FHSS і TSC для побудови сигнальних конструкцій із заданими показниками якості в залежності від стану каналу зв'язку.

Вибір розмірності ансамблю маніпуляції сигнально-кодових конструкцій – обирається розмірність ансамблю сигналів з завчасно відомих варіантів, а саме: одномірних, двомірних та багатомірних сигналів. Вибір розмірності сигналу залежить від складності СКК, тобто при ускладненні СКК збільшується розмірність сигналу.

Вибір структури ансамблю маніпуляції сигнально-кодової конструкції – обирається структура ансамблю сигнально-кодової конструкції з завчасно відомих варіантів, а саме: на основі квадратної решітки, на основі трикутної решітки, ортогональні, біортогональні, симплексні. Зазначений вибір проводиться за умови мінімізації  $P_6$ , тобто чим менше  $P_6$ , тим простіша сигнальна конструкція.

Дія 9. Вибирається вид коригуючого коду. Обирається коригуючий код з завчасно відомих варіантів, а саме: турбо-коди, згорткові коди, каскадні коди. Різні види завадостійких кодів детально розглянуті в [7, 8]. Турбо-коди найбільш близько підходять до границі Шеннона, теоретичної межі максимальної пропускної здатності зашумленого каналу.

Перевагами турбо-кодів є незалежність складності декодування від довжини інформаційного блоку, порівняно невелика кодова відстань. Основні недоліки турбо-кодів – це відносно висока складність декодування і велика затримка, які роблять їх незручними для застосування у деяких сферах.

Дія 10. Вибирається маніпуляційний код. При узгодженні кодеку двійкового завадостійкого коду і модему багатопозиційних сигналів, необхідно використати маніпуляційний код, при якому збільшенню відстані по Хемінгу між кодовими комбінаціями відповідає більша відстань по Евкліду між сигналами, що відповідають їм. Як маніпуляційний код найкращим є код Грея у випадку відсутності апріорної інформації, тобто оптимальним для схем, що не використовують ітеративні методи декодування, а у випадках використання ітеративних методів MSP (modified set partitioning) – модифікований маніпуляційний код та MSEW (maximum squared Euclidean weight) – модифікований маніпуляційний код знаходження максимальної вагових коефіцієнтів Евкліда [2, 3].

Дії 11,12. Перевірка вимог по забезпеченню завадозахищеності ЗРЗ.

Якщо вимоги по забезпеченню  $P_{ном}$  не виконуються, то виникає необхідність зміни вихідних даних. В тому випадку, якщо для декількох СКК виконується обмеження  $P_{ном} \leq P_{ном доп}$ , то обирається СКК з мінімальною ймовірністю бітової помилки.

### Висновки

В зазначеній статті автором дослідження проведено розробку методики вибору раціональних значень параметрів радіостанцій з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти на основі таймерних сигнальних конструкцій в умовах впливу навмисних завад.

Зазначена методика відрізняється від існуючих тим, що в методиці реалізовано вибір параметрів частотно-часової матриці таймерних сигнальних конструкцій в залежності від сигнально-завадової обстановки, що реалізує не тільки зміну швидкості перестройки робочих частот, але й зміну початково-

го заповнення полінома, в залежності від типу та інтенсивності завад; використані завадостійкі та спектрально-ефективні СКК, що підвищує завадозахищеність та швидкість передачі ЗРЗ при дії навмисних завад.

Ефективність використання алгоритму вибору параметрів частотно-часової матриці можливо оцінити по вирашу у ймовірності помилкового приймання сигналів, що забезпечується при перестройці режиму TSC-FHSS від початкового. Отже, сумарний вираш від використання розробленої методики складає до 15-20% у порівнянні з використанням модуляції типу ЧМ-М і циклічних кодів при однаковій пропускній здатності при впливі різних видів навмисних завад та з використанням алгоритму формування частотно-часової матриці 20-25%.

**Напрямок подальших досліджень** слід вважати розробку науково-методичного апарату підвищення структурної скритності засобів радіозв'язку на основі використання таймерних сигнальних конструкцій.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шишацький А. В. Розвиток інтегрованих систем зв'язку та передачі даних для потреб Збройних Сил / А. В. Шишацький, О. М. Башкиров, О. М. Костина // Науково-технічний журнал "Озброєння та військова техніка". – Київ: ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2015. № 1(5)-2015. – С. 35–40.
2. Шишацький А. В. Методика вибору раціональних значень параметрів багатоантенних систем військового радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти / А. В. Шишацький, О. В. Кувшинов, С. П. Петрунчак // Системи озброєння і військова техніка. – 2017. – № 2 (50). – С. 151–155.
3. Кувшинов О. В. Аналіз шляхів підвищення скритності широкосмугових систем військового радіозв'язку / О. В. Кувшинов, А. В. Шишацький, В. В. Лютов, О. Г. Жук // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – Вип. 1 (50). – С. 24–28.
4. Шишацький А. В. Алгоритм вибору робочих частот для засобів військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад / А. В. Шишацький, В. В. Ольшанський, Р. М. Животовський // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 2(46). – С. 62–66.
5. Шишацький А. В. Оцінка впливу навмисних завад на системи радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти / Шишацький А. В., Зірка М. В., Кадет Н. П., Лютов В. В. // Проблеми інформатизації та управління. – Київ: НАУ, 2015. – № 4(52). – С. 37–44.
6. Method of integral estimation of channel state in the multiantenna radio communication systems / S. Kalantaievska, H. Pievtsov, O. Kuvshynov, A. Shyshatskiy, S. Yarosh, S. Gatsenko, H. Zubrytskyi, R. Zhyvotovskiy, S. Petruk, V. Zuiko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 5, 9 (95), P. 60–76.
7. Захарченко, М. В. Системи передавання даних, том 1 / М. В. Захарченко. – Завадостійке кодування : Підр. для студентів ВНЗ. – Одеса : Фенікс, 2009. – 448 с.
8. Захарченко Н. В. Сравнение позиционного и таймерного кодирования / Н. В. Захарченко, С. М. Горохов, А. В. Кочетков, В. В. Гордейчук // Збірник наукових праць ВІПІ. – № 1 – 2016. – С. 59–63.

### REFERENCES

1. Shyshatskiy, A.V., Bashkirov, O.M. and Kostina, O.M. (2015), "Development of integrated systems and data for Armed Forces", *Arms and military equipment*, No 1(5), pp. 35–40.
2. Shyshatskiy, A.V., Kuvshynov, O.V. and Petrunchak, S.P. (2017), "Method of choice of rational values of parameters of multi-antenna systems of military radio communication with frequency hopping spread spectrum", *Systems of armament and military equipment*, No. 2 (50), pp. 151–155.
3. Kuvshynov, O.V., Shyshatskiy, A.V., Lyutov, V.V. and Zhuk, O.G. (2017), "Analysis of ways to increase the secrecy of broadband radiocommunication systems", *Collection of scientific works of Kharkiv National University of Air Forces*, No. 1 (50), pp. 24–28.
4. Shyshatskiy, A.V., Olshansky, V.V. and Zhyvotovskiy, R.M. (2016), "Algorithm of choice of working frequencies for means of military radio communication under the conditions of intentional interference", *Systems of armament and military equipment*, No. 2 (46), pp. 62–66.
5. Shyshatskiy, A.V., Zirka, M.V., Kadet, N.P. and Lyutov, V.V. (2015), "Estimation of influence of deliberate interference on radio communication systems with pseudorandom perestroika of operating frequency", *Problems of informatization and control*, NAU, Kyiv, No. 4 (52), pp.37–44.
6. Kalantaievska, S., Pievtsov, H., Kuvshynov, O., Shyshatskiy, A., Yarosh, S., Gatsenko, S., Zubrytskyi, H., Zhyvotovskiy, R., Petruk, S. and Zuiko, V. (2018), "Method of integral estimation of channel state in the multiantenna radio communication systems", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5-9 (95), pp. 60–76, DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.144085>
7. Zakharchenko, M.V. (2009), "Interference-encoding", Textbook for undergraduate students, Phoenix, Odessa, 448 p.

8. Zakharchenko, M.V., Gorokhov, S.M., Kochetkov, O.V. and Hordiichuk V.V. (2016), "Comparison of positional and timer coding", *Collection of scientific works MITI*, No 1, pp.59–63.

Надійшла (received) 02.04.2019

Прийнята до друку (accepted for publication) 14.05.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Гордійчук Валерій Валентинович** – начальник науково-організаційного відділення, Інститут Військово-Морських Сил Національного університету "Одеська морська академія", Одеса, Україна;

**Valerii Hordiichuk** – Head of the Scientific and Organizational Department, Institute of Naval Forces of the National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, Ukraine;

e-mail: [gordiychukvalval@gmail.com](mailto:gordiychukvalval@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3665-4201>

**Методика выбора рациональных значений параметров радиостанций с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты на основе таймерных сигнальных конструкций в условиях влияния преднамеренных помех**

В. В. Гордейчук

**Аннотация.** Одной из важных характеристик систем и средств радиосвязи, функционирующих в условиях радиоэлектронного подавления, является их скрытность, что есть способностью систем и средств радиосвязи противостоять действию средствам радиотехнической разведки. Одним из направлений повышения помехозащищенности и скрытности средств радиосвязи является использование технологии псевдослучайной перестройки рабочей частоты. Проведенный автором статьи анализ известных научных источников показал, что они ориентированы на позиционные сигнально-кодовые конструкции и в них не используются таймерные сигнально-кодовые конструкции. Автором статьи проведена разработка методики выбора рациональных значений параметров радиостанций с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты на основе таймерных сигнальных конструкций в условиях воздействия преднамеренных помех. В ходе исследования автором были использованы основные положения теории связи, теории радиоэлектронной борьбы, теории сигналов и общенаучные методы анализа и синтеза. Указанная методика отличается от существующих тем, что в методике реализован выбор параметров частотно-временной матрицы таймерных сигнальных конструкций в зависимости от сигнально-помеховой обстановки, при этом реализуется не только изменение скорости перестройки рабочих частот, но и изменение первоначального заполнения полинома в зависимости от типа и интенсивности помех; использованы помехоустойчивые и спектрально-эффективные сигнально-кодовые конструкции, повышающие помехозащищенность и скорость передачи средств радиосвязи при действии преднамеренных помех. Эффективность использования алгоритма выбора параметров частотно-временной матрицы можно оценить по выигрышу вероятности ложного приема сигналов при перестройке режима от исходного. Итак, суммарный выигрыш от использования разработанной методики составляет до 15-20% по сравнению с использованием частотной модуляции и циклических кодов при одинаковой пропускной способности при воздействии различных видов умышленных помех и с использованием алгоритма формирования частотно-временной матрицы 20-25%. Учитывая указанное, направлением дальнейших исследований следует считать разработку научно-методического аппарата повышения структурной скрытности средств радиосвязи на основе использования таймерных сигнальных конструкций.

**Ключевые слова:** система радиосвязи; радиоресурс; помехозащищенность, радиоэлектронное подавление; радиоэлектронная разведка; скрытность.

**Method of selection of rational dimensions of parameters of radio stations with the frequency hopping spread spectrum on and the basis of timer signal constructions in the conditions of the intentional interference**

V. Hordiichuk

**Abstract.** One of the most important characteristics of systems and radiocommunication devices operating in conditions of radio-electronic suppression is their secrecy, which is the ability of systems and devices of radio communication to withstand the action of radiotechnical intelligence. One of the ways to increase the noise immunity and stealth the radio communication devices is to use the pseudorandom frequency adjustment technology. The analysis of well-known scientific sources by the author of the article showed that they are oriented to positional signal-code designs and do not use timer signal-code designs. The author of the article is devoted to the development of a method for selecting rational parameters of radio stations parameters with pseudorandom processing of frequency on the basis of timer signal structures in conditions of intentional interference. During the research, the author used the basic provisions of the communication theory, the theory of electron-fight theory, the theory of signals, and general scientific methods of analysis and synthesis. The mentioned technique differs from the existing ones because the method of selecting the parameters of the frequency-time matrix of timer signal structures, depending on the signal-interference situation, implements not only the change in the speed of the adjustment of operating frequencies, but also the change in the initial filling of the polynomial, depending on the type and intensity interference; noise immunity and spectrally effective signal-code designs have been used, improves noise immunity and speed of radio communication during intentional interference. The efficiency of using the algorithm for selecting the parameters of the time-frequency matrix can be estimated by gaining the probability of false reception of signals when the mode is restored from the original. Thus, the total gain from using the developed technique is up to 15-20% compared with the use of frequency modulation and cyclic codes at the same bandwidth under the influence of various types of intentional interference and using the algorithm for the formation of the frequency-time matrix of 20-25%. Taking into account the above, the direction of further research should be considered in the development of a scientific and methodical apparatus for increasing the structural stealth of radio communication devices based on the use of timer signal structures.

**Keywords:** radio communication system; radio resource; noise immunity; radio electron suppression; radioelectronic intelligence; stealth.

І. Я. Співак, С. Я. Крепич, В. І. Горішний

Тернопільський національний економічний університет, Тернопіль, Україна

## ОРГАНІЗАЦІЯ CLOUD-АРХІТЕКТУРИ ДЛЯ СИСТЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ПРИДАТНОСТІ СТАТИЧНИХ СИСТЕМ

**Анотація.** У статті розглядається підхід до організації Cloud-архітектури для систем забезпечення функціональної придатності статичних систем, а саме виконання системою покладених на неї функцій протягом певного часу та за певних умов експлуатації. У порівнянні з традиційним підходом, хмарне обчислення дозволяє управляти великою інфраструктурою та обслуговувати різні групи користувачів у межах однієї хмари. Вивчаються методи моделювання функціональної придатності статичних систем з акцентом на визначенні показника функціональної придатності, який математично формулюється як оптимізаційна задача з цільовою функцією забезпечення вимог до характеристик системи. Розв'язок задачі забезпечення функціональної придатності як нелінійної оптимізаційної задачі не може бути імплементований на практиці. Тому, оскільки виникає така проблема, доцільно функцію мети задачі забезпечення функціональної придатності формувати виходячи із заданих обмежень на значення вихідних характеристик. У такій постановці задачу забезпечення функціональної придатності можна розв'язати методом аналізу інтервальних даних. Паралельно, при розв'язуванні такої задачі, необхідно обчислити параметри елементів системи у такий спосіб, щоб із врахуванням їх відхилень, які задаються допусками, забезпечити функціональну придатність системи. Зазначені задачі мають надзвичайну практичну цінність, а існуючі методи її розв'язку - високу обчислювальну складність. Звідси можна зробити висновок, що розробка багатокористувацької системи на основі клієнт-серверної хмарної архітектури, яка б дала можливість реалізації з низькою обчислювальною та часовою складністю методів моделювання та забезпечення функціональної придатності статичних систем є актуальною задачею. В статті наведено приклад багатокористувацької програмної системи для різних типів моделей статичних систем, яка дає можливість вивчати дані задач забезпечення функціональної придатності, методів її оцінювання, а також аналізувати результати попередніх обчислень, які зберігаються в хмарі. Результати розробок, подані в статті, можуть бути інтерпретовані для задач моделювання різних типів статичних систем для спрощення їх часової та обчислювальної складності при реалізації.

**Ключові слова:** хмарні технології; функціональна придатність; статичні системи; багатокористувацька система.

### Вступ

Однією з основних властивостей статичних систем є їх функціональна придатність – виконання системою покладених на неї функцій протягом певного часу та за певних умов експлуатації. Для забезпечення функціональної придатності системи необхідним є врахування не лише технічних характеристик системи, а також параметрів компонентів, з яких вона складається.

Існуючі методи для розв'язування задачі аналізу та забезпечення функціональної придатності ґрунтуються на визначенні показника функціональної придатності, який математично формулюється як оптимізаційна задача з цільовою функцією забезпечення вимог до характеристик системи. Для забезпечення функціональної придатності систем широко застосовують градієнтні методи, методи стохастичного програмування та генетичні алгоритми. Однак при проектуванні статичних систем виникає проблема врахування часових змін параметрів та характеристик системи в процесі експлуатації. Також існуючі методи мають високу обчислювальну складність. Проте знедавна широкого застосування набули інтервальні методи аналізу та забезпечення функціональної придатності систем, зокрема метод оцінювання області параметрів багатовимірними еліпсоїдами, але хоча вони і забезпечують оцінювання функціональної придатності системи із заданою точністю, однак не враховують часових змін параметрів компонентів і не дають можливості одночасного знаходження оптимальних параметрів та їх допусків [5–7]. Дослідження існуючих програмних засобів для моделювання та

забезпечення функціональної придатності показало, що вони переважно є вузькоспеціалізованими до певних типів технічних систем чи технологічних процесів, а також характеризуються високою обчислювальною складністю реалізованих у них методів [1–5].

Виходячи із вищезазначеного, **метою даної статті** є розробка багатокористувацької системи на основі клієнт-серверної хмарної архітектури, яка б дала можливість реалізації з низькою обчислювальною та часовою складністю методів моделювання та забезпечення функціональної придатності статичних систем.

### Виклад основного матеріалу

У традиційній постановці, задача забезпечення функціональної придатності - це оптимізаційна задача, в якій цільова функція містить вимоги до характеристик системи. Проте, зазвичай, розв'язок задачі забезпечення функціональної придатності як нелінійної оптимізаційної задачі не може бути імплементований на практиці. Оскільки виникає така проблема, тоді доцільно функцію мети задачі забезпечення функціональної придатності формувати виходячи із заданих обмежень на значення вихідних характеристик. У такій постановці задачу забезпечення функціональної придатності можна розв'язувати методом аналізу інтервальних даних. Паралельно, при розв'язуванні такої задачі, необхідно обчислити параметри елементів системи у такий спосіб, щоб із врахуванням їх відхилень, які задаються допусками, забезпечити функціональну придатність системи. Зазначені задачі мають надзвичайну практичну цінність.

Зважаючи на вищезазначене, в статті пропонуються системи на основі клієнт-серверної хмарної

архітектури для визначення функціональної придатності різних типів статичних систем на основі двох методів: методу забезпечення функціональної придатності статичних систем з оптимізацією їх параметрів на основі аналізу інтервальних даних та методу забезпечення функціональної придатності статичних систем на основі аналізу інтервальних даних з урахуванням одночасного знаходження оптимальних параметрів статичних систем та їх допусків.

Концепція хмарних обчислень істотно змінила традиційний підхід до постачання, управління та інтеграції застосунків. У порівнянні з традиційним підходом, хмарне обчислення дозволяє управляти великою інфраструктурою, обслуговувати різні групи користувачів у межах однієї хмари. Використання хмарних обчислень дозволяє користувачам отримувати доступ до програмного забезпечення та програм, де б вони не знаходилися, а це, в свою чергу, означає, що їм не потрібно турбуватися про такі речі, як зберігання та потужність, вони можуть просто насолоджуватися кінцевим результатом [2].

Оскільки система буде виконувати розрахунково-зберігаючі дії: отримувати дані, опрацювати їх за певними алгоритмами та зберігати у постійній базі знань, а потім видавати ці дані на запит користувачів, то постає питання про використання баз даних у проекті та, відповідно, вибору мови програмування, що дозволить легко та без особливих труднощів працювати з базами даних.

Технологія Node.js - це прорив у світі високих технологій, яка дає можливість будувати високонавантажені застосунки з використанням простих механізмів [4]. Node.js - інфраструктура введення/виведення для JavaScript на UNIX-подібних платформах, з відкритим вихідним кодом та необхідними інструментами для легкого створення мережових та серверних застосунків. Особливістю даної технології є наявність пакетного менеджера NPM, який дає можливість підключення до бібліотеки з дуже великою кількістю унікальних модулів, які можуть бути легко використані на початку створення застосунків, платформ та програмного забезпечення. Крім того, всі процеси обробки запитів та операцій введення/виведення побудовані на подіях, а це означає відсутність способу блокування потоку, який на даний момент опрацюється, оскільки кожна операція в Node.js виконується асинхронно. В якості CASE-засобів було обрано середовище розробки JetBrains PhpStorm та термінал для керування

базами даних. Клієнт побудований з використанням таких технологій як VueJS, Apollo Client. Сервер побудований на основі технології GraphQL, яка дозволяє клієнтам визначати структуру необхідних даних, і аналогічна структура даних повертається з обчислювального сервера, що сильно скорочує час виконання запиту та дозволяє клієнтам вирішувати, які дані потрібні. За рахунок цього уникаються проблеми як із надмірним навантаженням, так із недоотриманням даних. Для збереження даних використовується база даних MongoDB, яка володіє гнучким JSON-форматом документів (а це зручніше, ніж додавання колонок в SQL-базах даних), також відсутність такої функціональності в системі, як створення складних запитів. Складні запити вирішуються на стороні застосунка. Тобто, якщо нам потрібно зробити щось на зразок JOIN, ми можемо зробити запит на вибірку даних, потім вибрати дані по посиланнях, а потім їх обробити на стороні застосунка, оскільки, насправді, для багатьох користувачів розробка application-серверів куди простіше. Детальніше розгляд транзакцій архітектури, зображеної на рис. 1, розглянемо на прикладі задачі “Забезпечення функціональної придатності системи підготовки гіпсоводної суміші в процесі виготовлення гіпсокартону”. Інтервальну модель функціональної придатності технологічного обладнання лінії з виробництва гіпсокартону подано у вигляді [1, 3]:

$$[\hat{t}_{v_i}^-; \hat{t}_{v_i}^+] = [2, 1; 2, 2] + [0, 029; 0, 031] \cdot d - [0, 056; 0, 064] \times \\ \times V_1 + [0, 13; 0, 15] \cdot V_2 - [0, 095; 0, 105] \cdot V_5 - [6, 62; 7, 03] \times \\ \times V_3 + [18, 7; 19, 9] \cdot V_4 - [0, 51; 0, 55] \cdot v_i + [0, 22; 0, 24] \cdot \tau,$$

де параметрами технологічного обладнання є швидкості подачі гіпсу -  $V_1$ , води з розчином крохмалем -  $V_2$ , піноутворювача -  $V_3$ , повітря -  $V_4$  та коректора часу затвердіння -  $V_5$ ; а характеристиками складників для виготовлення гіпсокартону є характеристики гіпсу, яку визначають як діаметр  $d$  плями розтікання фіксованого об'єму гіпсо-водної суміші, характеристики коректора затвердіння  $\tau$ , яка змінюється в залежності від часу зберігання.

Для кожної фіксованої швидкості лінії конвеєра відомі допустимі нижнє та верхнє значення часу затвердіння гіпсового осердя, зокрема для швидкості руху конвеєра 1м/хв., час твердіння гіпсового осердя складає [25;31] хв, для 2 м/хв. - [12,6;15,6] хв. тощо, звідси інтервальна модель (1) набуде такого вигляду:

$$25 \leq [1, 55; 1, 69] + [0, 029; 0, 031] \cdot d - [0, 056; 0, 064] \cdot V_1 + [0, 13; 0, 15] \cdot V_2 - [0, 095; 0, 105] \cdot V_5 - \\ - [6, 62; 7, 03] \cdot V_3 + [18, 7; 19, 9] \cdot V_4 + [0, 22; 0, 24] \cdot \tau \leq 31; \\ 12, 6 \leq [1, 1; 1, 18] + [0, 029; 0, 031] \cdot d - [0, 056; 0, 064] \cdot V_1 + [0, 13; 0, 15] \cdot V_2 - [0, 095; 0, 105] \cdot V_5 - \\ - [6, 62; 7, 03] \cdot V_3 + [18, 7; 19, 9] \cdot V_4 + [0, 22; 0, 24] \cdot \tau \leq 15, 6; \\ \dots \\ 3, 6 \leq [-1, 75; -1, 37] + [0, 029; 0, 031] \cdot d - [0, 056; 0, 064] \cdot V_1 + [0, 13; 0, 15] \cdot V_2 - [0, 095; 0, 105] \cdot V_5 - \\ - [6, 62; 7, 03] \cdot V_3 + [18, 7; 19, 9] \cdot V_4 + [0, 22; 0, 24] \cdot \tau \leq 4, 4; \\ 3, 15 \leq [-2, 3; -1, 88] + [0, 029; 0, 031] \cdot d - [0, 056; 0, 064] \cdot V_1 + [0, 13; 0, 15] \cdot V_2 - [0, 095; 0, 105] \cdot V_5 - \\ - [6, 62; 7, 03] \cdot V_3 + [18, 7; 19, 9] \cdot V_4 + [0, 22; 0, 24] \cdot \tau \leq 3, 85. \quad (2)$$

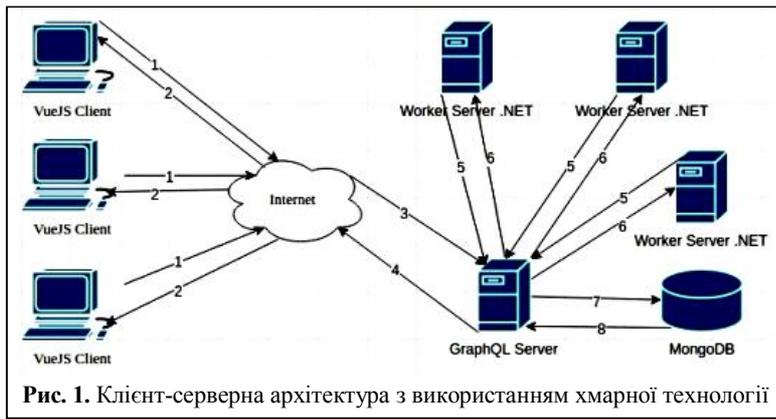


Рис. 1. Клієнт-серверна архітектура з використанням хмарної технології

Ці показники моделі виступають вхідною інформацією для обчислень від користувачів (одного або декількох одночасно) системою. На виході користувач отримує обчислені невідомі параметри та їх допуски. Також вихідною інформацією слугує стан проведення обчислень (час, кількість ітерацій, результат на певний момент часу) по різних типах задач, які описуються у вигляді статичних систем.

Запропонована нами система є унікальною і в тому плані, що дає можливість вивчати дані різних типів задач забезпечення функціональної придатності, а також аналізувати результати обчислень, які зберігаються в хмарі (рис. 2).

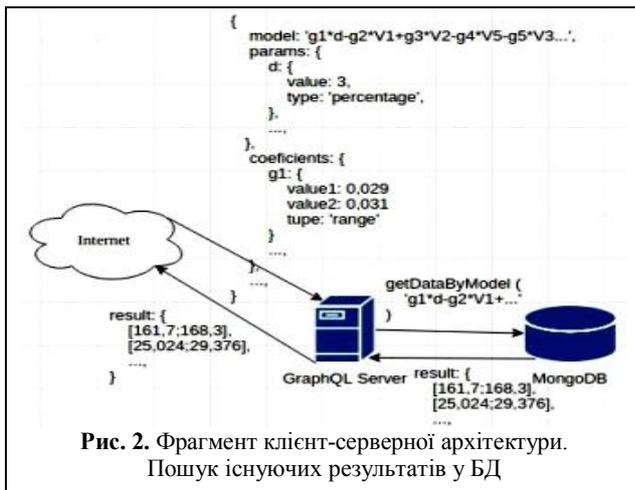


Рис. 2. Фрагмент клієнт-серверної архітектури. Пошук існуючих результатів у БД

На рис. 3 зображено фрагмент архітектури, який демонструє можливості системи, а саме – проведення обчислень методами оцінювання параметрів на основі аналізу інтервальних даних віддаленими обробними серверами на основі знову отриманих даних або використовуючи дані попередніх обчислень на певних ітераціях, які були збережені в хмарі. Особливість даної архітектури – кожний окремий обробний сервер може містити процедури різних обчислювальних методів. Це дає можливість використання такої архітектури великою кількістю різних користувачів, ціль яких – розв’язок задачі забезпечення функціональної придатності статичних систем.

На рис. 4 представлено перший крок розробленого програмного забезпечення для задач забезпечення функціональної придатності статичних систем, а саме - створення нової задачі (модель функці-

ональної придатності лінії по підготовці гіпсової суміші), а також короткий опис її призначення. Головне вікно програмної системи містить інформацію про стан обчислень по всіх задачах, які вже розв’язані або ще в процесі знаходження розв’язку. Задавши структуру моделі і початкові значення вхідних змінних інформація надсилається на обробний сервер, який містить всі процедури методів оцінювання вектора невідомих параметрів. Можливості системи дозволяють переглядати поточні результати під час обчислень, як

це показано на рис. 5.

Кінцевою метою розробки програмної системи є знаходження невідомого вектора параметрів системи із допускками на них, які забезпечують функціональну придатність зазначеної статичної системи, в даному випадку забезпечення функціональної придатності технологічного обладнання лінії по виробництву гіпсокартону, модель якої подана виразом (2) (рис. 6).

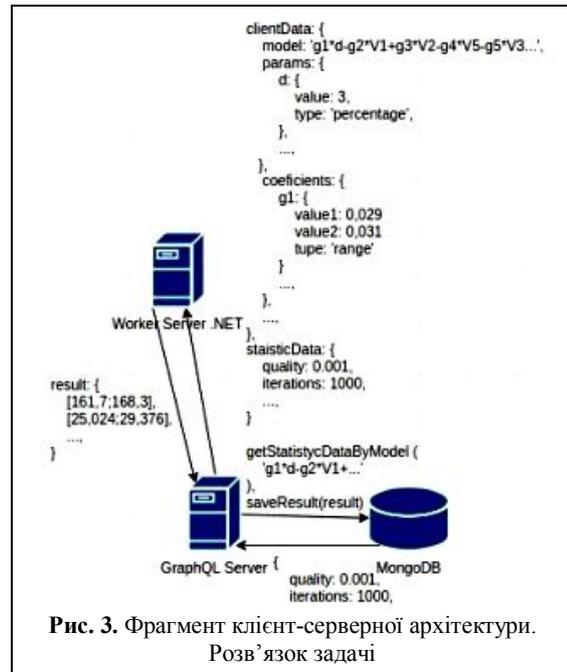


Рис. 3. Фрагмент клієнт-серверної архітектури. Розв’язок задачі

Рис. 4. Форма створення нової задачі

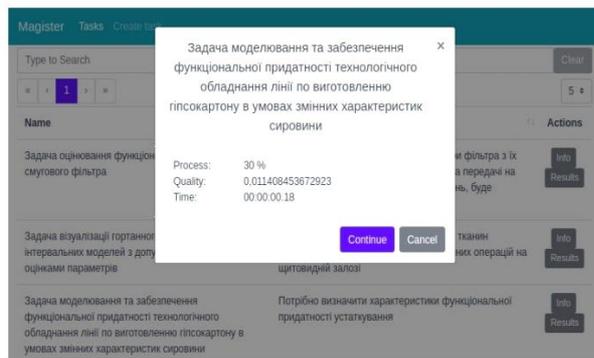


Рис. 5. Перегляд поточного результату

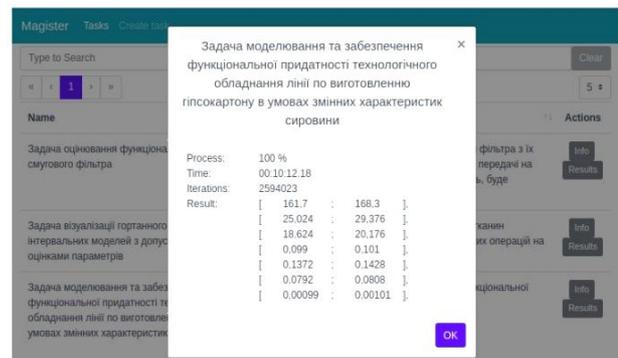


Рис. 6. Перегляд кінцевого результату

## Висновки

Програмних продуктів, які дають можливість оцінювати функціональну придатність статичних систем є багато, однак всі вони винятково спеціалізовані для проектування окремих технологічних процесів.

Іншим недоліком таких програмних комплексів є висока обчислювальна складність реалізованих у них методів та неможливість одночасного знахо-

дження оптимальних параметрів та умов забезпечення заданої функціональної придатності систем. Тому було вирішено розробити, на базі клієнт-серверної хмарної архітектури, універсальний багатокористувацький програмний комплекс для оцінювання вектору параметрів статичних систем на основі аналізу інтервальних даних, який би дав змогу зменшити часові та обчислювальні витрати при розв'язанні задач забезпечення функціональної придатності статичних систем.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Krepych S. The method of providing of functional suitability of elements of the device of formation of signal in electrophysiological way of classification tissues surgical wound / S. Krepych, I. Spivak, A. Dyvak, M. Dyvak // Proc. of XIII-th Int. Conf. on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design MEMSTECH'2017. – Lviv, 2017. – P. 183–186.
2. Горішний В.І. Програмне забезпечення для задач функціональної придатності статичних систем з використанням хмарних технологій / В. І. Горішний, І. Я. Співак, С. Я. Крепич // Актуальні наукові дослідження у сучасному світі. – Переяслав-Хмельницький, 2018. – Вип. 5(37), ч. 9. – С. 119–126.
3. Крепич С. Я. Моделювання та забезпечення функціональної придатності статичних систем методами аналізу інтервальних даних. Дисс. ... канд. техн. наук, Національний університет «Львівська політехніка», 2016.
4. Baranok A. Node.js. Basic concepts and technologies for creating web applications [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://la.by/blog/nodejsosnovnye-ponyatiya-i-tehnologii-sozdaniya-vebprilozheniy>.
5. Співак І. Я. Оцінювання часової складності застосування методу Монте-Карло та інтервального аналізу даних для встановлення функціональної придатності РЕК / С. Я. Крепич, І. Я. Співак // Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали АСІТ'2013. – Тернопіль: Економічна думка, 2013. – С. 36–37.
6. Крепич С. Я. Порівняльний аналіз методу Монте-Карло та методу довірчих еліпсоїдів при оцінюванні функціональної придатності РЕК / С. Я. Крепич, М. П. Дивак // Індуктивне моделювання складних систем: Зб. наук. пр. – К.: МННЦ ІТС НАН та МОН України, 2013. – Вип. 5. – С. 201–211.
7. Stakhiv P. Evaluation of the functional suitability of the device considering the technological parameters of random deviations from the nominal component aging processes / S. Krepych, P. Stakhiv, Yu. Bobalo // CPEE – AMTEE 2013: Joint conf. Comp. Problems of Electr. Eng. and Advanced Methods of the Theory of Electr. Eng., Roztoky u Křivoklátu, 2013. – P. VII-5.

## REFERENCES

1. Krepych, S., Spivak, I., Dyvak, A. and Dyvak M. (2017), "The method of providing of functional suitability of elements of the device of formation of signal in electrophysiological way of classification tissues surgical wound", *Proc. of XIII-th Int. Conf. on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design MEMSTECH'2017*, Lviv, pp. 183–186.
2. Horishni V., Spivak, I. and Krepych, S. (2018), "Software for the tasks of functional applications of static systems using cloud technologies", *Current scientific research in the modern world*, Pereyaslav-Khmelnytsky, Vol. 5 (37)-9, pp. 119–126.
3. Krepych, S. (2016), *Modeling and providing of functional suitability of static systems by methods of analysis of interval data*, Dissertation for technical sciences, National University "Lviv Polytechnic".
4. Baranok, A. (2018), *Node.js. Basic concepts and technologies for creating web applications*, available at: <http://la.by/blog/nodejsosnovnye-ponyatiya-i-tehnologii-sozdaniya-vebprilozheniy>.
5. Spivak, I. and Krepych, S. (2013), "Estimation of the time complexity of the Monte Carlo method and interval analysis of data to establish the functional suitability of the REC", *Modern computer information technologies: Materials of the Third All-Ukrainian School of Young Scientists and Students' Workshop ACIT'2013*, Economic Thought, Ternopil, pp. 36–37.
6. Krepych, S. and Dyvak, M. (2013), "Comparative analysis of the Monte Carlo method and the method of trusting ellipsoids in evaluating the functional pre-data of REC", *Inductive Simulation of Complex Systems*, ISSC ITS NAS and Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, No. 5, pp. 201–211.
7. Krepych, S., Stakhiv, P. and Bobalo Yu. (2013), "Evaluation of the functional suitability of the device considering the technological parameters of random deviations from the nominal component aging processes", *CPEE – AMTEE 2013: Joint conf. Comp. Problems of Electrical Eng. and Advanced Methods of the Theory of Electrical Eng.*, Roztoky u Křivoklátu, pp. VII-5.

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Співак Ірина Ярославівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук, Тернопільський національний економічний університет, Тернопіль, Україна;

**Iryna Spivak** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Science, Ternopil National Economic University, Ternopil, Ukraine;

e-mail: [spivak.iruna@gmail.com](mailto:spivak.iruna@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4831-0780>

**Крепич Світлана Ярославівна** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри комп'ютерних наук, Тернопільський національний економічний університет, Тернопіль, Україна;

**Svitlana Krepych** – Candidate of Technical Sciences, Lector of the Department of Computer Science, Ternopil National Economic University, Ternopil, Ukraine;

e-mail: [s.krepych@tneu.edu.ua](mailto:s.krepych@tneu.edu.ua); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7700-8367>

**Горишний Володимир Ігорович** – аспірант кафедри комп'ютерних наук, Тернопільський національний економічний університет, Тернопіль, Україна;

**Volodymyr Horishni** – Postgraduate Student of the Department of Computer Science, Ternopil National Economic University, Ternopil, Ukraine;

e-mail: [horishni@gmail.com](mailto:horishni@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8576-7619>

**Организация cloud-архитектуры для систем обеспечения функциональной пригодности статических систем**

И. Я. Спивак, С. Я. Крепыч, В. И. Горишний

**Аннотация.** В статье рассматривается подход к организации Cloud-архитектуры для систем обеспечения функциональной пригодности статических систем, а именно исполнение системой обозначенных для нее функций на протяжении определенного времени и при определенных условиях эксплуатации. В сравнении с традиционным подходом, облачные вычисления позволяют управлять большой инфраструктурой и обслуживать разные группы пользователей в рамках одного облака. Изучаются методы моделирования функциональной пригодности статических систем на основе определения показателя функциональной пригодности, который математически формулируется как оптимизационная задача с целевой функцией обеспечения требований к характеристикам системы. Решение такой задачи обеспечения функциональной пригодности как нелинейной оптимизационной на практике не может быть имплементировано. Поскольку возникает такая проблема, целесообразно функцию цели задачи формулировать исходя из заданных ограничений на значения исходных характеристик. В такой постановке задачи обеспечения функциональной пригодности можно решить методом анализа интервальных данных. Параллельно, при решении такой задачи, необходимо вычислить параметры элементов системы с учетом их отклонений, которые задаются допусками таким образом, чтобы обеспечить функциональную пригодность системы. Такого рода задачи имеют большую практическую ценность, а методы их решения – большую вычислительную сложность. Таким образом, можно резюмировать, что разработка многопользовательской системы на базе клиент-серверной облачной архитектуры, которая даст возможность реализации с низкой вычислительной и временной сложностью методов моделирования обеспечения функциональной пригодности статических систем есть актуальной задачей. В статье приведен пример многопользовательской программной системы для разных видов моделей статических систем с целью изучения типов данных задач обеспечения функциональной пригодности, методов ее оценивания, а также анализировать результаты предыдущих вычислений, которые сохраняются в облаке. Результаты разработок, представленные в статье, могут быть интерпретированы для задач моделирования разных типов статических систем для упрощения их временной и вычислительной сложности при реализации.

**Ключевые слова:** облачные технологии; функциональная пригодность; статические системы; многопользовательская система.

**Cloud-architecture organization for systems of provision of functional suitability of static systems**

I. Spivak, S. Krepych, V. Horishni

**Abstract.** The article deals with the approach to the organization of Cloud-architecture for the systems of providing the functional suitability of static systems, namely implementation the functions of the system during a certain time and under certain operating conditions. Compared to the traditional approach, cloud computing allows to manage a large infrastructure, to serve different groups of users within a single cloud. The methods of modeling the functional suitability of static systems based on the definition of the index of functional suitability, which is mathematically formulated as an optimization problem with the purpose function of providing requirements to the characteristics of the system, are studied. The solution of the task of ensuring the functional suitability as the nonlinear optimization problem cannot be implemented in practice. Therefore, since there is such a problem, it is expedient to form the purpose function of the task of ensuring the functional suitability, based on the given limitations on the value of the output characteristics. In such a statement, the task of ensuring the functional suitability can be solved by the method of interval data analysis. In parallel, when solving this problem, it is necessary to calculate the parameters of the elements of the system in such way, that taking into account their deviations, which are given by tolerances, ensure the functional suitability of the system. These tasks have an extraordinary practical value, and the existing methods of its solution have a high computational complexity. From this, we can conclude that the development of a multi-user system based on client-server cloud architecture, which would enable implementation with low computational and time complexity of the methods of modeling and ensuring the functional suitability of static systems is an actuality task. The article gives an example of multi-user software system for different types of models of static systems, which enables to study the data of various types of tasks of providing the functional suitability, the methods of its estimation, and also to analyze the results of previous calculations, which are stored in a cloud. The development results presented in the article can be interpreted for the tasks of modeling different types of static systems for simplify their time and computational complexity during implementation.

**Keywords:** cloud technologies; functional suitability; static systems; multi-user system.

I. Khizhnyak

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

## APPLIED INFORMATION TECHNOLOGY OF THEMATIC SEGMENTATION OF OPTICAL-ELECTRONIC IMAGES FROM ON-BOARD SYSTEMS OF REMOTE SENSING OF THE EARTH

**Abstract.** The **subject matter** of the article is applied information technology of thematic segmentation of optical-electronic images from on-board systems of remote sensing of the Earth. The **goal** is to develop an applied information technology for thematic segmentation of optical-electronic images from on-board Earth remote sensing systems using the system modeling methodology IDEF0. The **tasks** are: analysis of features of optical-electronic images, formulation of requirements for methods, techniques and information technologies of thematic segmentation of optical-electronic images from on-board systems of remote sensing of the Earth, development of applied information technology for thematic segmentation of optical-electronic images from on-board systems of remote sensing of the Earth. The **methods** used are: methods of probability theory, mathematical statistics, methods of optimization, mathematical modeling and digital image processing, analytical and empirical methods of comparative research. The following **results** were obtained. In accordance with the syntax and semantics of IDEF0, the applied information technology of thematic segmentation of optical-electronic images from on-board systems of remote sensing of the Earth can be presented in the form of: a tuple, an upper child diagram, and child diagrams. A block diagram of the algorithm that implements the methods of applied information technology of thematic segmentation of optical-electronic images from on-board systems of remote sensing of the Earth is given. A block diagram of the algorithm that implements the methods of applied information technology of thematic segmentation of optical-electronic images from on-board systems of remote sensing of the Earth is given. **Conclusions.** The scientific novelty of the results is as follows: an applied information technology has been developed for thematic segmentation of optical-electronic images from on-board systems of remote sensing of the Earth, which, unlike the known ones, use the system modeling methodology IDEF0, which is based on the SADT structural analysis and design method.

**Keywords:** remote sensing of the Earth; optical-electronic image; thematic segmentation; information technology; system modeling methodology; structural analysis and design method.

### Introduction

**Formulation of the problem.** It is known that the result of deciphering optical-electronic images from on-board remote sensing systems of the Earth depends on the quality of methods for thematic segmentation of optical-electronic images [1-3]. This posed for developers of image processing systems the task of developing methods, techniques and information technologies for thematic segmentation of optical-electronic images from on-board remote sensing systems of the Earth.

The following requirements are put forward to the methods, techniques and information technologies of thematic segmentation of optical-electronic images from on-board remote sensing systems of the Earth [1-3]:

- high speed when processing large data arrays;
- the possibility of sharing spectral and textural features.

It is known that at present there is no general theory of optimal representation and image processing. The choice of a specific image processing technology depends on the tasks that are being solved and the requirements imposed on the result of the processing.

#### Analysis of recent research and publications.

It is known that a characteristic feature of thematic segmentation of optical-electronic images from on-board systems of remote sensing of the Earth is the search for rational solutions in the multidimensional space of alternatives. Under such conditions, the use of classical methods for finding the extremum of an objective function becomes ineffective. Currently, global extremum search methods are being developed that provide convergence to the exact solution of the optimization

problem and provide the optimal (minimum or maximum) value of the fitness function [4].

Metaheuristic methods have the following properties [4, 5]: managing the process of finding the optimal solution; effective study of the search space to find the optimal solution; use of simple local search procedures and complex learning processes; approximate methods and, as a rule, non-deterministic; take into account the possibility of falling into a trap in a limited search space; are universal (they solve various applied problems); use a priori information to find the optimal solution.

There are four main groups of metaheuristic optimization methods: evolutionary methods; swarm methods; methods that mimic physical processes; multi-start methods [6, 7].

To evolutionary methods include: genetic methods; imitation methods immune systems of organisms; scattering methods; evolutionary transformation strategy correlation matrices; dynamic network method; methods of differential evolution and others [6].

The swarm methods include: the method of behavior of particles in a flock; ant method, artificial bee colony method; method, imitating the behavior of schools of fish and others [8, 9].

The **goal** of the article is to develop an applied information technology for the thematic segmentation of optical-electronic images from on-board systems of remote sensing of the Earth.

### Main results

The information technology of thematic segmentation of optoelectronic images from on-board remote sensing systems of the Earth will be considered as a set

of functions that are definitely connected with each other. And implement the techniques, ways and methods that provide for the receipt, storage, processing, transmission and use of optical-electronic images.

For visualization and further formal presentation of the structure and composition of information technology for thematic segmentation of optical-electronic images (information technology for the thematic segmentation of optical-electronic images (ITTSOEI)), we will use the system modeling methodology IDEF0 (ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing) Definition) [10].

In general, the IDEF0 methodology is used to create a functional model that displays the structure and functions of the system, as well as the flows of information and material objects linking these functions. IDEF0 methodology is based on SADT (Structured Analysis & Design Technique) structural analysis and design method. The IDEF0 methodology is based on a standardized graphical language for describing (modeling) systems [10]. In accordance with the syntax and semantics of IDEF0, it is formally possible to present the ITTSOEI technology in the form [11] (tuple ITTSOEI – expression (1); set  $\{D_l^{ITTSOEI}\}$  – expression (2); set  $\{L_j^l\}$  – expression (3)):

$$T^{ITTSOEI} = \langle In^{ITTSOEI}, \{D_l^{ITTSOEI}\} \rangle, \quad (1)$$

$$D_l^{ITTSOEI} = \{ \{F_i^l\}, \{L_j^l\} \}, \quad (2)$$

$$L_j^l = \{ \{V_j^l\}, \{C_s^l\}, \{I_m^l\}, \{O_n^l\}, \{M_r^l\} \}, \quad (3)$$

where  $In^{ITTSOEI}$  – formulation of the goal.

In this case, it is the development of a system of related functions that implement the techniques, methods and methods of collecting, storing, processing, transmitting and using knowledge (data) of thematic segmentation of optical-electronic images from on-board Earth remote sensing systems as information technology;

$\{D_l^{ITTSOEI}\}$  – a set of levels of detail in the ITTSOEI information technology presentation;

$l=0, \dots, 3$ , where when  $l=0$ , a top level context diagram (model) is formed, when  $l=1$  – the upper child diagram, when  $l=2, l=3$  – child diagrams;

$\{F_i^l\}$  – a set of functions that implement the techniques, methods and methods of working with knowledge (data) at  $\{D_l^{ITTSOEI}\}$  the level of detail of the presentation of information technology ITTSOEI.

As functions with  $l=0$ , we consider the generalized "activity" (function-activity) with ITTSOEI. When  $l=1$ , the main "processes" (functions-processes) of working with knowledge (data) in ITTSOEI implemented in ITTSOEI are considered as functions.

As functions with  $l=2$ , we consider "subprocesses" (functions-subprocesses) of working with knowl-

edge (data) within the framework of the corresponding "process" at the stages of development and operation of the subsystem of thematic segmentation of an optical-electronic image.

As functions with  $l=3$ , we consider "operations" (functions-operations) of working with knowledge (data) during the development and operation of the thematic segmentation subsystem as part of the corresponding "process" at the stages of the development and operation of the thematic segmentation subsystem of the optical-electronic image from the on-board remote sensing systems of the Earth:

$\{L_j^l\}$  – a set of internal and boundary interactions of system elements;

$\{V_j^l\} \subseteq \{L_j^l\}$  – a set of internal interactions between functions from a set  $\{F_i^l\}$ ;

$\{C_j^l\} \subseteq \{L_j^l\}$  – a set of control limit interactions of software and hardware implementing ITTSOEI information technology;

$\{I_j^l\} \subseteq \{L_j^l\}$  – a set of input control limit interactions that reflect data (information, knowledge), which turn into a function;

$\{O_j^l\} \subseteq \{L_j^l\}$  – a set of output control limit interactions that reflect the data (knowledge) about the objects produced by the function;

$\{M_j^l\} \subseteq \{L_j^l\}$  – a set of limit interactions that reflect the mathematical apparatus used to formalize knowledge on thematic segmentation of optical-electronic images.

In Fig. 1 shows a formal view of the ITTSOEI technology in accordance with the expression (4):

$$D_0^{ITTSOEI} = \{ \{F_1^0\}, \{C_1^0, I_1^0, O_1^0, O_2^0, M_1^0\} \}. \quad (4)$$

In Fig. 2 shows the upper child diagram describing the functions-processes of information technology ITTSOEI in accordance with the expression (5):

$$D_1^{ITTSOEI} = \{ \{F_i^1\}, \{C_1^0, I_1^0, O_1^0, O_2^0, M_1^0, \{V_i^1\}\} \}, \quad (5)$$

where  $t=1, 2, \dots, 7$ .

As functions from the set  $\{F_i^1\}$  of the upper child level diagram  $D_1^{ITTSOEI}$ , created when decomposing a level diagram  $D_0^{ITTSOEI}$ , the functions processes that implement the techniques, ways and methods are considered:

– collection of knowledge (data) of the results of thematic segmentation of optical-electronic images

$$F_1^1 \in \{F_i^1\};$$

– storage of knowledge (data) of the results of thematic segmentation of optical-electronic images

$$F_2^1 \in \{F_i^1\};$$

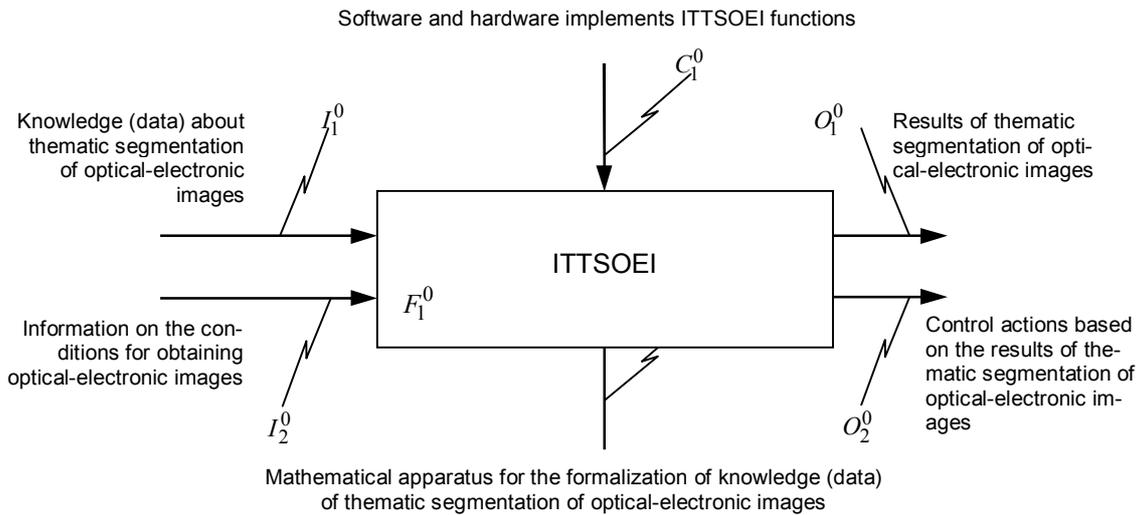


Fig. 1. Formal view of ITTSOEI information technology

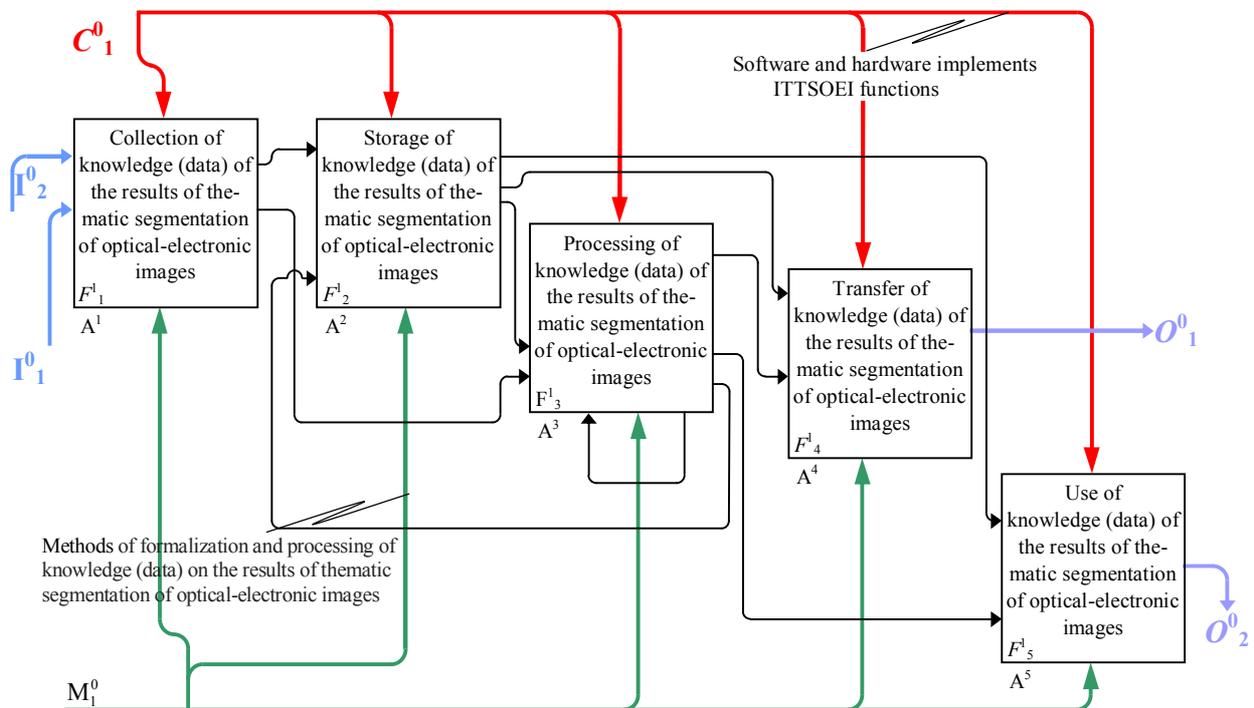


Fig. 2. Upper child diagram that describes the functions-processes of information technology ITTSOEI

– processing of knowledge (data) of the results of thematic segmentation of optical-electronic images  $F_3^1 \in \{F_i^1\}$ ;

– transfer of knowledge (data) of the results of thematic segmentation of optical-electronic images  $F_4^1 \in \{F_i^1\}$ ;

– use of knowledge (data) of the results of thematic segmentation of optical-electronic images  $F_5^1 \in \{F_i^1\}$ .

Let us briefly review the main functions of the ITTSOEI information technology processes.

The function-process of collecting knowledge (data) of thematic segmentation of optical-electronic

images from on-board systems of remote sensing of the Earth  $F_1^1 \in \{F_i^1\}$  is implemented by performing the following functions-subprocesses:

– function-subprocess  $F_{11}^2 \in F_1^1$  of collecting knowledge (data) of thematic segmentation results, which is implemented in the development of software and hardware complex of thematic segmentation of optical-electronic images from on-board remote sensing systems of the Earth;

– function-subprocess  $F_{12}^2 \in F_1^1$  of collecting knowledge (data) of the results of thematic segmentation of the optical-electronic image, which is implemented during the operation of the software and hardware complex of thematic segmentation of optical-

electronic images from the on-board systems of Earth remote sensing.

During the implementation of the function-subprocesses  $F_{11}^2$ , the composition of knowledge (data) is determined (including from the point of view of identifying declarative and procedural knowledge) of thematic segmentation of optical-electronic images from on-board remote sensing systems of the Earth.

During the implementation of the function-subprocesses  $F_{12}^2$ , if necessary, adjustments are made to the composition of existing knowledge (data) on thematic segmentation of optical-electronic images from on-board remote sensing systems of the Earth, and data (facts) are currently being received from external sources of information (for example, in the area of observation, phono-object target situation, etc.).

The function-process of storing knowledge (data) of the results of thematic segmentation of optical-electronic images from on-board systems of remote sensing of the Earth  $F_2^1 \in \{F_i^1\}$  is realized by performing the following functions-subprocesses:

- the function-subprocess  $F_{21}^2 \in F_2^1$  of the development of a knowledge base (data), which is implemented in the development of a software and hardware complex for thematic segmentation of optical-electronic images from on-board remote sensing systems of the Earth;

- the function-subprocess  $F_{22}^2 \in F_2^1$  of the process of direct storage of knowledge (data) of the results of thematic segmentation of optical-electronic images from onboard systems of remote sensing of the Earth, which is implemented during the operation of the software and hardware complex of thematic segmentation of optical-electronic images from onboard systems of remote sensing of the Earth.

The function subprocess  $F_{21}^2$  is implemented by performing the following function-operations:

- the architecture of the software-hardware complex of thematic segmentation of optical-electronic images from on-board remote sensing systems of the Earth is being developed, which determines the structure, functions and interrelation of the components of the software-hardware complex;

- the composition of technical means is determined for the implementation of the components of the hardware-software complex for the thematic segmentation of optical-electronic images from the on-board remote sensing systems of the Earth;

- the composition of software is determined for the implementation of the components of a software and hardware complex for thematic segmentation of optical-electronic images from on-board Earth remote sensing systems (operating system, programming language, knowledge engineering tools (CASE tools (Computer-Aided Software Engineering)) and the like);

- software implementation of the hardware and software components of the thematic segmentation of optical-electronic images from the on-board Earth remote sensing systems based on the selected hardware

and software implementation is being carried out;

- filling the rule base of the software and hardware complex for thematic segmentation of optical-electronic images from on-board Earth remote sensing systems.

During the implementation of the subprocess function  $F_{22}^2$ , the following is used:

- storing in the base of rules the hardware and software complex of thematic segmentation of optical-electronic images from the on-board Earth remote sensing systems of the rules introduced or corrected at the previous stage,

- storing in the database of the hardware and software complex of thematic segmentation of optical-electronic images from the on-board Earth remote sensing systems data on the conditions for conducting reconnaissance, phono-object conditions and the results of knowledge processing (data) on thematic segmentation of optical-electronic images from the on-board Earth remote sensing systems.

The function-process of knowledge processing (data) based on the results of thematic segmentation of optical-electronic images from onboard Earth remote sensing systems  $F_3^1 \in \{F_i^1\}$  is implemented by performing the following functions-subprocesses (Fig. 3):

- function-subprocess  $F_{31}^2 \in F_3^1$  of developing knowledge processing methods (data) on thematic segmentation of optical-electronic images from onboard systems of remote sensing of the Earth (implemented at the stage of creating a software and hardware complex of thematic segmentation of optical-electronic images from onboard systems of remote sensing of the Earth);

- function-subprocess  $F_{32}^2 \in F_3^1$  of implementation of the process of direct automated processing of knowledge (data) on thematic segmentation of optical-electronic images from onboard systems of remote sensing of the Earth during the operation of a software and hardware complex of thematic segmentation of optical-electronic images from on-board systems of remote sensing of the Earth.

The function subprocess  $F_{31}^2$  is implemented by performing the following function-operations:

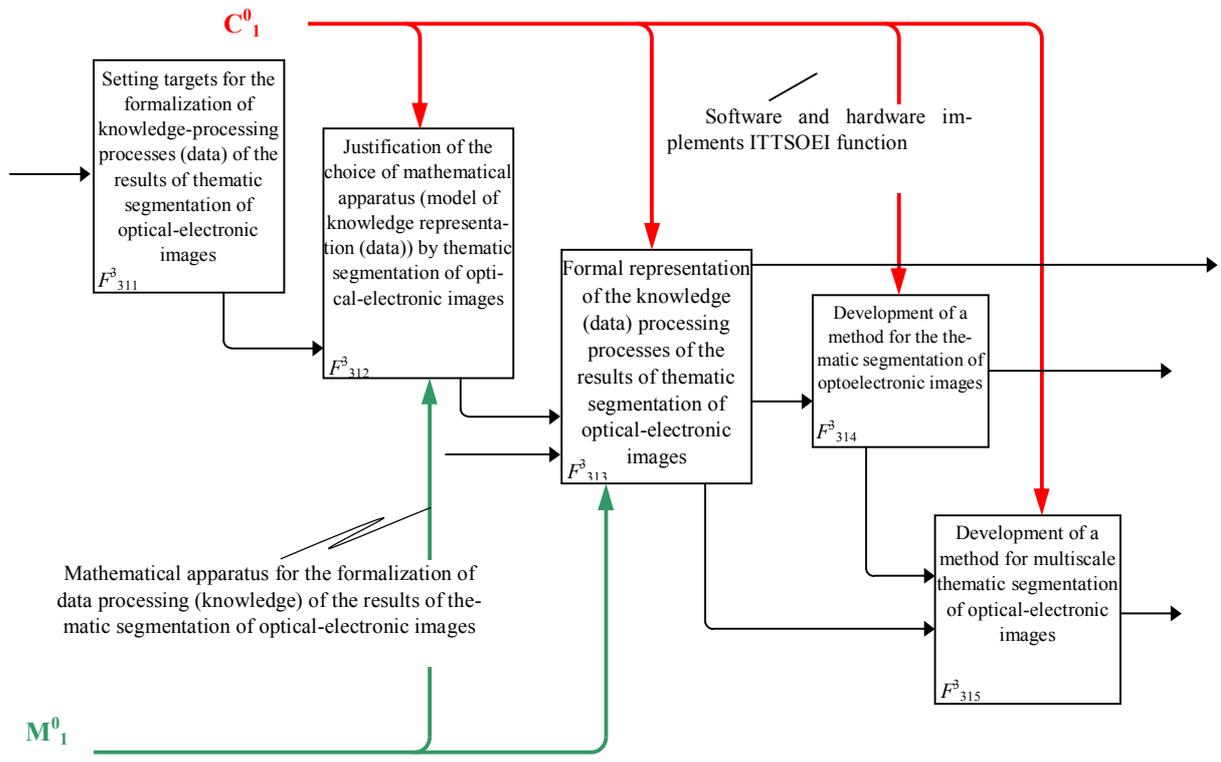
- tasks are being set to formalize the processing of knowledge (data) of the thematic segmentation of optical-electronic images from on-board systems of remote sensing of the Earth;

- the ways of knowledge (data) presentation are determined (the choice of the mathematical apparatus (knowledge representation model (data)) is substantiated) of the thematic segmentation of optical-electronic images from on-board systems of remote sensing of the Earth;

- a formal presentation of the knowledge (data) processing of the results of thematic segmentation of optical-electronic images from on-board systems of remote sensing of the Earth, namely:

- a) method of thematic segmentation of images from on-board systems of remote sensing of the Earth;

- b) processing method of multiscale optical-electronic image sequence from on-board systems of remote sensing of the Earth.



**Fig. 3.** A child diagram that describes the functions-subprocesses of the information technology ITDUIEI for the implementation of the function-subprocess of developing methods for processing knowledge (data) of thematic segmentation of optical-electronic images from on-board systems of Earth remote sensing

The structure of the algorithm that implements the methods of applied information technology of thematic segmentation of optical-electronic images from on-board systems of remote sensing of the Earth is shown in Fig. 4. The algorithm is based on the method of thematic segmentation of optical-electronic images and the method of processing a multiscale sequence of optical-electronic images from on-board remote sensing systems of the Earth.

It has been established that, in contrast to the well-known, the advanced applied information technology of thematic image segmentation of optical-electronic images from on-board Earth remote sensing systems uses the system modeling methodology IDEF0, which is based on the SADT structural analysis and design method, provides for determining image presentation spaces, highlighting the brightness channels of each color space, applying for thematic segmentation optical-electronic images methods swarm artificial bee colony.

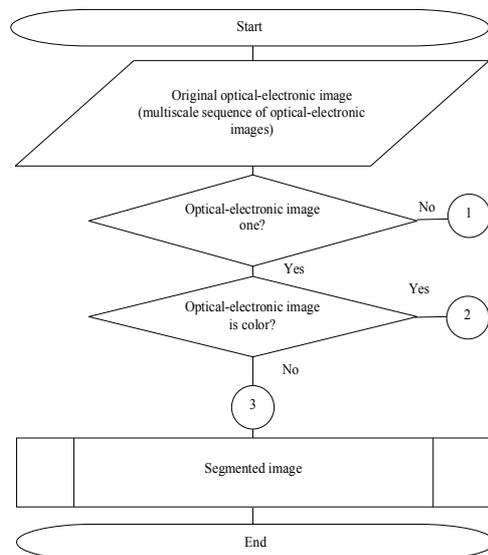
**Conclusions**

The article developed an applied information technology for thematic segmentation of optical-electronic images from on-board Earth remote sensing systems, which, unlike the known ones, uses the system modeling methodology IDEF0, which is based on the SADT structural analysis and design method.

It has been established that, in contrast to the well-known, the advanced applied information technology of thematic image segmentation of optical-electronic images from on-board Earth remote sensing systems uses the system modeling methodology IDEF0, which is

based on the SADT structural analysis and design method, provides for determining image presentation spaces, highlighting the brightness channels of each color space, applying for thematic segmentation optical-electronic images methods swarm artificial bee colony.

In further studies, it is necessary to consider in detail the structure of the algorithm that implements the function-subprocess  $F^2_{31}$  and the corresponding functions-operators of the applied information technology of thematic segmentation of optical-electronic images from on-board systems of Earth remote sensing.



**Fig. 4.** The structure of the algorithm (Part 1)

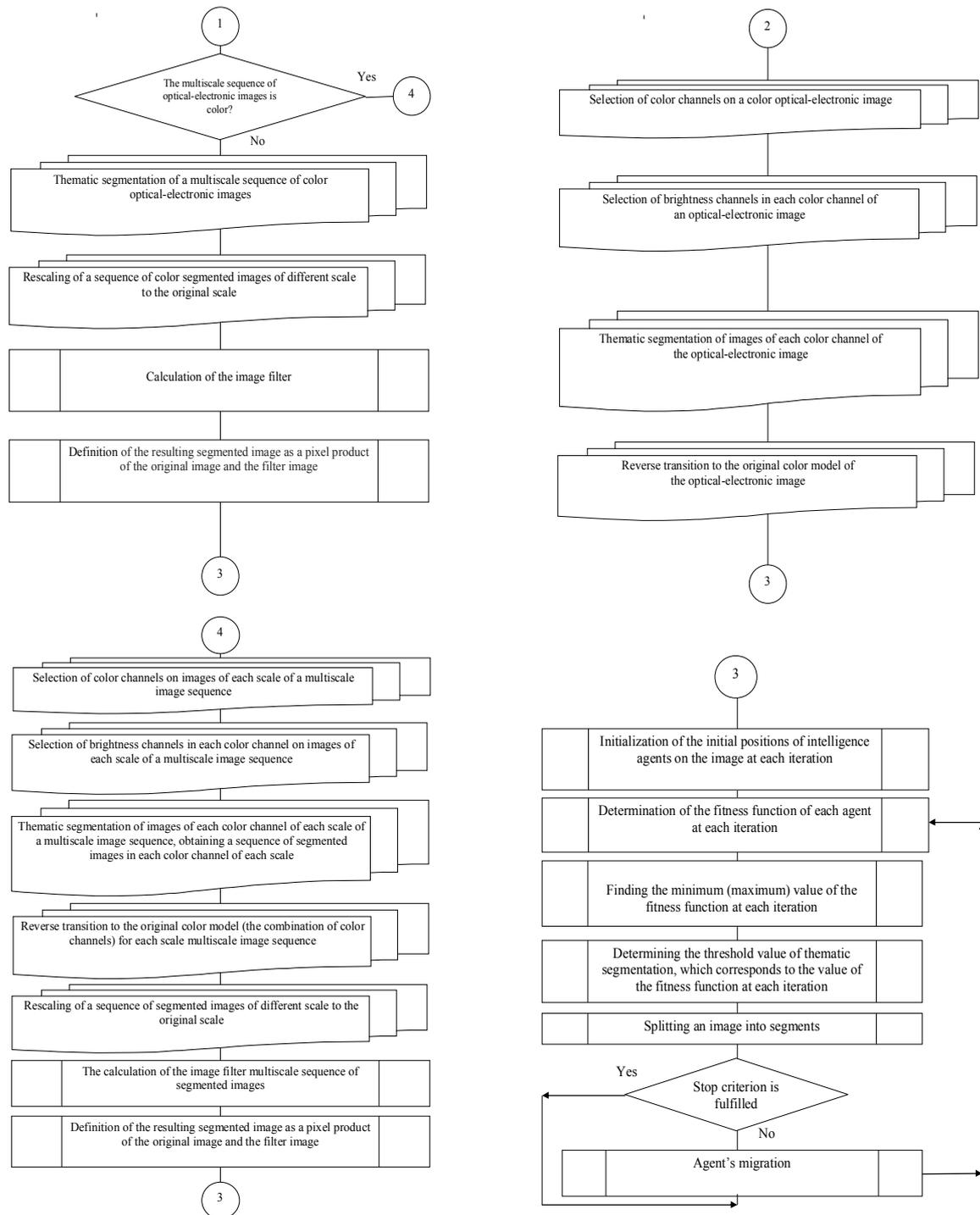


Fig. 4. The structure of the algorithm that implements the methods of applied information technology of thematic segmentation of optical-electronic images from on-board systems of remote sensing of the Earth (Part 2)

REFERENCES

1. Chemin, Y. (2018), *Remote Sensing of Planet Earth*, Chemin, InTech, 250 p.
2. Richards, J. (2013), *Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction*, Berlin: Springer, 503 p.
3. Qihao, Weng (2009), *Remote Sensing and GIS Integration*, McGraw-Hill Professional, New York, 416 p.
4. Pantelev, A.V. (2009), *Metaheuristic Algorithms for Searching Global Extremum*, MAI, Moscow, 160 p.
5. Pantelev, A.V., Metlitskaya, D.V. and Aleshina E.A. (2013), *Global Optimization Methods: Metaheuristic Strategies and Algorithms*, University Book, Moscow, 244 p.
6. Ruban, I., Khudov, H., Khudov, V., Khizhnyak, I., and Makoveichuk, O. (2017), "Segmentation of the images obtained from onboard optoelectronic surveillance systems by the evolutionary method", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 5/9 (89), pp. 49–57.
7. Ruban, I., Khudov, V., Khudov, H. and Khizhnyak, I. (2017), "An improved method for segmentation of a multiscale sequence of optoelectronic images", *Problems of infocommunications science and technology* : 4 Int. scient.-pract. confer., October, 10-13, 2017 : thesis of reports, Kharkiv, pp. 212–213, DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109904>

8. Ruban, I., Khudov, V., Makoveichuk, O., Khudov, H. and Khizhnyak, I., (2018), "A Swarm Method for Segmentation of Images Obtained from On-Board Optoelectronic Surveillance System", *Problems of Infocommunications Science and Technology* : 5 Int. Scient.-Pract. Confer., October, 9-12, 2018 : thesis of reports, Kharkiv, pp. 613–618.
9. Ruban, I., Khudov, H., Makoveichuk, O., Khizhnyak, I., Khudov, V., Podlipaev, V., Shumeiko, V., Atrasevych, O., Nikitin, A., and Khudov, R., (2019), "Segmentation of optoelectronic images from on-board systems of remote sensing of the earth by the artificial bee colony method", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, № 2/9 (98), pp. 37–45. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.161860>
10. David, M.A. and Clement M.G. (1993), *SADT Structural Analysis and Design Methodology*, Mir, Moscow, 240 p.
11. Khudov, V. (2018), "Onboard optical-electronic observation systems images thematic segmentation information technology using system modeling IDEF0", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No 4, pp. 64–69, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.4.11>

Received (Надійшла) 11.04.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.06.2019

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Хижняк Ірина Анатоліївна** – кандидат технічних наук, викладач кафедри математичного та програмного забезпечення АСУ, Харківський національний університет Повітряних Сил, Харків, Україна;

**Irina Khizhnyak** – Candidate of Technical Sciences, Lecturer of the Department of Mathematical and Software of ACS, Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [iren\\_gontarenko@ukr.net](mailto:iren_gontarenko@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3431-7631>

**Прикладная информационная технология тематической сегментации оптико-электронных изображений с бортовых систем дистанционного зондирования Земли**

И. А. Хижняк

**Аннотация.** Предметом изучения в статье является прикладная информационная технология тематической сегментации оптико-электронных изображений с бортовых систем дистанционного зондирования Земли. **Целью** является разработка прикладной информационной технологии тематической сегментации оптико-электронных изображений с бортовых систем дистанционного зондирования Земли с использованием методологии системного моделирования IDEF0. **Задачи:** анализ особенностей оптико-электронных изображений, формулировка требований к методам, методикам и информационным технологиям тематической сегментации оптико-электронных изображений с бортовых систем дистанционного зондирования Земли, разработка прикладной информационной технологии тематической сегментации оптико-электронных изображений с бортовых систем дистанционного зондирования Земли. Используемыми **методами** являются: методы теории вероятности, математической статистики, методы оптимизации, математического моделирования и цифровой обработки изображений, аналитические и эмпирические методы сравнительного исследования. Получены следующие **результаты**. В соответствие с синтаксисом и семантикой IDEF0 прикладная информационная технология тематической сегментации оптико-электронных изображений с бортовых систем дистанционного зондирования Земли может быть представлена в виде: кортежа, верхней дочерней диаграммы, дочерних диаграмм. Приведена структурная схема алгоритма, реализующего методы прикладной информационной технологии тематической сегментации оптико-электронных изображений с бортовых систем дистанционного зондирования Земли. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов заключается в следующем: разработана прикладная информационная технология тематической сегментации оптико-электронных изображений с бортовых систем дистанционного зондирования Земли, в которой, в отличие от известных, используется методология системного моделирования IDEF0, основанная на методе структурного анализа и проектирования SADT.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли; оптико-электронное изображение; тематическая сегментация; информационная технология; методология системного моделирования; метод структурного анализа и проектирования.

**Прикладна інформаційна технологія тематичного сегментування оптико-електронних зображень з бортових систем дистанційного зондування Землі**

І. А. Хижняк

**Анотація.** Предметом вивчення в статті є прикладна інформаційна технологія тематичного сегментування оптико-електронних зображень з бортових систем дистанційного зондування Землі. **Метою** є розробка прикладної інформаційної технології тематичного сегментування оптико-електронних зображень з бортових систем дистанційного зондування Землі з використанням методології системного моделювання IDEF0. **Завдання:** аналіз особливостей оптико-електронних зображень, формулювання вимог до методів, методик та інформаційних технологій тематичного сегментування оптико-електронних зображень з бортових систем дистанційного зондування Землі, розробка прикладної інформаційної технології тематичного сегментування оптико-електронних зображень з бортових систем дистанційного зондування Землі. Використовуваними **методами** є: методи теорії імовірності, математичної статистики, методи оптимізації, математичного моделювання та цифрової обробки зображень, аналітичні та емпіричні методи порівняльного дослідження. Отримані такі **результати**. У відповідності до синтаксису та семантики IDEF0 прикладна інформаційна технологія тематичного сегментування оптико-електронних зображень з бортових систем дистанційного зондування Землі може бути представлена у вигляді: кортежу, верхньої дочірньої діаграми, дочірніх діаграм. Наведена структурна схема алгоритму, що реалізує методи прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем дистанційного зондування Землі. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: розроблена прикладна інформаційна технологія тематичного сегментування оптико-електронних зображень з бортових систем дистанційного зондування Землі, в якій, на відміну від відомих, використовується методологія системного моделювання IDEF0, що заснована на методі структурного аналізу та проектування SADT.

**Ключові слова:** дистанційне зондування Землі; оптико-електронне зображення; тематична сегментація; інформаційна технологія; методологія системного моделювання; метод структурного аналізу і проектування.

S. Chalyi, V. Leshchynskyi, I. Leshchynska

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

## DESIGNING EXPLANATIONS IN THE RECOMMENDER SYSTEMS BASED ON THE PRINCIPLE OF A BLACK BOX

**Abstract.** The subject matter of the article is the process of designing of explanations in the recommender system. The **goal** is to develop a conceptual model for designing explanations in recommender systems based on the black box principle. Such a model binds the conditions, the result and the constraints on the choice of objects from the user's position. The user should receive justification of the recommendations taking into account context-oriented possibilities of using the proposed objects. **Tasks:** to adapt the principle of a black box to the task of constructing explanations in the recommender system; to develop a conceptual scheme for constructing explanations according to the functional principle; to develop a conceptual model for the designing of explanations based on the principle of a black box. The principle used is: functional, or the principle of a black box. The following **results** are obtained. The principle of the black box to the problem of constructing explanations in the recommender system was adapted. The conceptual scheme of constructing explanations on the basis of a functional principle is developed, taking into account both the properties of objects and the sequences of their use. The conceptual model of the explanation based on the black box principle is developed. **Conclusions.** Scientific novelty of the results is as follows. The conceptual model for constructing explanations with recommendations on the functional principle or the principle of a black box is proposed. The model takes into account the characteristics of subjects and consumers, information on the use of objects in the subject area, as well as recommendations in the form of a list of objects. The advantage of using the proposed model lies in the fact that it takes into account the methods of applying the recommended objects for constructing explanations. This creates conditions for personalizing recommendations in cases of a cold start of the recommender system, as well as artificial increase in the ratings of individual items.

**Keywords:** recommender systems; e-commerce systems; explanation; the context of decision-making; the formation of recommendations; the formation of explanations.

### Introduction

Recommendation systems are intended for the designing of a rating list with offers of goods and services for the consumer. Such systems form personalized offers for the user. The task of recommender system is to form an interesting list of objects for the consumer and encourage him to buy goods from this list [1].

These systems are typically part of e-commerce systems and use their database to formulate recommendations. The personalized list of objects simplifies the search and selection of goods for the user. This enables a group of loyal consumers to grow and increase sales in the e-commerce system. Therefore, such systems have become widespread [2, 3].

When constructing recommendations, account is taken of both the characteristics of objects and the characteristics of already known users of the recommendation system. In the first case, products that have similar parameters with the products selected by the current user are recommended. In the second case, it is recommended that objects previously chosen by consumers, similar to the current user of the recommendation system. Accordingly, inputs are used as product characteristics and their consumer-generated ratings [1].

However, practical requirements for improving the accuracy of the recommendations led to the problem of building an inaccurate list of objects for cold start cases and artificial distortion of the rating of objects.

The cold start situation occurs when building recommendations for new users. Usually information about the choice of such users is not available in the recommender system or e-commerce system. This does

make it difficult to compare the new user with existing ones and to find similar characteristics in them [5].

The situation of artificial distortion of rating of objects is used for the promotion of individual goods [6]. The purpose of such actions is to sell objects with false ratings.

An explanation is used to solve the problem of building an inaccurate list of recommended objects. The latter describe the sequence of obtaining and the possibility of using the proposed recommendations. Explanations allow the user to better understand the reasons for the recommendations and the context and the way to use the recommended objects [7]. Designing of explanations is aimed at increasing consumer confidence in the e-commerce system [8].

Modern approaches to constructing explanations in recommender systems are the further development of methods for constructing explanations in expert systems [9]. When constructing explanations, the criteria for evaluating explanations are used, as well as the precedents for using explanations and restrictions of the subject area that influence the explanation [10]. However, the context-based concept of explanation based on the introduction of a reference system in the form of a black box requires further research. The above determines the relevance of this work.

**The purpose** of the article is to develop a conceptual model for the formation of explanations in recommender systems based on the principle of a black box. This model uses the conditions, the result and the restrictions on the choice of objects from the user's position. The user should receive the justification of the recommendations taking into account the context-oriented possibilities of using the proposed objects.

To achieve this goal, the following tasks need to be addressed: to adapt the principle of a black box to the task of constructing explanations in the recommender system; to develop the conceptual scheme of construction of explanations according to the functional principle; to develop a conceptual model of explanation based on the principle of a black box.

**Conceptual model of explanation based on the principle of a black box**

The proposed conceptual model is based on the use of the principle of a black box, or a functional principle. The latter is widely used in software testing.

According to this principle, the system is considered at the level of "input-output". The internal structure of the system and the sequence of the interaction of its elements are not taken into account or are unknown.

The conceptual scheme of constructing explanations in the recommender systems according to the functional principle is presented in Fig. 1.

We substantiate the use of the black box principle to formulate explanations in the reference systems according to the presented conceptual scheme.

Firstly, the explanation is intended to interpret the recommended list of objects in the context of the subject area. Such an interpretation makes it possible to clarify the way of using the proposed objects. That is, an explanation describes the links of the recommended objects with other objects of the subject area. Such connections are not static. They change over time, depending, for example, on the season, new scientific achievements, fashion, etc.

Therefore, the explanation in this case is context-oriented and shows the possibility of using objects in a defined context [11].

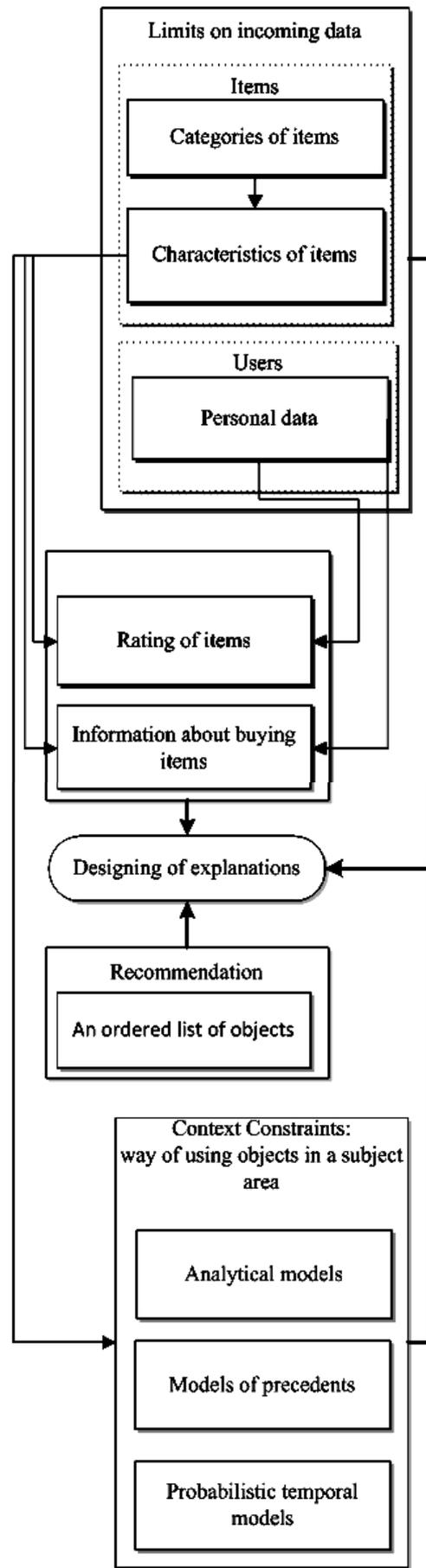
Secondly, the context of the explanation is determined not only by the approaches to the use of objects with similar characteristics, but also by models of the subject area. For example, in the context of buying a computer, a flash drive, a bag for that computer, and the like can be offered.

When forming such a recommendation, it usually takes into account the purchase of people with similar interests who buy a computer and a flash drive or a bag. However, this static information is not enough to explain the recommendation.

You should also consider the sequence of user choices in time. Buying a computer and a flash drive defines a temporal rule that binds these two objects in time. The set of such temporal rules forms a context-oriented domain model. The domain model may also be a priori known, formal or case-law. For example, a formal model can set limits on the power of recommended products.

The precedent model sets out the known methods of their use in the form of a sequence of appropriate actions.

The following example shows that additional knowledge of the subject area can be obtained not only a priori, but also as a result of the intellectual analysis of existing data about objects, users, and their choice.



**Fig. 1.** Conceptual scheme of designing an explanation based on the black box principle

A key feature of such an analysis is that it is necessary to take into account the orderliness of the events of the choice of objects in time. This makes it possible to obtain heuristic dependencies characterizing the context-oriented use of the recommended objects.

Thus, the key differences in the concept of constructing explanations based on the principle of a black box are as follows.

1) A combination of restrictions on incoming data and restrictions on the use of recommended facilities. The first restriction makes it possible to justify the selection of a subset of the recommended objects. The purpose of the second limitation is to identify the context differences between the recommended objects.

2) The use of temporal ordering of the choice or application of objects. Such orderliness is typical for analytical, case-law and probabilistic models. In fact, the use of temporal order adds another dimension to the traditional static characteristics of objects. This makes it possible to take into account the temporal changes of such properties.

For example, when choosing a computer it is necessary to take into account not only its current properties (processor speed, memory size), but also quantitative possibilities of its modernization. In particular, the maximum possible amount of memory, hard disk, characteristics of additional connectors, etc. It is also advisable to take into account the cost and design features of these elements, such as their interfaces, performance. Additionally, it is also advisable to take into account the sequence of upgrades. For example, the amount of RAM can be increased in several stages, depending on the cost of the components.

An example of the use of restrictions on incoming data and temporal ordering in accordance with the concept of constructing explanations based on the black box is presented in Fig. 2

Initially, from the input subset of objects in the process of forming recommendations, elements are selected that satisfy the requirements for classes and properties of objects:

$$\begin{aligned} Item^* &= \{Item_3, Item_4 : C = true\}, \\ Item^* &\subset Item \end{aligned} \quad (1)$$

where  $C$  – the limit of the choice of the user;  $Item$  – input set of items that is available for user selection;  $Item^*$  – a subset of recommended items.

Subsequently, the elements of the subset  $Item^*$  are compared by the methods that are usually used, in particular on the basis of temporal ordering of their application or modernization. Such orderliness can be represented in the form of temporal rules [12, 13]. In the future, these rules can be used to formulate explanations based on the probabilistic output [14]. Also, a multi-layered graph [15] approach can be used to present constraints by way of use.

In Fig. 2 shows the sequence of use / product upgrade stages, for example, for a computer: incremental memory (step 1); replacement of hard disk (step 2); the next increase in RAM (Stage 3); complementing the computer to the WWAN module (step 4).

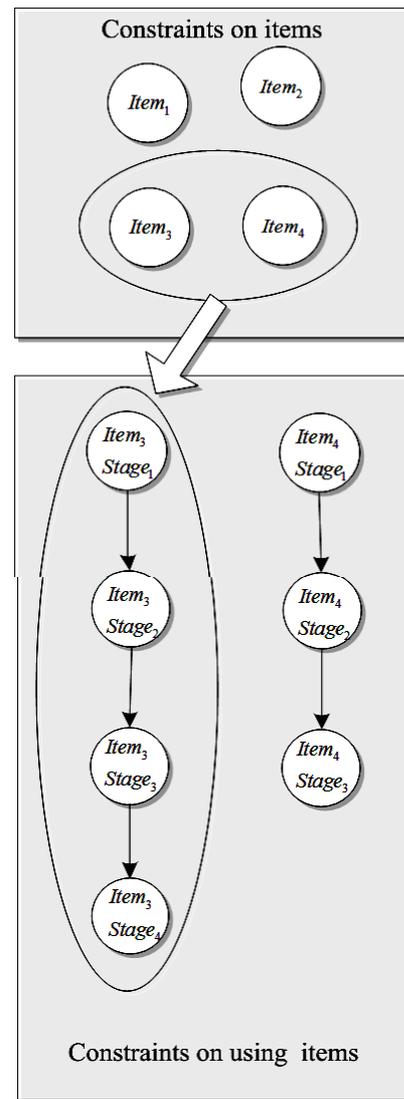


Fig. 2. An example of using restrictions in the concept of constructing explanations on the principle of a black box

The sequence has an additional possibility of upgrading - the connection of the WWAN module. But this feature is not necessary for all users.

Therefore, it is advisable to use this distinction when formulating explanations, thereby personalizing recommendations.

The conceptual model  $B$  of explanation formation in the recommendation system based on the black box defines the display of the conditions  $S$  of the choice of the user for the recommendation  $R$ , taking into account the general constraints. The latter are presented by restrictions  $C$  on user selection  $C$  and contextual restrictions  $M$  on the use of objects from the recommended list.

This model has the following form:

$$B : S \rightarrow R | C \wedge M. \quad (2)$$

User-selectable rules for the BlackBerry model take into account only the results of choosing other consumers and do not take into account the interaction of the current user with the recommendation system.

Therefore, such conditions are presented in the form of a set of object ratings for an explicit feedback situation (3) or the number of purchases of a product for an implicit feedback situation (4).

$$S = \left\{ (g_i, \rho_j) : g_i \in G, 0 \leq \rho_j < \rho_j^{\max} \right\}, \quad (3)$$

where  $g_i$  – the object (product, service), which has been chosen by the consumer;  $\rho_j$  – ranking of the object;  $G$  – a set of objects in the recommendation system.

$$S = \left\{ (g_i, \partial_j) : g_i \in G, 0 \leq \partial_j \right\}, \quad (4)$$

where  $\partial_j$  – the number of units of the object that has been purchased by the  $j$  – the consumer.

The received recommendation  $R$  contains an ordered list of objects  $g_i$  according to the rating  $r_i$ , that is, it consists of a set of pairs  $(g_i, r_i)$ .

The restriction on the user's choice is a combination of restrictions on the characteristics of goods and user data. The restriction  $C$  on the user's choice is a conjunction of restrictions on the characteristics of goods and user data.

Characteristics of goods are set both through the permissible values of all their properties, and through

the generalized values of individual properties, that is, the affiliation of goods to a particular category.

Restrictions on users are asked in the same way, based on similar values of the characteristics of these users:

Restrictions on the use of objects are given on the basis of temporal rules [13], which relate the separate stages of the use or improvement of these objects, as shown in the example in Fig. 2.

## Conclusions

The conceptual model of construction of explanations to recommendations on the principle of a black box is proposed. The model takes into account the characteristics of objects and users, information on the use of these objects in the subject area, as well as a list of objects recommended to the consumer. Characteristics of objects and users are used in the model as constraints. Information on the use of objects specifies the conditions for constructing explanations to the recommendations.

The advantages of the proposed model are that it allows for additional contextual information on how to apply the recommended goods or services.

Unlike the model based on the white box, this model should be considered as an explanatory model interpreting the recommendation, rather than the process of its designing in the recommender system.

## REFERENCES

1. Aggarwal, C.C. (2017), *Recommender Systems: The Textbook*, Springer, New York, 498 p.
2. Bennet, J. and Lanning, S. (2019), *The Netflix Prize* [Proceedings of KDD cup and workshop], available at: <http://www.netflixprize.com>
3. Linden, G., Smith, B. and York J. (2003), "Amazon.com recommendations: Item-to-item collaborative filtering", *Internet Computing*, IEEE, vol. 7, no. 1, pp. 76–80.
4. Ricci, F., Rokach, L., Shapira, B. and Kantor, P. (2011), *Recommender systems handbook*, Springer, New York, 842 p.
5. Shilling, I. (2018), *Attack detection for recommender systems based on credibility of group users and rating time series*, DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196533>
6. Schein, A.I., Popescul, A., Ungar, L.H. and Pennock, D.M. (2002), "Methods and metrics for cold-start recommendations", *Proceedings of the 25th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval*, pp. 253–260.
7. Cleger-Tamayo, S., Fernandez-Luna, J.M. and Huete, J.F (2012), "Explaining neighborhood-based recommendations", *The 35th International ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval*, ACM, pp. 1063–1064.
8. Tintare, N. and Masthoff, J. (2012), "The effectiveness of explanations for recommender systems", *User Modeling and User-Adapted Interaction*, No. 22(4), pp. 399–439.
9. Tintarev, N. and Masthoff, J. (2007), "A Survey of Explanations in Recommender Systems", *Workshop on Recommender Systems and Intelligent User Interfaces associated with ICDE'07*, G Uchyigit (ed), pp. 801-810.
10. Cunningham, P., Doyle, D. and Loughrey, J. (2003), "An Evaluation of the Usefulness of Case-Based Reasoning Explanation", *Case-Based Reasoning Research and Development: Proceedings ICCBR*, Number 2689 in LNAI, Trondheim, Springer, pp. 122–130.
11. Chalyi, S.F., Leshchynskyi, V.O. and Leshchynska, I.O. (2018), "Integraciya lokal'nih kontekstiv spozhivachiv v rekomendacijnih sistemah na osnovi vidnoshen' ekvivalentnosti, skhozhosti ta sumisnosti", *Materiali VII mizhn. nauk. konf. «Informacijni upravlyayuchi sistemi ta tekhnologii»*, pp. 142–144.
12. Chala, O.V. (2018), "Construction of temporal rules for representing knowledge in information control systems", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 3, pp. 54-59, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.09>
13. Chala, O. (2018), "Models of temporal dependencies for a probabilistic knowledge base", *Econtechmod*, Vol. 7(3), pp. 53–58.
14. Levykin, V. and Chala, O. (2018), "Development of a method of probabilistic inference of sequences of business process activities to support business process management", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5/3(95), pp. 16–24, DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142664>
15. Chalyi, S. and Pribylnova, I. (2019), "The method of constructing recommendations online on the temporal dynamics of user interests using multilayer graph", *EUREKA: Physics and Engineering*, Vol. 3, pp. 13–19.

Received (Надійшла) 11.04.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.06.2019

**Чалий Сергій Федорович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних управляючих систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;

**Serhii Chalyi** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Professor of Information Control Systems Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [serhii.chalyi@nure.ua](mailto:serhii.chalyi@nure.ua); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9982-9091>

**Лещинський Володимир Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмної інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;

**Volodymyr Leshchynskiy** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Software Engineering Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [volodymyr.leshchynskiy@nure.ua](mailto:volodymyr.leshchynskiy@nure.ua); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8690-5702>

**Лещинська Ірина Олександрівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмної інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;

**Irina Leshchynska** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Software Engineering Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [iryna.leshchynska@nure.ua](mailto:iryna.leshchynska@nure.ua); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8737-4595>

### Побудова пояснень в рекомендаційних системах за принципом чорного ящика

С. Ф. Чалий, В. О. Лещинський, І. О. Лещинська

**Предметом** вивчення в статті є процеси формування пояснень в рекомендаційних системах. **Метою** є розробка концептуальної моделі формування пояснень в рекомендаційних системах за принципом чорного ящика. Така модель зв'язує умови, результат та обмеження щодо вибору об'єктів з позицій користувача. Користувач має отримати обґрунтування рекомендацій з урахуванням контекстно-орієнтованих можливостей використання запропонованих об'єктів. **Завдання:** адаптувати принцип чорного ящика до задачі побудови пояснень в рекомендаційній системі; розробити концептуальну схему побудови пояснень за функціональним принципом; розробити концептуальну модель формування пояснень за принципом чорного ящика. Використовуваними **принципами** є: функціональний, або принцип чорного ящика. Отримані наступні **результати**. Адаптовано принцип чорного ящика до задачі побудови пояснень в рекомендаційній системі. Розроблено концептуальну схему побудови пояснень на основі функціонального принципу з врахуванням як властивостей об'єктів, так і послідовностей їх використання. Розроблено концептуальну модель формування пояснень за принципом чорного ящика. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному. Запропоновано концептуальну модель побудови пояснень до рекомендацій за функціональним принципом або принципом чорного ящика. Модель враховує характеристики предметів та споживачів, інформацію про використання об'єктів в предметній області, а також рекомендацію у вигляді переліку об'єктів. Переваги застосування запропонованої моделі полягають в тому, що вона враховує способи застосування рекомендованих об'єктів для побудови пояснень. Це створює умови для персоналізації рекомендацій у випадках холодного старту рекомендаційної системи, а також штучного збільшення рейтингів окремих предметів.

**Ключові слова:** рекомендаційні системи; системи електронної комерції; пояснення; контекст прийняття рішень; формування рекомендацій; формування пояснень.

### Построение объяснений в рекомендательных системах на основе принципа черного ящика

С. Ф. Чалый, В. А. Лещинский, И. А. Лещинская

**Предметом** изучения в статье являются процессы формирования объяснений в рекомендательных системах. **Целью** является разработка концептуальной модели формирования объяснений в рекомендательных системах по принципу черного ящика. Такая модель связывает условия, результат и ограничения по выбору объектов с позиций пользователя. Пользователь должен получить обоснование рекомендаций с учетом контекстно-ориентированных возможностей использования предложенных объектов. **Задачи:** адаптировать принцип черного ящика к задаче построения объяснений в рекомендательной системе; разработать концептуальную схему построения объяснений по функциональному принципу; разработать концептуальную модель формирования объяснений по принципу черного ящика. Используемыми **принципами** являются: функциональный, или принцип черного ящика. Получены следующие **результаты**. Адаптирован принцип черного ящика к задаче построения объяснений в рекомендательной системе. Разработана концептуальная схема построения объяснений на основе функционального принципа с учетом как свойств объектов, так и последовательностей их использования. Разработана концептуальная модель формирования объяснений по принципу черного ящика. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов заключается в следующем. Предложена концептуальная модель построения объяснений с рекомендациями по функциональному принципу или принципу черного ящика. Модель учитывает характеристики предметов и потребителей, информацию об использовании объектов в предметной области, а также рекомендации в виде перечня объектов. Преимущество применения предложенной модели заключается в том, что она учитывает способы применения рекомендованных объектов для построения объяснений. Это создает условия для персонализации рекомендаций в случаях холодного старта рекомендательной системы, а также искусственного увеличения рейтингов отдельных предметов.

**Ключевые слова:** рекомендательные системы; системы электронной коммерции; объяснение; контекст принятия решений; формирование рекомендаций; формирование объяснений.

# Information systems research

УДК 519.65.1:336.153

doi: 10.20998/2522-9052.2019.2.09

В. Ю. Дубницкий<sup>1</sup>, Г. Г. Зубрицкая<sup>2</sup>, А.И. Ходырев<sup>1</sup><sup>1</sup> Харьковский учебно-научный институт ГВУЗ Университета банковского дела, Харьков, Украина<sup>2</sup> Ягеллонский университет, Краков, Польша

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА ДЖИНИ С УЧЁТОМ ПОГРЕШНОСТЕЙ ВЫБОРОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

**Аннотация.** В статье рассматривается случайная величина, полученная в результате измерения величины конкретного физического свойства. Исследуются статистические и вычислительные аспекты задачи оценки отклонения распределения данной случайной величины от равномерного распределения. Рассматриваемая случайная величина нормируется. Одним из способов определения меры отклонения полученной таким образом функции распределения от равномерного распределения используют индекс Джини. **Целью статьи** является разработка предложений по учету погрешностей наблюдений при определении индекса Джини и построении кривой Лоренца. **Результаты.** Рассмотрена задача вычисления индекса Джини и параметров кривой Лоренца с учетом погрешностей выборочных наблюдений. Показано, что эта задача возникает в различных предметных областях, в том числе и социологии. Для учёта ошибок выборочных наблюдений использованы интервальные вычисления в системе центр – радиус. Для вычисления индекса Джини применено численное интегрирование по формуле трапеций с использованием интервальных чисел. **Вывод.** Показано, что отказ от учёта ошибок выборочных наблюдений может привести к ошибочным выводам об уровне социального расслоения в обществе и оценке наличия в нём среднего класса.

**Ключевые слова:** индекс Джини; кривая Лоренца; средний класс; интервальные вычисления; численное интегрирование интервально определённой функции.

### Введение

**Постановка задачи.** Пусть задано множество физически реализуемых объектов  $\Omega$ , содержащее  $J$  объектов  $\omega_j$ . Каждому из объектов  $\omega_j$  поставлена в соответствие величина его физически измеримого свойства  $S$ , равная  $s_j$ . Величину этого свойства для конкретного объекта предполагаем случайной и принимаем, что погрешность определения численного значения свойства  $s_j$  пренебрежимо мала в сравнении со значением измеряемого свойства. Примем, что  $0 \leq S < \infty$ . Требуется оценить отклонение распределения этого свойства от равномерного распределения. Такого рода задачи возникают при изучении или управлении процессами в системах различной природы. Например, в бетонировании [1], обогащении полезных ископаемых [2], металлургии [3], электросварке [4], технологии пищевых продуктов [5], экономической статистике [6; 7]. В зависимости от содержательного смысла задачи целью исследования могут быть поиски способов получения максимального приближения плотности (функции) распределения свойств  $s_j$  к равномерному распределению либо достижению противоположной цели. Профессиональная компетенция авторов позволяет затронуть только статистические и вычислительные аспекты этой задачи.

**Анализ литературы.** Разработка методов оценки отклонения исходного распределения случайной величины от равномерного распределения стало одной из основных задач раздела количественной социологии, изучающего бедность и неравенство [7]. История изучения бедности как социального явления подробно рассмотрена в работе [8].

Современные знания об этой проблеме приведены в работах [9–14]. Важность этого направления наглядно показана в работе [13]. В ней приведены данные об уровне бедности в Украине, определённые по различным критериям и их значения по состоянию на 2013 г. Эти результаты показаны в табл. 1.

Таблица 1 – Процент граждан Украины, которых следует считать бедными по состоянию на 2013 г.

Критерии ООН	Критерий прожиточного минимума	Относительный критерий бедности
2,9	9,9	26

Различие в величинах сравниваемых показателей (табл. 1) подчёркивает важность выбранного направления исследований. Среди показателей характеризующих бедность следует различать абсолютные показатели и относительные. Абсолютные показатели, как правило, именованные и характеризуют уровень потребления блага, измеренный в каких-либо денежных единицах ( $de$ ). Их размерность, чаще всего, имеет вид  $[de / (чел \cdot день)]$ . Эти данные приведены, например, в работе [10]. Относительные показатели, как правило, основаны на использовании характеристик, полученных в результате статистического анализа рядов распределения, характеризующих уровень потребления данного блага. Такими показателями, как правило, могут быть среднее значение ряда распределения, его среднеквадратическое отклонение, значения верхних и нижних квартилей, децилей и квинтилей. Подробно способы определения этих характеристик изложены в работе [15]. Детальный ана-

лиз сходства и различия в этих показателях выходит за рамки данного сообщения. Одной из первых работ, в которой были рассмотрены проблемы измерения уровня бедности, стала работа [16]. Её библиографическое описание, выполненное по действующим правилам, приведено в списке литературы. Для облегчения поиска этой работы на рис. 1 показан её титульный лист оригинала.

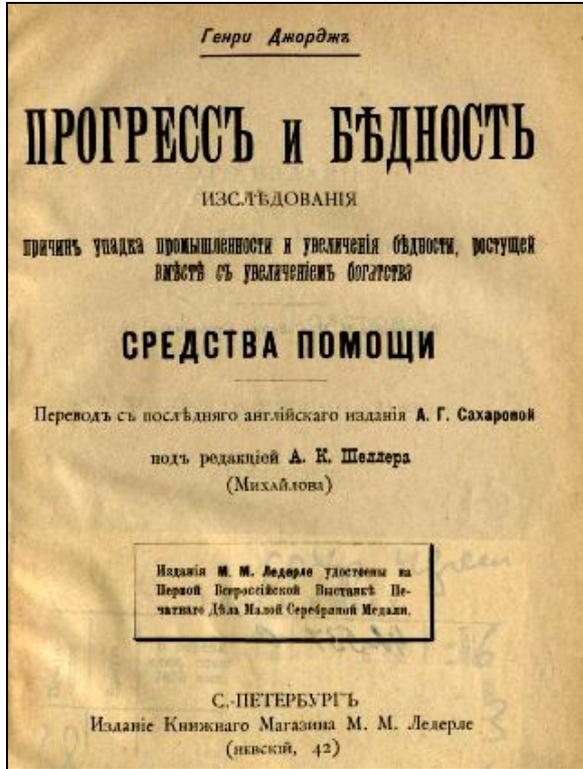


Рис. 1. Титульный лист книги Генри Джордж “Прогресс и бедность. Исследование упадка промышленности и увеличения бедности, растущей с увеличением богатства”

В силу сделанных предположений выражение

$$x = \frac{s - s_{\min}}{s_{\max} - s_{\min}} \quad (1)$$

преобразовывает исходную случайную величину  $s_j$  в случайную величину  $x \in [0, 1]$ . В этом случае одним из способов определения меры отклонения полученной таким образом функции распределения случайной величины  $X$  от равномерного распределения используют индекс Джини (IG).

На рис. 2 показан полигон накопленных частот для одного из возможных вариантов распределения значений случайной величины  $X$ . На рис. 3 показана функция равномерного распределения (линия, соединяющая точки с координатами  $(0,0)$  и  $(1,1)$ ) и полученная функция распределения линия  $L(x)$ .

Если  $S1$  и  $S2$  – площади соответствующих элементов рис. 2, то величину индекса Джини определяют по условию:

$$IG = \frac{S1}{S + S2} = \frac{S1}{1/2} = 2A = 2 \left( \frac{1}{2} - S \right) = 1 - 2 \int_0^1 L(x) \cdot (2) dx$$

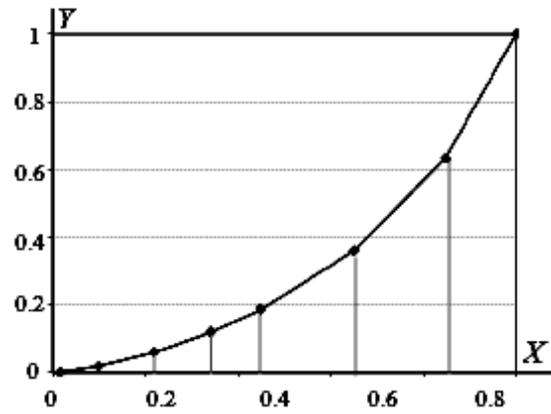


Рис. 2. Полигон накопленных частот распределения значений случайной величины  $X$

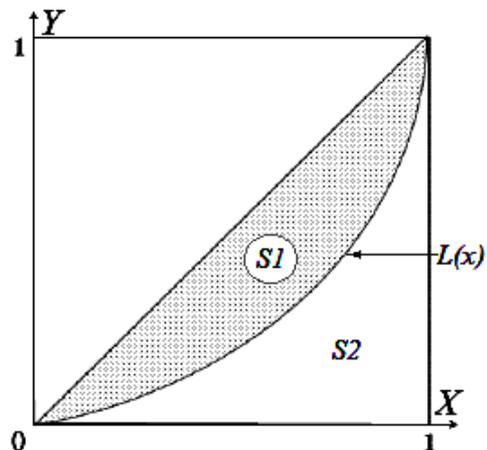


Рис. 3. Графическое отображение индекс Джини

Методические особенности вычисления этого индекса и его численные значения для различных государств, в том числе и для Украины, рассмотрены в работе [18]. Кривая  $L(x)$  получила название кривой Лоренца, предложившего её для применения в задачах социологии и политической экономики [19]. В работе [20] справедливо отмечено, что для вычисления указанного в условии (2) интеграла используют данные, представленные в табличном виде. Для интегрирования предложено использовать формулу трапеций в виде, представленном в работе [20]. Следуя работе [20, с. 195] назовём таблицей упорядоченную пару чисел  $(x_i, y_i)$  для которой  $x_1 < x_2 < \dots < x_n$ . Эта таблица задаёт точные значения (то есть такие, которые определены без учета погрешностей их измерения) функции  $y_i = f(x_i)$ . Используя обобщённую формулу трапеций, получим:

$$I = \int_{x_1}^{x_n} f(x) dx \approx \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i) (y_i + y_{i+1}) \quad (3)$$

Тогда индекс Джини будет равен величине

$$IG = 1 - \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i) \cdot (y_i + y_{i+1}), \quad (4)$$

в этом виде он приведен в работе [21].

В работе [20] для определения величины погрешности вычислений интеграла вида (3) использовано предположение о том, что допустима кусочно–полиномиальная аппроксимация полигона накопленных частот, показанного на рис. 2. Далее авторы работы [20] используют общепринятую процедуру вычисления погрешности метода трапеций при аналитически заданной функции. Её описание дано в работе [21].

Независимо от предметной области при выполнении описанных вычислений важным элементом, обеспечивающим их корректное выполнение, служит исчерпывающее изложение процедуры подготовки данных. Например, принятая в Польше методика подготовки данных для вычисления индекса Джини при определении отклонения фактической функции распределения доходов от равномерного распределения подробно описана в работе [22]. Для подготовки данных использован метод выборочного исследования домохозяйств. Каждый месяц исследование охватывает 3132 домашних хозяйств. Таким образом, годовые результаты касаются 37584 домохозяйств. Выборки домохозяйств, привлекаемых к исследованию, определяются на основе двухэтапной схемы с учетом административно-территориального деления страны. Первичные статистические регионы (ПСР) минимально включают 250 городских и 150 сельских домохозяйств. Всего используется около 30 000 первичных статистических регионов, из которых на втором этапе производится случайная выборка домашних хозяйств. В процессе такого обследования ротация (замена) выборок производится один раз в месяц; ежемесячно в каждом первичном статистическом регионе (ПСР) случайным образом определяют два домохозяйства; исследование в этих домохозяйствах проводят в выбранный месяц года в течение последующих двух лет.

Следует отметить, что в работе [22] и других, аналогичных ей работах, методика оценки влияния погрешности определения исходных данных на результат вычисления индекса Джини не описана.

Таким образом, **целью статьи** является разработка предложений по учету погрешностей наблюдений при определении индекса Джини и построении кривой Лоренца.

### Изложение основного материала

Способы оценки вычислительных погрешностей при проведении выборочных исследований в зависимости от принятого плана их проведения подробно описаны в работе [23]. Для выполнения вычислений, необходимых при определении индекса Джини с учетом погрешностей, обусловленных использованием выборочных данных, авторами выбрана технология интервальных вычислений с представлением чисел в системе центр – радиус. Теоретические основы этого метода описаны в работе [24]. Специализированный программный калькулятор, реализующий этот метод, представлен в работе [25]. Следует заметить, что ранее авторы данного сообщения также применяли интервальные вычисления для решения социологических задач [26].

В соответствии с этими работами на множестве действительных чисел  $R$ , определим интервальное число  $A$  в виде замкнутого интервала:

$$A = \langle \underline{a}, \bar{a} \rangle = (a_1, a_2), \quad \underline{a} \leq \bar{a}; \quad a_1 \leq a_2, \quad (5)$$

и представим в виде:

$$A = \langle a, r_a \rangle, \quad (6)$$

где

$$a = \frac{a_1 + a_2}{2}, \quad r_a = \frac{a_2 - a_1}{2}, \quad a, r_a \in R. \quad (7)$$

При применении системы центр-радиус действия сложения и вычитания с интервальными числами выполняют по следующим правилам:

$$A + B = \langle a + b, r_a + r_b \rangle; \quad (8)$$

$$A - B = \langle a - b, r_a + r_b \rangle. \quad (9)$$

Примем, что границы интервалов, которые ограничивают рассматриваемые числа, образованы вычислительными ошибками, погрешностями измерений или неполным знанием области изменения некоторой физической величины. Поэтому в условии (6) должны быть выполнены неравенства:

$$a \geq r_a \geq 0, \quad b \geq r_b \geq 0, \quad (10)$$

иначе будем считать, что задача, в рамках наших представлений об исследуемом объекте, физического смысла не имеет. Операцию умножения в системе центр-радиус выполняют по такому правилу:

$$\langle a, r_a \rangle \langle b, r_b \rangle = \langle ab + r_a r_b, ar_b + br_a \rangle. \quad (11)$$

Рассмотрим основные арифметические операции в том случае, когда один из операндов - постоянное число. В системе центр-радиус постоянное число  $C$  представим в виде  $C = \langle c, 0 \rangle$ . Примем, что  $A = \langle a, r_a \rangle$  и  $B = \langle b, 0 \rangle$ . Тогда операции сложения и вычитания представим в виде:

$$A + B = \langle a + b, r_a \rangle; \quad (12)$$

$$A - B = \langle a - b, r_a \rangle. \quad (13)$$

Для умножения интервального числа, представленного в системе центр-радиус, на постоянную величину примем, что:

$$AB = \begin{cases} \langle a, 0 \rangle \langle b, r_b \rangle, & A = const, B \neq const; \\ \langle a, r_a \rangle \langle b, 0 \rangle, & A \neq const, B = const. \end{cases} \quad (14)$$

Используя условия (5)...(14) получим условия, необходимые для вычисления выражения (4) в интервальном виде:

$$\begin{aligned} x_i &\rightarrow [X](i) = (\hat{x}(i); r_x(i)); \\ y_i &\rightarrow [Y](i) = (\hat{y}(i); r_y(i)); \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} x_{i+1} - x_i &\rightarrow ((\hat{x}(i+1); r_x(i+1)) - (\hat{x}(i); r_x(i))) = \\ &= (\hat{x}(i+1) - \hat{x}(i); r_x(i+1) + r_x(i)) = (u_i; r_u(i)); \end{aligned} \quad (16)$$

$$y_{i+1} + y_i \rightarrow \left( (\hat{y}(i+1); r_y(i+1)) + (\hat{y}(i); r_y(i)) \right) = \quad (17)$$

$$= (\hat{y}(i+1) + \hat{y}(i); r_y(i+1) + r_y(i)) = (v_i; r_v(i));$$

$$(x_{i+1} - x_i) \cdot (y_i + y_{i+1}) \rightarrow (u(i); r_u(i)) \cdot (v(i); r_v(i)) = (u(i)v(i) + r_u(i) \cdot r_v(i); u(i)r_v(i) + v(i)r_u(i)). \quad (18)$$

В работе [18] приведены сведения о еженедельных семейных доходах в Великобритании в 1992 г., полученные при анализе выборки объемом 7418 семей. Результаты обработки этих данных показаны в табл. 2.

Результаты вычисления индекса Джини для этих данных, полученные с использованием условий (4), (16) ... (18) приведены в табл. 3.

Из приведенных в этой таблице данных следует, что учёт погрешностей выборочных наблюдений при сравнении индекса Джини для различных стран может привести к неожиданным результатам. По данным, приведенным в [28] индекс Джини в 2016 г. составил для: США – 0,411; Греции – 0,367; Боливии – 0,484.

Следовательно, публикация индекса Джини без приведения данных о погрешности его определения может сказаться на результатах работ по страноведческому анализу.

Из табл. 2 и графика, приведенного на рис. 4 хорошо видно, что, в данном случае, на верхние 6,2 % домохозяйств приходится 18,7 % дохода.

Эта же доля дохода приходится на 36,1 % домохозяйств имеющих небольшие доходы. Для дальнейшего анализа по данным, приведенным в табл. 3 и используя процедуру сплайн – аппроксимации построим кривую Лоренца, показанную на рис. 4.

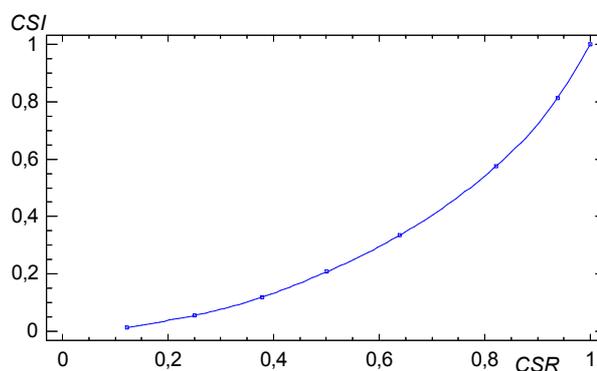


Рис. 4. Кумулятивные доли объема выборки (CSR) и дохода (CSI)

Аппроксимируем эти данные регрессионной моделью вида:

$$CSI = \exp(a + b \ln(CSR)) = \quad (19)$$

$$= \exp(-0,13024 + 1,97962 \ln(CSR)).$$

Критерии качества полученной модели приведены в табл. 4. График, соответствующий этой модели показан на рис. 5.

Таблица 2 – Кумулятивные доли объема выборки и дохода

Кумулятивная доля:	1	2	3	4	5	6	7	8
– объема выборки (x)	0,123	0,250	0,379	0,501	0,639	0,822	0,938	1,000
– объема дохода (y)	0,015	0,056	0,120	0,208	0,335	0,576	0,813	1,000

Таблица 3 – Результаты вычисления индекса Джини с использованием интервальных чисел в системе центр – радиус

Величина радиуса (% определяемой величины)					
2,5%			5 %		
НГ	Ц	ВГ	НГ	Ц	ВГ
0,36	0,41	0,45	0,34	0,41	0,48

Примечание: НГ – нижняя граница величины индекса Джини;

Ц – центральное значение индекса Джини;

ВГ – верхняя граница величины индекса Джини.

Таблица 4 – Критерии качества аппроксимации кривой Лоренца

Коэффициенты модели	Среднеквадратическая ошибка	Величина P <sub>v</sub>	Величина F - отношения	Величина R <sup>2</sup> (adj), %
a = - 0,13024	0,044	0,0249	–	–
b = 1,9796	0,044	< 1 · 10 <sup>-4</sup>	–	–
F - критерий	–	< 1 · 10 <sup>-4</sup>	2034	–
Коэффициент детерминации скорректированный R <sup>2</sup>	–	–	–	99,67

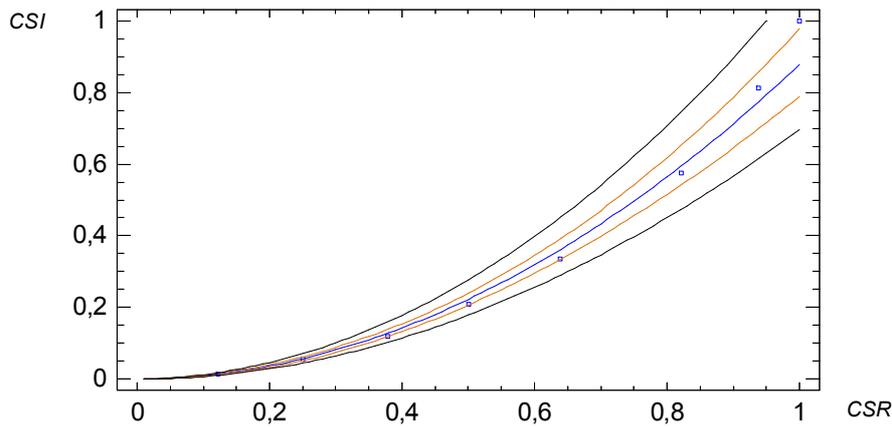


Рис. 5. Уравнение, аппроксимирующее кривую Лоренца для полученных данных

Из табл. 4 следует, что приведенное в условии (19) выражение удовлетворительно аппроксимирует полученные результаты и выражение для кривой Лоренца можно представить в нашем случае в виде:

$$L(CSR) = q(CSR)^b = 0.8778(CSR)^{1,9762}. \quad (20)$$

Для выполнения последующего анализа потребуется вычисление значений условия (19) в системе центр – радиус. Эти вычисления связаны с необходимостью вычисления в интервальном виде значений логарифмической и показательной функций.

Следуя работам [25; 26] представим логарифмическую функцию в виде:

$$\ln \langle x, r_x \rangle = \sum_{i=1}^6 \langle a_i, 0 \rangle \left[ \langle -1; 0 \rangle^{i-1} + \frac{\langle 1; 0 \rangle}{\langle x, r_x \rangle^i} \right] \frac{(\langle x, r_x \rangle - \langle 1; 0 \rangle)^i}{\langle i; 0 \rangle}. \quad (21)$$

Далее при описании вычислительных алгоритмов, во избежание недоразумений, связанных с использованием десятичных дробей, вместо символа  $\langle a, r_a \rangle$  будем использовать символ  $\langle a; r_a \rangle$ .

Коэффициенты  $a_i$ , необходимые для вычисления величины  $\ln \langle x, r_x \rangle$  приведены в табл. 5.

Таблица 5 – Значение коэффициентов для приближения функции  $\ln(x)$

$a_1$	0,500000	$a_4$	0,030303
$a_2$	0,227273	$a_5$	0,007576
$a_3$	0,090909	$a_6$	0,0001082

Произвольную показательную функцию представим в виде:

$$a^x = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(x \ln a)^k}{k!}. \quad (22)$$

Тогда, её интервальным расширением будет функция вида:

$$\langle a; r_a \rangle^{\langle x; r_x \rangle} = \sum_{k=0}^6 \frac{(\langle x; r_x \rangle \ln \langle a; r_a \rangle)^k}{k!}. \quad (23)$$

Экспоненту с отрицательным показателем, точнее её рациональное приближение, представим в виде

$$e^{-x} = \left[ \sum_{k=0}^6 a_k x^k \right]^{-4}, \text{ при } 0 \leq x \leq 16. \quad (24)$$

Значения коэффициентов  $a_k$ , используемых для приближения величины  $e^{-x}$ , приведены в табл. 6.

Таблица 6 – Значение интерполяционных коэффициентов для приближения величины  $e^{-x}$

$a_0$	1	$a_4$	0,0001715620
$a_1$	0,2499986842	$a_5$	0,0000054302
$a_2$	0,0312575832	$a_6$	0,0000006906
$a_3$	0,00259137121		

Интервальное расширение функции (24) примет вид:

$$e^{-\langle x; r_x \rangle} = \left[ \sum_{k=0}^6 \langle a; r_a \rangle_k \langle x; r_x \rangle^k \right]^{-4}, \text{ } 0 \leq x \leq 16. \quad (25)$$

Экспоненту с положительным показателем представим в виде:

$$e^{\langle x; r_x \rangle} = 1 / \left[ \sum_{k=0}^6 \langle a; r_a \rangle_k \langle x; r_x \rangle^k \right]^{-4}. \quad (26)$$

Это позволяет осуществлять действия с числами в диапазоне  $[1, 12 \cdot 10^{-7}; 8, 88 \cdot 10^6]$ .

В социологической литературе утвердилось мнение о том, что наличие широкой прослойки, именуемой средним классом, обеспечивает социальную общественную стабильность. В работах [29] и [30] приведены условия существования среднего класса, сформулированные с использованием индекса Джини и кривой Лоренца. В работе [29] в качестве критериальной величины принято значение индекса Джини, в работе [30] в качестве критериальной величины принята разность третьей и первой

квартили, соответствующая распределению, приведенному в табл. 2.

Способ вычисления квартилей изложен в работе [15].

Проверим выполнение этих условий для наших данных с учётом ошибок их определения. При вы-

числении радиусов интервалов коэффициентов уравнения (19) использовались данные о среднеквадратической погрешности определения коэффициентов регрессии. Эти значения умножали на коэффициент  $k = 1,64$ .

Результаты вычислений показаны в табл. 7.

Таблица 7 – Условия существования среднего класса

Литературный источник	Условия критерия	Значения критерия		
		НГ	Ц	ВГ
Работа [29]	$IG \leq \frac{1}{2}$	0,34	0,41	0,48
Работа [30]	$L\left(\frac{3}{4}\right) - L\left(\frac{1}{4}\right) \geq \frac{1}{2}$	0,38	0,44	0,51

### Вывод

Полученные результаты показывают, что пре-

процедурами получения исходных данных и их последующей обработкой может привести к серьёзным ошибкам в оценке содержательного смысла результатов исследования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ramachandran V. S., Feldman R. F., Beaudoin J. J. *Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology*. London : Heyden, 1981. 278 p.
- Білецький В. С., Голіков О. С. *Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт по курсу "Переробка, збагачення і комплексне використання корисних копалин"*. Покровськ : ДонНТУ, 2014. 49 с.
- Кравченко В. П. Анализ способов грануляции шлаковых расплавов и факторов, влияющих на качество граншлака. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2015. Вип. 30, Т. 1, С. 51–58.
- Конспект лекцій з дисципліни "Виробництво матеріалів для зварювання, наплавлення та напилення", ч. I «Виробництво покритих електродів» для студентів спеціальності 131 „Прикладна механіка” усіх форм навчання / Укл.: М.І. Андрущенко, О.Є. Капустян. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017 – 70 с.
- Аналіз дисперсного стану рослинної сировини зернового походження / В. М. Чорний, Ю. Ю. Прищепа, Н. В. Лапіна, Г. В. Ляшко, А. В. Рибачок, Т. Г. Мисюра, Н. В. Попова, Ю. В. Запорожець // *Одеська національна академія харчових технологій, Наукові праці*. – 2016. – Вип. 47, Т. 2. – С. 70–75.
- Рождественська Л. Г. Статистика ринку товарів і послуг: Навч. пос. / Л. Г. Рождественська. – К.: КНЕУ, 2005. – 419 с.
- Добренев В. И. Социология: Учебник / В. И. Добренев, А. И. Кравченко. – Москва: ИНФРА, 2001. – 624 с.
- Сычѐва В. С. Измерение уровня бедности: история вопроса от XVIII века до наших дней / В. С. Сычѐва // *Социология: методология, методы, математическое моделирование (4М)*. – 2002. – № 14. – С. 176–186.
- Бродська С. С. Світовий досвід вимірювання межі бідності / С. С. Бродська // *Наукові записки*. – Національний університет "Києво-Могилянська академія". – Т. 21. Соціологічні науки. – С. 44–49.
- Мартин Рэвеллон. Сравнительные оценки бедности [Электронный ресурс] / Мартин Рэвеллон. – Режим доступа к материалу: <https://docplayer.ru/49981763-Sravnitelnye-ocenki-bednosti-martin-revellon.html>
- Білоус І. Методика оцінки бідності в Україні та проблеми фінансового забезпечення її подолання / І. Білоус // *Світ фінансів*. – 2012. – № 4. – С. 120–126.
- Мельник С. Критерії оцінки бідності працюючого населення в Україні / С. Мельник, Н. Гаєвська // *Україна: аспекти праці*. – 2012. – № 2. – С. 14–19.
- Хомяк М. Бідність в Україні у показниках соціальної статистики / М. Хомяк // *Соціологічні студії*. – 2013. – № 2(3). – С. 70–76.
- Чуприна О. О. Соціальна нерівність і бідність в Україні / О. О. Чуприна // *Вісник Національної юридичної академії України імені Ярослава Мудрого*. – 2011. – № 2(5). – С. 57–76.
- Ежов А. И. Выравнивание и вычисление рядов распределения / А. И. Ежов. – Москва : Госстатиздат, 1961. – 335 с.
- Генри Джордж. Прогресс и бедность. Исследование упадка промышленности и увеличения бедности, растущей с увеличением богатства / Джордж Генри. – С.Пб.: Издание книжного магазина М. М. Ледерле, 1896. – 678 с.
- Примостко О.О. Методичні підходи до оцінки індексу якості життя населення України / О. О. Примостко // *Регіональна економіка*. – 2015. – № 2. – С. 80–88.
- Lorenz M. O. Methods for measuring the concentration of wealth / M. O. Lorenz. – Pub. Amer. Stat. Assoc, 1905. – Vol. 9. – 209 p.
- Костробій П. Математичне моделювання індексу суспільної нерівності / П. Костробій, І. Ковалець, Л. Гнатів // *Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології*. – 2013. – Вип. 17. – С. 81–89.
- Каханер Д. Численные методы и программное обеспечение / Д. Каханер, К. Моулер, С. Нэш. – Москва: МИР, 1998. – 575 с.
- Згуровський М. З. Сталий розвиток у глобальному і регіональному вимірах / М. З. Згуровський. – Київ: Політехніка, НТУУ «КПІ», 2006. – 84 с.

22. Główny Urząd Statystyczny. Zeszyt metodologiczny. Badanie budżetów gospodarstw domowych. – Warszawa, 2018. – 86 s.
23. Кокрен У. Методы выборочного исследования / У. Кокрен – Москва: СТАТИСТИКА, 1976. – 440 с.
24. Жуковська О.А. Основи інтервального аналізу / О.А. Жуковська. – К.: Освіта України, 2009. – 136 с.
25. Дубницький В. Ю. Вычисление значений элементарных и специальных функций с интервально заданным аргументом, определённым в системе центр-радиус / В. Ю. Дубницький, А. М. Кобылин, О. А. Кобылин // Прикладная радиоэлектроника. – 2017. – Т. 16, № 3-4. – С. 147–154.
26. Дубницький В. Ю. Інтервальне оцінювання кількості учасників масових протестних акцій / В. Ю. Дубницький, Г. Г. Зубрицька, А. М. Кобылин // Сучасні інформаційні системи. – 2018. – Т. 2, № 4. – С. 11–20. – DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.4.02>
27. Barrov M. M. Statistics for economics accounting and business studies, London and New York : Longman, 1996, 321 p.
28. Коэффициент Джини по странам [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://theworldonly.org/koeffitsient-dzhini-po-stranam>
29. Геворкян П. С. Распределение богатства в обществе и средний класс / П. С. Геворкян, В. И. Малыхин // Труд и социальные отношения. – 2010. – № 12. – С. 90–97.
30. Павлов О. И. Кривая Лоренца и математическое определение среднего класса / О.И. Павлов, О.Ю. Павлова // Управление экономическими системами : электронный журнал. – 2017. – № 9 (103). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/krivaya-lorentsa-i-matematicheskoe-opredelenie-srednego-klassa>

## REFERENCES

1. Ramachandran, V.S., Feldman, R.F. and Beaudoin, J.J. (1981), *Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology*, Heyden, London, 278 p.
2. Beletsky, V.S. and Golikov, O.S. (2014), *Methodical instructions for laboratory work on the course "Processing, enrichment and complex use of minerals"*, DonNTU, Pokrovsk, 49 p.
3. Kravchenko, V.P. (2015), "Analysis of methods for granulation of slag melts and factors affecting the quality of the granular slag", *Bulletin of the Azov State Technical University, Series: Technical Sciences*, No. 30, Vol. 1, pp. 51–58.
4. Andrushchenko, M.I. and Kapustian, O.Ye. (2017), *Production of materials for welding, surfacing and spraying, Production of coated electrodes*, ZNTU, Zaporizhzhya, 70 p.
5. Chorniy, V.M., Pryshepa, Yu.Yu., Lapina, N.V., Lyashko, G.V., Rybachok, A.V., Misyura, T.G., Popova, N.V. and Zaporozhets Yu.V. (2016), "Analysis of Disperse Condition of Vegetable Raw Materials of Grain Origin", *Scientific Works*, Odessa National Academy of Food Technologies, Issue 47, Vol. 2, P. 70–75.
6. Rozhdyestvenska, L.H. (2005), *Market Statistics of Goods and Services*, KNEU, Kyiv, 419 p.
7. Dobrenkov, V.I. and Kravchenko, A.I. (2001), *Sociology*, INFRA, Moscow, 624 p.
8. Sychev, V.S. (2002), "Measuring Poverty Level: Background from the 18th Century to the Present Day", *Sociology: Methodology, Methods, Mathematical Modeling (4M)*, No. 14, pp. 176–186.
9. Brodska, S.S. (2003), World Experience in Measuring the Poverty Line, *Scientific Notes*, Vol. 21. Sociological Sciences, NUKMA, Kyiv, pp. 44–49.
10. Martin, Ravellon (2019), *Comparative Poverty Estimates*, available to: <https://docplayer.ru/49981763-Sravnitelnye-ocenki-bednosti-martin-revellon.html>
11. Bilous I. (2012), "The Methodology of Assessment of Poverty in Ukraine and Problems of Financial Support to Overcome it", *World Finance*, No. 4, pp. 120–126.
12. Melnyk, S. and Gaevskaya, N. (2012), "Criteria for assessing the poverty of the working population in Ukraine", *Ukraine: aspects of labor*, No. 2, pp. 14–19.
13. Khomyak, M. (2013), "Poverty in Ukraine in the indicators of social statistics", *Sociological Studies*, No. 2 (3), pp. 70–76.
14. Chuprina, O.O. (2011), "Social Inequality and Poverty in Ukraine", *Bulletin of the National Law Academy of Ukraine*, No. 2 (5), pp. 57–76.
15. Yezhov, A.I. (1961), *Alignment and Calculation of Distribution Series*, Gosstatizdat, Moscow, 335 p.
16. Henry, George (1896), *Progress and Poverty. A study of the decline of industry and the increase in poverty growing with wealth*, Publishing of a bookstore M.M. Lederle, S.-Petersburg, 678 p.
17. Primostko, O.O. (2015), "Methodological Approaches to the Assessment of the Quality of Life of the Population of Ukraine", *Regional Economics*, No. 2, pp. 80–88.
18. Lorenz, M.O. (1905), *Methods for measuring the concentration of wealth*, Pub.Amer.Stat.Assoc, Vol. 9, 209 p.
19. Kostrobii, P., Kovalec, I. and Gnatov, L. (2013), "Mathematical modeling of the index of social inequality", *Physical-mathematical modeling and information technologies*, No. 17, pp. 81–89.
20. Kahaner, D., Moler, K. and Nash, S. (1998), *Computational Methods and Software*, MIR, Moscow, 575 p.
21. Zgurovsky, M.Z. (2006), *Sustainable development in the global and regional dimensions*, Politehnika, NTUU "KPI", Kyiv, 84 p.
22. Central Statistical Office (2018), Methodological book, *Study of household budgets*, Warsaw, 86 p.
23. Kokren, U. (1976), *Methods of selective research*, Statistics, Moscow, 440 p.
24. Zhukovska O.A. (2009), *Fundamentals of Interval Analysis*, Education of Ukraine, Kyiv, 136 p.
25. Dubnitsky, V.Yu., Kobylin, A.M. and Kobylin O.A. (2017), "Calculating the values of elementary and special functions with an interval specified argument defined in the center-radius system", *Applied Radioelectronics*, Vol. 16, No. 3-4, pp. 147-154.
26. Dubnitsky, V.Yu., Zubritska, G.G. and Kobylin, A.M. (2018), "Interval estimation of the number of participants in mass protest actions", *Advanced information systems*, Vol. 2, No. 4, pp. 11–20, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.4.02>
27. Barrov, M.M., (1996), *Statistics for economics accounting and business studies*, Longman, London and New York, 321 p.
28. TheWorldOnly (2019), *Gini coefficient by country*, available to: <https://theworldonly.org/koeffitsient-dzhini-po-stranam>.

29. Gevorkyan P.S. and Malykhin V.I. (2010), "Distribution of wealth in society and the middle class", *Labor and Social Relations*, No. 12, pp. 90–97.
30. Pavlov, O.I. and Pavlova, O. Yu. (2017), "The Lorenz curve and the mathematical definition of the middle class", *Management of Economic Systems*, No. 9 (103), available to: <https://cyberleninka.ru/article/n/krivaya-lorentsa-i-matematicheskoe-opredelenie-srednego-klassa>.

Received (Надійшла) 21.02.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 10.04.2019

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Дубницький Валерій Юрійович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник Харківського навчально-наукового інституту ДВНЗ "Університет банківської справи", Харків, Україна;

**Valeriy Dubnitskiy** – Candidate of Technical Sciences, Senior Research, Senior Research Associate of Kharkiv Educational Scientific Institute SHEI "University of Banking", Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [dubnitskiy@gmail.com](mailto:dubnitskiy@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1924-4104>

**Зубрицька Галина Григорівна** – бакалавр, студентка магістратури Ягеллонського університету, Краків, Польща;

**Halyna Zubrytska** – Bachelor, Postgraduate Student of Jagiellonian University, Krakow, Poland;

e-mail: [halyna.zubrytska@student.uj.edu.pl](mailto:halyna.zubrytska@student.uj.edu.pl); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9668-5491>

**Ходирєв Олександр Іванович** – старший викладач Харківського навчально-наукового інституту ДВНЗ «Університет банківської справи», Харків, Україна;

**Alexander Khodyrev** – Senior Instructor of Kharkiv Educational Scientific Institute SHEI "University of Banking", Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [khodyrev@gmail.com](mailto:khodyrev@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9871-9440>

**Визначення індексу Джині з урахуванням похибок вибірових спостережень**

В. Ю. Дубницький, Г. Г. Зубрицька, О. І. Ходирєв

**Анотація.** У статті розглядається випадкова величина, отримана в результаті вимірювання величини конкретної фізичної властивості. Досліджуються статистичні та обчислювальні аспекти завдання оцінки відхилення розподілу даної випадкової величини від рівномірного розподілу. Вже згадана випадкова величина нормується. Одним із способів визначення міри відхилення отриманої таким чином функції розподілу від рівномірного розподілу використовують індекс Джині. **Метою статті** є розробка пропозицій щодо врахування похибок спостережень при визначенні індексу Джині і побудові кривої Лоренца. **Результати.** Розглянуто задачу обчислення індексу Джині та параметрів кривої Лоренца з урахуванням похибок вибірових спостережень. Показано, що ця задача виникає в різних предметних областях, в тому числі і соціології. Для обліку помилок вибірових спостережень використані інтервальні обчислення в системі центрального радіуса. Для обчислення індексу Джині застосовано чисельне інтегрування за формулою трапецій з використанням інтервальних чисел. **Висновок.** Показано, що неврахування помилок вибірових спостережень може привести до помилкових висновків про рівень соціальної нерівності суспільства та оцінці його середнього класу.

**Ключові слова:** індекс Джині; крива Лоренца; середній клас; інтервальні обчислення; чисельне інтегрування інтервально визначеної функції.

**Determination of Gini index with considering the error of selected observations**

V. Dubnitskiy, H. Zubrytska, A. Khodyrev

**Abstract.** In this work the following problem is considered. For a set of physically realizable objects, to each of them the value of its physically measurable property is assigned. The value of this property for a particular object is assumed to be random. The error in determining the numerical value of this property is negligible compared to the value of the property being measured. We assume that the value of the measured property is positive and finite. It is necessary to estimate the deviation of the distribution of this property from the uniform distribution. Such problems arise in the study and management of processes in the various systems. For example, in concrete science, enrichment of the fields. Depending on the substantive meaning of the task, the goal of the research may be to find ways to get the maximum approximation of the density (function) of the property distribution to a uniform distribution or to achieve the opposite goal. The Gini index is chosen as a measure of the deviation of the distribution function of the measured property values from the uniform one, and the distribution itself is approximated by the Lorenz curve. The value of the Gini index is included in the system of indicators which characterize the level of prosperity of the various states or units of territorial - administrative division. It is shown that statistical sampling methods are the main way of obtaining the necessary data for the construction of the Gini index. Was described the methodology of conducting sampling studies used in Poland. To perform the necessary calculations in determining the Gini index and building a Lorenz curve, taking into account errors caused by using the sample data, the authors selected interval computing technology with the representation of numbers in the center - radius system. To calculate the Gini index, one of the methods of numerical integration is used - the trapezoid method. The implementation of this method is proposed in the interval form. The parameters of the expression approximating the Lorenz curve are determined. The calculation of the Gini index and the construction of the Lorenz curve is performed for information about weekly family income in the UK in 1992. It is shown that the refusal to take into account sampling errors can lead to erroneous conclusions when performing a comparative analysis of the uneven distribution of income between countries or their territories. A run test was made for checking the existence of a middle class in the surveyed population using two criteria. The first is based on comparing the Gini index value with the criterial index, the second one is based on comparing the difference between the third and first quartile of the sample described by the Lorenz curve with the criterial value. The results of numerical analysis for each of the criteria are given, which were performed using interval numbers determined in the center - radius system.

**Keywords:** Gini index; Lorenz curve; middle class; interval calculations; numerical integration of an interval defined function.

O. Morozova

National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine

## ANALYSIS OF USING INFORMATION TECHNOLOGIES IN SYSTEMS WITH DUAL PROCESSES

**Abstract.** The article deals with the analysis of using information technologies in systems with dual processes. It was shown how concepts information systems and technologies relate. The information system is the main medium for information technology. Information technology is a combination of techniques and processes, with clear rules and actions. Without knowledge of the oriented information technology, it is impossible to realize information system. The information system uses information technology to support decision making. At present, using of information technologies in the educational systems of 1-2 levels of accreditation is increasing. There are some opportunities for application of network technologies for the purpose of training, which allow the transfer of information of any kind and volume on-line to any distances, as well as interactivity and visibility of providing training materials. Among the information systems and technologies used in the higher education institutions, the most popular are web-technologies; intellectual computer programs, training; information technologies of decision making support and expert systems. Besides, creation of personal websites for teachers is particularly popular, thanks to these websites the teacher demonstrates his educational research activity, communicates with representatives of scientific schools and student communities, and thereby shares his experience and scientific achievements. After analysing the information systems and modelling tools in the production systems, it shows using some of the considered systems and tools in combination for divisions of the industrial enterprise. The structure of the industrial enterprise is divided into main blocks and each of them uses its own software product.

**Keywords:** information systems; information technologies; education; production; systems with dual processes.

### Introduction

Before carrying out the analysis of information systems and technologies it is necessary to specify how these two concepts relate.

The information system is a complex that includes computer and communication equipment, software, linguistic tools and information resources, as well as system personnel and provides support for dynamic information model of some part of the real world to meet the information needs of users [1].

The personal computer is used as the main technical equipment of information processing in the modern sense of the information system. Indeed, it is impossible to imagine everyday life without using a personal computer, tablet computer or smartphone. However, it is not enough to create and implement information system technology, it is also necessary to take the role of the person into account for whom this information system and the information produced by it is intended.

In addition, it is impossible to obtain and provide information without human participation. The information systems that are being built are dynamic in most cases and their construction uses a systematic approach. The result of the information system operation is the information on the basis of which decisions are made, for example, regarding subsequent training in self-training of University students.

Information technology (IT-technology) refers to the system of methods and forms of collection, accumulation, storage, search, processing, analysis, data output, information and knowledge based on the application of hardware and software tools in accordance with the users' requirements [2]. By applying different technologies in relation to any process, in particular educational, it is possible to obtain some kind of information. Today, when creating any

software that is tooling of information technology, it is necessary to take into account that the user owns a variety of types of data entry and processing devices, examples of which are given above.

Thus, the information system is the main medium for information technology. Information technology is a combination of techniques and processes, with clear rules and actions. Without knowledge of the oriented information technology, it is impossible to realize information system. The information system uses information technology to support decision making.

Today, the administration process of educational systems is one of the main tasks of education and training management in systems with dual processes. This process consists in the management of all the parts of systems with dual processes, also including development and implementation of standards, planning and definition of training procedures, etc.

In the age of global information system development of society, any process is not complete without using information systems and IT-technologies. Their application is also relevant in the administration of systems with dual processes.

Among these technologies we can select as follows: ontological approach, artificial intelligence systems and integrated intelligence, etc. All these technologies shall be implemented in conjunction with the system approach, as it is necessary to understand the role and place of their use in the overall process of administration of systems with dual processes.

The building of the intelligence system of administration of systems involves the creation of knowledge database for educational purposes. In terms of such database it is proposed to create a web-portal that would unite educational systems within the framework of not separate department, higher education institutions (HEI) and enterprises, but different hierarchy levels as a whole. Application of the modern

IT-technologies in system administration is the most effective way of management in systems with dual processes.

### 1. Analysis of using information technologies in the educational systems of 1-2 levels of accreditation

At present, using of IT-technologies in the educational systems of 1-2 levels of accreditation is increasing. There are some opportunities for application of network technologies for the purpose of training, which allow the transfer of information of any kind and volume on-line to any distances, as well as interactivity and visibility of providing training materials. Besides, it is possible to get access to various sources of information and communication in real time.

Information and communication technologies are used actively in classrooms during author's presentations using multimedia, creation of CD-encyclopaedias and reference books, development of computer training systems, simulators and testing.

The functions of the personal computer take special preference as a tool for educational activities, primarily due to the ability to store, edit, transfer of a significant volume of information. This allows applying it for optimization of training management, as well as the increase of educational process efficiency [3].

The didactic benefits of computer-based training resources are primarily in the fact that the use of multimedia technology makes it possible to create a learning environment with a clear and vivid presentation of information.

In addition, integration of significant amount of information in the single complex is carried out, as well as due to the creation of hyperlinks, navigation through the training material is simplified and the opportunity to choose the individual trajectory of studying the material is provided.

Thus, the analysis showed that IT-technologies find poor application in the educational systems of 1-2 levels of accreditation.

### 2. Analysis of using information technologies in the educational systems of 3-4 levels of accreditation

Among the information systems and technologies used in the higher education institutions (HEI), the most popular are web-technologies; intellectual computer programs, training; information technologies of decision making support and expert systems. Let us dwell on each of them in detail (Fig. 1).

Web-technologies – are technologies of creation and support of various information resources in the computer Internet network [2].

Hierarchies of information resources in the form of web-pages are built in HEI. Almost every HEI has its official

website, which contains web-pages of faculties, and within each faculty, there are web-pages of departments.

Besides, creation of personal websites for teachers is particularly popular, thanks to these websites the teacher demonstrates his educational research activity, communicates with representatives of scientific schools and student communities, and thereby shares his experience and scientific achievements.

Computer training programs are gaining popularity [4]. Most of them are electronic environments with interactive functions and multimedia elements, which are designed for independent student's work with training material in various forms of education – not only part-time and remote but full-time as well. Computer training programs are created not just to replace traditional training materials designed for the student's training but in order to add them, using with that the capabilities of modern information technologies. Most often, they include theoretical material, illustrated the analysis of solutions to common tasks and explanatory examples, graphics and animation materials, self-control tests, as well as for knowledge control. In most cases, educational computer programs are interactive. They implemented the experience of teachers, communication of students with which is limited, for example, at remote or individual study.

Information technologies of decision-making support are aimed at improving training efficiency and development of individual training paths for students, taking into account their individual characteristics of material perception.

In the educational process, more and more attention is paid to knowledge control systems. In general, preference is given to use of testing, as it is one of the fastest and most convenient ways to monitor and evaluate knowledge. Testing shows the degree of student's learning of training materials and indicates gaps in his knowledge.

Based on the test results, you can tell the student what he needs to learn to improve his level of knowledge according to the requirements of educational standards.

In addition, remote learning is becoming increasingly popular, as it allows gaining knowledge regardless of the country in which you live. The student develops educational materials independently in the interactive mode, passes testing, carries out control tests and sends them to teachers for review. The most

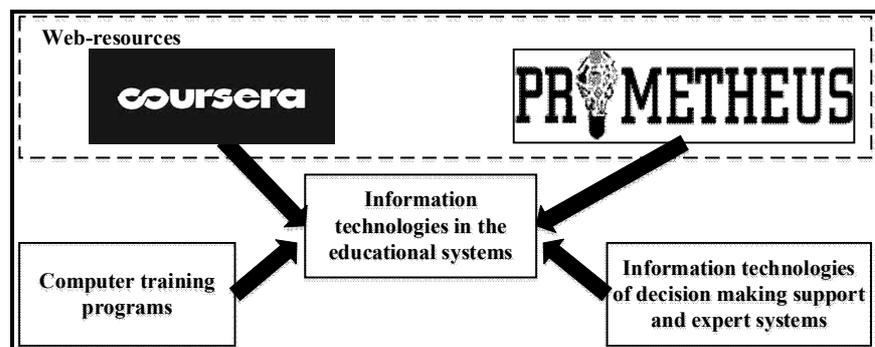


Fig. 1. Illustration of using information technologies in the educational systems of 1-2 and 3-4 levels of accreditation

important thing in remote learning is to have access to the Internet, which is no longer a problem up to date. The Moodle system is the most popular remote learning system. The Moodle system is a course management system, also known as a learning management system or virtual learning environment. [5] This system is a free web application that provides the ability to create websites for online training.

At the present time, the problem of creation of such approach to training occurs, which would consider individual student's personalities and could encourage for independent studying of educational material. To solve this problem, the use of information and communication technologies is proposed at work [6]. One of the ways to solve the problem assigned is the arrangement of classes using multimedia aids.

The basis of the arrangement of classes using multimedia aids covers the following principle: the studied material of the discipline is arranged so as to take into account the peculiarities of the perception of information by the student, that is, speed and order of material study should take into account the individual characteristics of the student.

The ability of visual presentation of a variety of tasks with a visual demonstration of their solutions, which is accompanied by theoretical material, is the advantage of such classes.

Classes with the use of multimedia aids involve the creation of slide lectures (presentations) using PowerPoint editor. The slide lectures are based on the approach in which the study of educational material is carried out using algorithms of step-by-step solutions. In this approach, the information on each slide appears gradually, allowing the student to dwell in detail on each element of the topic. In this case, they apply pop-up objects, phased construction of pictures, simulation of movement of elements using animation, etc. Detailing the process of problem solving and learning academic material is the main feature of this approach. The student has the opportunity to view the slide lecture repeatedly, while he can return to the incomprehensible moments of learning and problem-solving for several times, or vice versa if all the calculations are clear, then go to the next slides of the lecture.

Besides, in the work [7], scientists from the University of Washington revealed the regularity between student's progress and teaching methods of academic disciplines. Taking into account the results of research, scientists advise shifting to active teaching methods, in which students study the academic

discipline in training and freely discuss the studied material among themselves in practical classes [8].

Thus, the analysis showed that IT-technologies take a significant place in the educational systems of 3-4 levels of accreditation.

### 3. Analysis of using information technologies in the production systems

At this stage of industry development, we can observe the trend of increasing demand for application of information systems and technologies when producing highly technical products in the production systems. With increasing of production volumes and expansion of enterprise the question of activity coordination of each of divisions of the enterprise arises [9]. If we consider the production system as a set of individual lines of activities, then among them we can select the main ones: business planning, production process, warehousing and transportation. After analysing the information systems and modelling tools in the production systems the Fig. 2 shows using some of the considered systems and tools in combination for divisions of the industrial enterprise. The structure of the industrial enterprise is divided into main blocks and each of them uses its own software product (Fig. 2):

- 1) Project Expert;
- 2) BAAN;
- 3) Oracle JD Edwards;
- 4) Microsoft Dynamics AX (Axapta);
- 5) DELMIA;
- 6) SAP Business Suite;
- 7) CALS technologies.

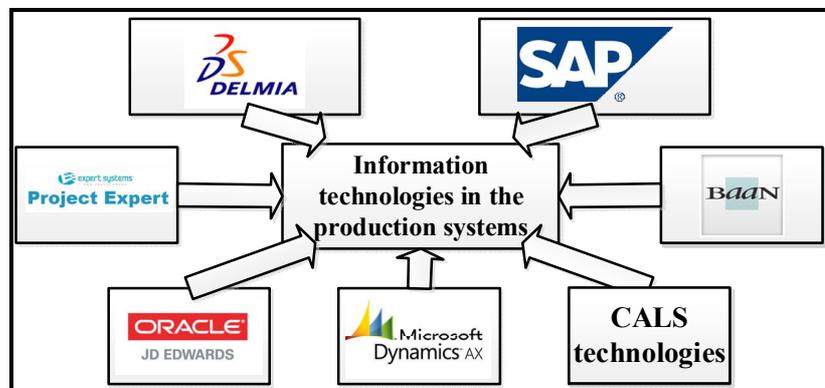


Fig. 2. Illustration of using information technologies in the production systems

### Conclusions

Thus, based on the analysis of the modern information systems and modelling tools, it can be concluded that the systems and tools can be used in the various combinations to unite and optimize the operation of the production system as a whole. This raises the problem of integration of systems and tools applied in the systems with dual processes.

### REFERENCES

1. Kogalovsky, M.R. (2003), *Perspective technologies of information systems*, DMK Press, Moscow, 288 p.
2. Rumyantseva, Ye.L. and Slyusar, V.V. (2007), *Information technologies: a manual*, Forum, Infra-M, Moscow, 256 p.
3. Gorbunova, L.I. and Subbotina, Ye.A. (2013), "Use of information technologies in the learning process", *Young Scientist*, No. 4 (51), pp. 544–547.

4. Yurkov, N.K. (2010), *Intellectual computer tutorial systems*, monograph, Penza, PSU, 304 p.
5. *System Moodle* (2019), available at: <https://moodle.org/?lang=ru>.
6. Meteshkin, K.A. (2004), *Cybernetic pedagogy: theoretical bases of education management on the basis of integrated intelligence*, ISU Publ., 400 p.
7. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics (2019), available at: <http://www.pnas.org/content/early/2014/05/08/1319030111?tab=author-info>.
8. Research by scientists has shown inefficiency of lectures for students (2019), available at: <http://tsn.ua/nauka-it/doslidzhennya-vchenih-viyavili-neeefektivnist-lekciy-dlya-studentiv-351751.html>.
9. Modern enterprise management tools (2019), available at: <http://khpi-iip.mipk.kharkiv.edu/library/itob/itob08.html>.

Received (Надійшла) 18.03.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.05.2019

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Морозова Ольга Ігорівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем, Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна;

**Olga Morozova** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Theoretical Mechanics, Machine Science and Robot-Mechanical Systems, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [oligamorozova@gmail.com](mailto:oligamorozova@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7706-3155>

#### Аналіз використання інформаційних технологій в системах з дуальними процесами

О. І. Морозова

**Анотація.** В роботі проведено аналіз використання інформаційних технологій в системах з дуальними процесами. Було показано, як співвідносяться поняття інформаційних систем і технологій. Інформаційна система є основним середовищем для інформаційної технології. Інформаційна технологія є об'єднанням методик і процесів, з чіткими правилами і діями. Без знання орієнтованої інформаційної технології неможливо реалізувати інформаційну систему. Інформаційна система використовує інформаційну технологію для підтримки прийняття рішень. В даний час йде підвищення використання інформаційних технологій в освітніх системах 1-2 рівня акредитації. Існують можливості застосування мережових технологій з метою навчання, які дозволяють передачу інформації будь-якого виду та обсягу в оперативному режимі на будь-які відстані, а також інтерактивність та наочність надання навчальних матеріалів. Серед інформаційних систем і технологій, що використовуються в закладах вищої освіти, найбільшою популярністю користуються web-технології; інтелектуальні комп'ютерні програми, які навчають; інформаційні технології підтримки прийняття рішень та експертні системи. Крім цього, особливою популярністю користується створення персональних web-сайтів викладачів, завдяки яким викладач демонструє свою науково-педагогічну діяльність, спілкується з представниками наукових шкіл і студентства, і тим самим передає свій досвід і наукові досягнення. Провівши аналіз інформаційних систем і засобів моделювання в виробничих системах, показано використання в комбінації деяких розглянутих систем і засобів для підрозділів промислового підприємства. Структура промислового підприємства розбита на основні блоки і в кожному використовується свій програмний продукт.

**Ключові слова:** інформаційні системи; інформаційні технології; освіта; виробництво; системи з дуальними процесами.

#### Анализ использования информационных технологий в системах с дуальными процессами

О. И. Морозова

**Аннотация.** В работе проведен анализ использования информационных технологий в системах с дуальными процессами. Было показано, как соотносятся понятия информационных систем и технологий. Информационная система является основной средой для информационной технологии. Информационная технология является объединением методик и процессов, с четкими правилами и действиями. Без знания ориентированной информационной технологии невозможно реализовать информационную систему. Информационная система использует информационную технологию для поддержки принятия решений. В настоящее время идет повышение использования информационных технологий в образовательных системах 1-2 уровня аккредитации. Существуют возможности применения сетевых технологий с целью обучения, которые позволяют передачу информации любого вида и объема в оперативном режиме на любые расстояния, а также интерактивность и наглядность предоставления учебных материалов. Среди информационных систем и технологий, используемых в учреждениях высшего образования, наибольшей популярностью пользуются web-технологии; интеллектуальные компьютерные программы, которые учат; информационные технологии поддержки принятия решений и экспертные системы. Кроме этого, особой популярностью пользуется создание персональных web-сайтов преподавателей, благодаря которым преподаватель демонстрирует свою научно-педагогическую деятельность, общается с представителями научных школ и студенчества, и тем самым передает свой опыт и научные достижения. Проведя анализ информационных систем и средств моделирования в производственных системах, показано использование в комбинации некоторых рассмотренных систем и средств для подразделений промышленного предприятия. Структура промышленного предприятия разбита на основные блоки и в каждом используется свой программный продукт.

**Ключевые слова:** информационные системы; информационные технологии; образование; производство; системы с дуальными процессами.

V. Vartanyan, D. Shteinbrekher

National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine

## COMPLEX METHOD OF THE KNOWLEDGE MANAGEMENT EFFICIENCY EVALUATION IN THE PROJECT ENVIRONMENT

**Abstract.** There are a large number of modern approaches to the development and implementation of organizational knowledge management systems, methodologies and models of knowledge management. Each of them has its own peculiarities, advantages, and disadvantages, aimed at supporting the knowledge saving process. At the same time, the question of the knowledge system effectiveness remains unclear, what complicates the decision-making process. The article analyzes modern approaches to assessing the effectiveness of the knowledge management system and the feasibility of its implementation in the project environment. The approaches analyzed, such as Kaplan-Norton's Balanced Scorecard (Kaplan-Norton), Non-material Asset Monitor (K.Sweeb), Skandia Navigator (Edvinsson), etc., can be used as macro indicators to determine the benefits of Knowledge Management System, but these indicators cannot reflect actual benefits gained solely by this system in relation to business processes and organizational project objectives. Thus, the **actual scientific task** is not only to develop a specific method of quantifying the benefits that the Knowledge Management System provides, but also to create indicators for project implementation evaluation through Knowledge Management System efficiency. **The paper objective** is to develop a comprehensive method for evaluation of the effectiveness of the Knowledge Management System, taking into account the specifics of project management. The proposed model is a multi-stage process, which allows increasing the reliability of the final decisions on knowledge management in the project and evaluating the profitability of the system. In addition, the model allows reducing the cost of the project, by simulating the influence of the system elements on project parameters. The proposed model is aimed at optimization (the choice of the best algorithm from several), identification (the definition of a system with the most relevant qualifications to the real object in the given conditions) or decision-making on Knowledge Management System in a project environment. **Further research** will be aimed at the development of automated tools for implementing the model, which will optimize the use of the model in project-oriented organizations.

**Keywords:** knowledge management; model; efficiency; intellectual capital.

### Introduction

**Problem statement.** During the last decade, scientists are paying a lot of attention to knowledge management (KM). At the same time, approaches to assessing the effectiveness of implementing KM instruments are not sufficiently investigated. In other words, organizations spend a significant amount of resources on the creation and improvement of knowledge infrastructure (both management tools and software), but at the same time, insufficient attention is devoted to the development and use of tools that measure the results and effectiveness of investments in KM.

**Analysis of recent research and publications.** An analysis of recent research has shown that there is a small number of studies in which authors propose methods for assessing the effectiveness of KM, but they do not take into account the specifics of KM in the project environment. Due to a number of features inherent in the design environment, the process of evaluating the effectiveness of using KM is considerably complicated. First, the specificity of project management lies in the uniqueness of the results, so most of the knowledge gained in previous projects cannot be used directly, but need adaptation, that is, the knowledge user will spend some time adapting knowledge. Secondly, in the process of project implementation there is a change in the composition of teams, which leads to the need to involve experts from other projects and units in solving a particular problem, so estimating the time spent solving a problem within a single project adds the time spent by the employee in implementing another project. In the process of modeling the quantitative assessment of the benefits of

implementing KM tools, there are three types of key benefits for project management:

- 1) saving time during problem-solving - reducing the time for the tasks of the project;
- 2) saving labor costs - saving man-hours of the project in problem-solving;
- 3) profitability - saving costs during problem-solving.

To date, the paper [1] is among the most mentioned studies to assess the effectiveness of KM. The authors proposed eight steps to create performance indicators for KM that are structurally divided into three stages: 1) strategic level - the development of activities that assess the goals of the organization; 2) Indicators containing an intermediate level linking process performance indicators at the operational level with business performance indicators at the strategic level; 3) indicators containing an operational level that reflect the measured performance of the KM process. But the proposed method is not adapted for its use in the project environment, which complicates the estimation of duration and cost of project tasks.

Thus, the lack of methods for quantifying the benefits gained by the organization from the introduction of KM in the project environment complicates the decision-making process regarding investment volumes and their subsequent use during project implementation.

**The paper objective** is to develop a comprehensive method for assessing the effectiveness of the KM system that takes into account the specifics of project management and allows us to develop a system of indicators for decision-making based on its profitability.

## Quantitative assessment of intellectual assets

Since the value created with the use of KM is an intellectual object, the methods of measuring intellectual resources can also be taken to assess the value of KM. There are different modern approaches for evaluation of the results of KM implementation. Today there are dozens of the most widespread approaches to the assessment of intellectual capital, which can be divided into two groups [2]: qualitative and quantitative. In such a structure, qualitative methods (for example, the Kaplan-Norton Balanced Scorecard, the Non-material Assets Monitor K. Syeb, the Navigator Skandia L. Edvinson, etc.) are aimed at analyzing the elements and structure of the intellectual capital of the organization, and quantitative methods carry out a monetary assessment intellectual property. In turn, there is also a group of "others" that combines indicators reflecting fluctuations in the price of intellectual property.

Let's consider some models in details. For example, Kaplan-Norton's Balanced Scorecard [3] aims at creating a link between the organization's strategy and operational activities, based on analysis of relationships with clients, financial indicators, business processes, growth rates, etc.

Using the Intangible Assets Monitor [4], developed by K. Swibe, the organization creates an interconnection between the elements of intellectual capital (the external and internal structure is presented as organizational capital, and qualification - as an individual) with four characteristics of the enterprise (growth rate, innovation efficiency, risk).

The analysis of qualitative models showed that their specificity does not correspond to the initial task, that is, the description of intellectual capital, which has market potential, cannot fully solve the problem of assessing the effectiveness of KM in the project environment. Authors of works [5, 6] divided the set of quantitative models into expendable, profitable and market models. Cost methods equate the actual costs incurred by the organization in creating an intellectual asset to its carrying amount. This is not a fair approach because of the constant change of asset value. In turn, profitable methods are based on the fact that the value of intellectual capital is created by its ability to generate more profit. The market subgroup relies on the increase of intellectual capital in comparison with competitors, that is, it uses the market value of the intellectual property.

All above-mentioned methods evaluate intellectual resources in terms of organizational (or *corporate*) level. They can be used as macro indicators to determine the benefits of KM, but such indicators can not reflect the actual benefits gained solely by the KM system in relation to business processes and project objectives of the organization. Thus, the actual research objective is not only the development of a specific method for quantifying the benefits that KM provides for the implementation of projects, but also the creation of indicators, through which it is possible to assess the effectiveness of the project management KM system.

Taking into account the above-mentioned aspects, the assessment of the system's efficiency must be expressed through the performance of the managed system and its own characteristics.

## Model of estimation of KM efficiency

Thus, in order to solve the problems presented above, a complex model for assessing the effectiveness of project KM is proposed. The structural scheme of the model is presented in Fig. 1.



**Fig. 1.** Structural scheme of elements of the estimating the KM method efficiency in the project environment

The proposed model is aimed at optimization (choice of the best algorithm among several ones which implements one law of the functioning of the system),

identification (the definition of a system whose quality most closely matches the real object in the given conditions) or decision-making with the management of the system ultrasound. During the implementation of the model, the project statistics (data on the duration and cost of work) and information from the project implementation plan, as a result of processing in 7 stages, turns into a quantitative assessment of the performance of the system of ultrasound and its individual elements. The process is carried out with the involvement of experts from different departments involved in the project implementation process. Let's consider all the steps in detail.

The presented structural scheme reflects the sequence of stages, their inputs, and outputs, as a result of the implementation of the listed stages. Based on the information obtained through the implementation of the model, the project manager and management of the organization can make informed decisions about the development KM system and the work of this system in the process of project implementation.

**Stage 1.** Expert evaluation of the list of names of indicators by rank correlation analysis.

The input data for the KM performance model is the project's statistics on the duration and cost of the tasks. Such data should be processed using the expert judgment method to eliminate statistical links. The stage is performed in the following steps:

- 1) development of a generalized assessment of project indicators based on individual expert assessments;
- 2) development of a generalized assessment based on a paired comparison of objects by each expert;
- 3) determining the relative weights of objects;
- 4) determination of consensus of expert opinions;
- 5) determination of dependencies between rankings;
- 6) assessment of the reliability of the results of processing.

**Stage 2.** Processing of statistical values by quantitative correlation analysis.

As a result of this phase, the agreed classification of the names of the project data is converted into normalized statistics, divided into groups of works of the project. Correlation analysis is carried out within each group of works identified by the project manager and confirmed by experts in the previous step regarding the cost and duration of tasks in this group  $(x_i; y_i)$ .

Next, the indicators of variables, data indicators and the impact of these indicators on the groups of works are determined, for which it is expedient to use factor analysis and the method of the main components, are determined. In addition, at this stage, using the KM structural scheme, the project manager defines the structure of the whole system by selecting the appropriate subsystems and modules from the proposed classifier, which will be subject to further analysis.

**Stage 3.** Finding of coefficients of influence of data, the formation of factor indicators and construction of the actual structural scheme of the KM system.

On the basis of the data obtained in the previous stage, it is necessary to find an influence on the system, using a set of indicators (formal factors of influence), which are formed as follows. First, the convolution

result of the system is set. This is the system index or the integral index of the system. Such indicators and indices are determined by the matrices of data, which are prepared using correlation analysis.

For example, let the group  $WP_1(x_1; y_1)$ , where  $x_1$  is the cost of a group of works,  $y_1$  is the duration of a group of works, includes the tasks with the following indicators:  $(z_1; u_1)$ ,  $(z_2; u_2)$ ,  $(z_3; u_3)$ ,  $(z_4; u_4)$  cost and duration of works, respectively, which are part of the group, for which we have statistics for 5 years. Then the data of the  $WP_1$  project group can be represented as a matrix:

$$X_1 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ z_{1_1} & z_{1_2} & z_{1_3} & z_{1_4} & kz_1 \cdot z_{1_5} \\ z_{2_1} & z_{2_2} & z_{2_3} & z_{2_4} & kz_2 \cdot z_{2_5} \\ z_{3_1} & z_{3_2} & z_{3_3} & z_{3_4} & kz_3 \cdot z_{3_5} \\ z_{4_1} & z_{4_2} & z_{4_3} & z_{4_4} & kz_4 \cdot z_{4_5} \end{pmatrix}; \quad (1)$$

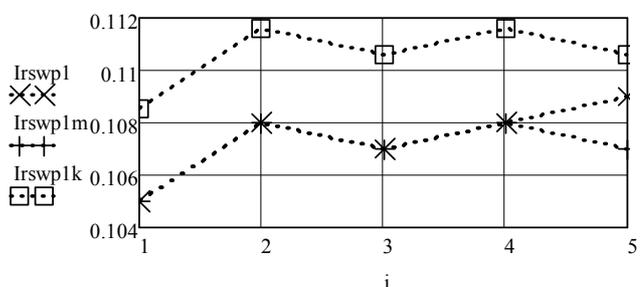
$$Y_1 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ u_{1_1} & u_{1_2} & u_{1_3} & u_{1_4} & ku_1 \cdot u_{1_5} \\ u_{2_1} & u_{2_2} & u_{2_3} & u_{2_4} & ku_2 \cdot u_{2_5} \\ u_{3_1} & u_{3_2} & u_{3_3} & u_{3_4} & ku_3 \cdot u_{3_5} \\ u_{4_1} & u_{4_2} & u_{4_3} & u_{4_4} & ku_4 \cdot u_{4_5} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

The next step, in order to determine how the performance of a group of works  $WP_i$  affects the performance indicators of this group, the group performs a list of actions:

- 1) construct data matrices (1), (2);
- 2) run convolution matrices;
- 3) calculate the formal profitability index  $I_{rs}$ ,

which, before the start of the simulation, is established as  $I_{rs} = 1/i$ , where  $i$  is the number of workgroup projects, which corresponds to the assumption that each group of indicators affects the factor variable equivalently;

4) simulate the actual index  $I_{rs}$  without using the KM system. The graph, shown in Fig. 2 shows the result of simulation of the actual index of the KM system, described in [7].



**Fig. 2.** Example of simulation of the value of the index of profitability of the KM system

**Stage 4.** Simulation of the main indicators and indicators of subsystems by quantitative factor analysis. Using factor analysis tools, modeling of subsystem

indicators and actual system performance without the influence of ultrasound instruments is performed.

**Stage 5.** Development of the model of functioning of the KM system by the method of nonlinear dynamics and obtaining solutions of the system of equations.

The next stage is aimed at analyzing the system using nonlinear dynamics methods. For this purpose, the Bulirsch-Stoer Method [8] is used to obtain data on the stages of the project implementation, and to distribute data by stages.

Let's consider the approaches to implementation of the proposed methods. Let us give a simple differential equation that binds an independent variable  $x$ , to an unknown function  $y(x)$  of this independent variable and its derivatives:

$$y'(x), y''(x), \dots, y^{(n)}(x); \quad (3)$$

$$F(x, y(x), y'(x), \dots, y^{(n)}(x)) = 0, \quad (4)$$

де  $F(x, \dots, y^{(n)})$  - a function of the specified arguments.

Let's execute the extrapolation value  $\hat{y}_{i+1}$ , where  $\hat{y}$  is the approximate value, according to the known previous value. The procedure for finding the next calculated point  $(x_{i+1}, \hat{y}_{i+1})$  consists of two steps:

1. Getting the sequence of decisions at the point  $x = x_{i+1}$  using the strategy of reducing the step.
2. Refine the numerical solution on the basis of procedures of polynomial or rational extrapolation.

**Stage 6.** Setting up the task of decision-making support; supporting decision-making in the hierarchies by T. Saati [9]; modeling the matching parameters in the KM system.

Simulation modeling of the KM system is performed using the hierarchy analysis method, which is to decompose the problem into more simple parts and gradually establish the priorities of the evaluated components using the paired comparison method. This method is based on the evaluation of each alternative and its importance for solving higher-level tasks. The decision-making process includes the following steps:

- 1) identification of the problem;
- 2) the decomposition of the problem into the hierarchy of tasks;
- 3) selection of criteria for evaluating problem-solving;
- 4) development of matrices of pair comparisons of module criteria;
- 5) calculation of priorities;
- 6) synthesis of priorities;
- 7) verification of consistency.

**Stage 7.** Obtaining the initial parameters of the KM system. Decision making on the effectiveness of the ultrasound system.

The realization of these stages in the hierarchy analysis method allows us to obtain objective quantitative estimates of the importance of all elements in the structure of the hierarchy associated with the problem stated.

After modeling and verifying the results, an assessment of the efficiency and profitability of the ultrasound system and the formation of a "decision tree", which for the KM system, described in [7], has the following conclusions:

1. The project with the cost of 420090 UAH, the total duration of work 3864 days and human resources 38-49 developers in the application of the KM system profitable at  $R = 37.6\%$

2. Due to the application of the KM system, the budget of the project is saved in the amount of 131851 UAH. (31.4%), reduction of the duration of the project in the amount of 1555 days (40.2%), under the conditions of the team of the project to 49 developers of the given qualification.

3. The actual index of system profitability is 0.93. In this case, the formation of a steady phase of the project takes place for 47 days, the ongoing development of the project takes 482 days.

4. The priorities for using the elements of the KM system are as follows:

- Economic Knowledge Management Subsystem,
- Knowledge Management Infrastructure Subsystem,
- Knowledge Risk Factors Subsystem,
- Knowledge Management Subsystem,
- Subsystem knowledge management.

### Conclusion

A large number of modern approaches on development and implementation of organizational knowledge management systems, methodologies and models of knowledge management aimed at ensuring the process of knowledge saving.

At the same time, the question of the effectiveness of using such approaches remains unclear, which complicates the decision-making process regarding their use in the project environment.

The developed model for assessing the effectiveness of knowledge management processes can not only increase the reliability of final decisions on the KM but also reduce the cost of the project, by simulating the influence of the elements of the system on its indicators. The proposed method allows to save up to 31.4% of the project budget and 40.2% of the duration of the project.

Further research will be aimed at the development of automated tools for implementing the model, which will optimize the use of the model in project-oriented organizations.

### REFERENCES

1. Manfredi Latilla, Vito (2018), "Knowledge management, knowledge transfer and organizational performance in the arts and crafts industry: a literature review", *Journal of Knowledge Management*, Vol. 22.6 (2018), pp. 1310–1331.
2. Dimchenko, O.V., and Tararuyev, Yu.O. (2018), "The Application of Intellectual Capital in the Process of Assessing the Competitiveness of Enterprises", *Scientific Herald of Kherson State University. Series "Economic Sciences"*, Vol. 1.28 (2018), pp. 94-99.

3. Levy, F. (2009), *A simulated approach to valuing knowledge capital*, The George Washington University, 189 p.
4. Sveiby, K. (2004), *The invisible balance sheet: key indicators for accounting, control and valuation of know-how companies*, available at: <http://www.sveiby.com/articles/IntangAss/DenOsynliga.pdf>.
5. Lashkun, G.A., Shakhno, A.Yu. and Paustovskaya, T.I. (2018), "Problems of Quantitative Estimation of Intellectual Capital as a Component of National Human Capital", *Investments: Practice and Experiences*, Vol. 13 (2018), pp. 32–36.
6. Abualoush, Shadi (2018), "The role of knowledge management process and intellectual capital as intermediary variables between knowledge management infrastructure and organization performance", *Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge, and Management*, Vol. 13 (2018), pp. 279–309.
7. Shteinbrekher, D.O. (2017), "Risk Management Loss of Knowledge of Design-Oriented Organizations", *Radioelectronic and Computer Systems*, No. 2 (82), pp. 104–108.
8. Dhivakar, B., Saravanan, S.V., Sivaram, M. and Krishnan, R.A. (2012), "Statistical Score Calculation of Information Retrieval Systems using Data Fusion Technique", *Computer Science and Engineering*, Vol. 2, Issue 5, pp. 43-45, doi: <http://doi.org/10.5923/j.computer.20120205.01>
9. Saati, T. (1993), *Decision-making. Method of analysis of hierarchies*, Radio and communication, Moscow, 278 p.

Received (Надійшла) 30.04.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.06.2019

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Вартанян Василь Михайлович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри "Менеджмент", Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;

**Vasily Vartanyan** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Management Department, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [vartanyan\\_vm@ukr.net](mailto:vartanyan_vm@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9428-2763>

**Штейнбрехер Дар'я Олександрівна** – асистент кафедри "Менеджмент", Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського "ХАІ", Харків, Україна;

**Daria Shteinbrekher** – Lecturer Assistant of Management Department, National Aerospace University "KhAI", Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [d.shteinbrekher@gmail.com](mailto:d.shteinbrekher@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2584-3437>

#### Комплексний метод оцінки ефективності системи управління знаннями в проектному середовищі

В. М. Вартанян, Д. О. Штейнбрехер

**Анотація.** Відсутність методів кількісної оцінки переваг, отриманих організацією від впровадження управління знаннями (УЗ) в проектному середовищі ускладнює процес прийняття рішень щодо об'ємів інвестування та їх подальшого використання під час реалізації проектів, тому актуальною науковою задачею є розробка методів та індикаторів, які дозволяють підвищити вимірюваність переваг УЗ. Мета статті полягає в розробці комплексного методу оцінки ефективності системи УЗ, який враховує специфіку проектного менеджменту і дозволяє розробити систему індикаторів для прийняття рішень щодо її рентабельності. В статті проведено аналіз сучасних підходів до оцінки ефективності системи управління знаннями, таких як метод збалансованих показників Каплана-Нортон, Монітор нематеріальних активів К. Свейбі, Навігатор «Skandia» Л. Едвінссона та ін. Визначено недоліки їх використання для аналізу системи УЗ в проектному середовищі. Розглянуто ключові етапи побудови методу оцінки ефективності системи управління знаннями в проектному середовищі. Запропонований багатетапний процес дозволяє не тільки підвищити достовірність остаточних рішень щодо управління знаннями в проекті та оцінити рентабельність системи, але й знизити витрати проекту за рахунок моделювання впливу елементів системи на його показники. Використання запропонованого методу дозволяє отримати економію до 31.4% бюджету проекту та 40.2% тривалості проекту. Запропонований метод може використовуватись для підтримки прийняття рішень щодо ефективності системи УЗ високотехнологічних проектів.

**Ключові слова:** управління знаннями; модель; ефективність; інтелектуальний капітал.

#### Комплексный метод оценки эффективности системы управления знаниями в проектной среде

В. М. Вартанян, Д. А. Штейнбрехер

**Аннотация.** Отсутствие методов количественной оценки преимуществ, полученных организацией от внедрения инструментов управления знаниями (УЗ) в проектной среде, усложняет процесс принятия решений относительно объемов инвестирования и их дальнейшего использования во время реализации проектов, поэтому актуальной научной задачей является разработка методов и индикаторов, которые позволяют повысить измеримость преимуществ УЗ. Цель статьи заключается в разработке комплексного метода оценки эффективности системы УЗ, который учитывает специфику проектного менеджмента и позволяет разработать систему индикаторов для принятия решений относительно ее рентабельности. В статье проведен анализ современных подходов к оценке эффективности системы управления знаниями, таких как метод сбалансированных показателей Каплана-Нортон, Монитор нематериальных активов К. Свейби, Навигатор «Skandia» Л. Эдвинссона и др. Определены недостатки их использования для анализа системы УЗ в проектной среде. Рассмотрены ключевые этапы разработки метода оценки эффективности системы управления знаниями в проектной среде. Предложенный многоэтапный процесс позволяет не только повысить достоверность окончательных решений по управлению знаниями в проекте и оценить рентабельность системы, но и снизить затраты проекта за счет моделирования влияния элементов системы на его показатели. Использование предложенного метода позволяет получить экономию бюджета проекта до 31.4 и 40.2% продолжительности проекта. Предложенный метод может использоваться для поддержки принятия решений относительно эффективности системы УЗ высокотехнологичных проектов.

**Ключевые слова:** управление знаниями; модель; эффективность; интеллектуальный капитал.

В. І. Васишин, В. В. Лютов, Д. С. Комін

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ПРИ ПОПЕРЕДНІЙ ОБРОБЦІ СИГНАЛІВ МЕТОДОМ SSA В УМОВАХ ПОРОГОВОГО ВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ-ШУМ

**Анотація.** Предмет статті – методи спектрального аналізу, метод сингулярного спектрального аналізу (singular spectrum analysis-SSA). **Мета даної статті** – підвищення ефективності спектрального аналізу (зменшення середньоквадратичної похибки оцінювання частоти) в умовах порогового відношення сигнал-шум (ВСШ) при попередній обробці сигналів методом SSA. **Результати.** На основі раніше розробленого авторами методу просторового спектрального аналізу, оснований на одночасному використанні декількох методів спектрального аналізу, та попередньої обробки сигналів на основі модифікованого методу SSA запропоновано здійснювати обчислення методу SSA в умовах порогового ВСШ та не здійснювати його обчислення в області середніх та високих ВСШ. Таке спрощення здійснюється з огляду на високу ефективність сучасних методів спектрального аналізу в умовах середніх та високих ВСШ. **Висновки.** Проведене дослідження показало, що використання запропонованого підходу в умовах порогового ВСШ дозволяє забезпечити точність оцінювання частот гармонічних компонентів сигналу, що забезпечується при використанні методу SSA, а в умовах середніх та високих ВСШ точність, що визначається методом спектрального аналізу. Зазначені результати можуть бути використані при оцінюванні стану каналу зв'язку, пеленгації джерел випромінювання та в ряді інших випадків.

**Ключові слова:** сингулярний спектральний аналіз; спектральне розкладення матриці; перетікання підпросторів.

### Вступ

У ряді випадків при обробці сигналів та зображень здійснюється певна попередня обробка [1–8]. Така обробка дозволяє зменшувати розмірність задачі, що вирішується (наприклад при попередньому формуванні багатопроменевої діаграми спрямованості), декореляцію сигналів джерел випромінювання в умовах багатопроменевого поширення хвиль (так зване просторове згладжування), зменшувати рівень шуму в спостереженні. Попередня обробка використовується в системах радіолокації, радіозв'язку та інших.

Крім того, така обробка може бути використана перед застосуванням сучасних методів спектрального аналізу. Спільною рисою таких методів та методів попередньої обробки сигналів є використання спектрального розкладення кореляційної матриці (КМ) даних (EVD- eigenvalue decomposition) або матриці даних (SVD- singular value decomposition). У першому випадку обчислюються власні значення та вектори КМ, у другому сингулярні значення та вектори матриці даних. Реалізація спектрального розкладення ускладнюється вимогою  $O(M^3)$  операцій комплексного множення, де  $M$  – кількість антенних елементів при просторовому спектральному аналізі або розмір сегменту, на які розбивається вхідна послідовність [1, 6].

Застосування попередньої обробки здійснюється з метою підвищення ефективності методів спектрального аналізу (підвищення роздільної здатності, зменшення величини середньоквадратичної похибки (СКП) оцінювання параметрів (напрямків надходження радіохвиль, частоти компонентів сигналів, часу затримки сигналів і т.д.).

В одних випадках (при попередньому формуванні багатопроменевої діаграми спрямованості) загальна обчислювальна складність зменшується, проте у ряді випадків (наприклад, при використанні

методу SSA, коли виконується EVD або SVD) збільшується.

Тому у ряді випадків актуальним є пошук шляхів зменшення обчислювальної здатності при здійсненні попередньої обробки сигналів. Так в даній роботі розглядається підхід, що полягає в обчисленні методу SSA в умовах порогового відношення сигнал-шум. Його обчислення в умовах середніх та високих ВСШ не здійснюється.

### 1. Аналіз існуючих досліджень

В умовах низького відношення сигнал-шум (ВСШ) ефективність сучасних методів спектрального аналізу обмежується наявністю ефекту перетікання підпросторів (subspace leakage) [1, 6]. При цьому має місце пороговий ефект (threshold effect), що проявляється в різкому збільшенні СКП оцінювання при зменшенні ВСШ нижче деякого порогового ВСШ.

Підвищити точність оцінювання кутових координат джерел випромінювання в таких умовах можна за умови використання стратегії спільного оцінювання (ССО) [6] джерел випромінювання. У результаті обчислення декількох методів спектрального аналізу по одним вибіркам даних одержують сукупність попередніх оцінок кутових координат сигналів джерел випромінювання. Остаточні оцінки отримують на підставі цих попередніх оцінок відповідно до деякого правила. При цьому особливістю такого підходу є використання інформації (або апріорної або отриманої в результаті проведеного оцінювання) про сектори розташування джерел випромінювання [6]. В такому випадку виникає можливість не здійснювати обчислення декількох методів спектрального оцінювання коли оцінки методу, який обчислений попередньо, попадають в названі сектори.

Вважається, що отримана точність оцінювання є достатньою і немає потреби у обчисленні сукупності методів.

Іншим прикладом покращення ефективності спектрального аналізу є використання методу SSA, нетрадиційних підходів (бутстрепу, технології сурогатних даних (псевдошумового розмноження вибірки, алгоритмів рандомізації фаз відліків перетворення Фур'є спостереження, ATS-алгоритму (attractor trajectory surrogates)) [2-5].

На сьогоднішній день відомі роботи по спільному використанню методу SSA з сучасними методами спектрального аналізу [2, 7, 8]. Запропоновано модифікації методу SSA [2, 3, 7, 8]. Проведено аналіз впливу величини сегменту (вікна), що використовується в методів SSA на ефективність спектрального аналізу. В роботі [7] показана доцільність спільного використання методу SSA з технологією сурогатних даних.

Разом з тим, в вказаних роботах не аналізувалася можливість спрощення попередньої обробки спостереження методом SSA шляхом його використання лише в умовах порогового ВСШ.

Тому мета даної роботи – підвищення ефективності спектрального аналізу на основі попередньої обробки сигналів методом SSA в умовах порогового ВСШ.

## 2. Основна частина дослідження

Модель даних представлена в дискретні моменти часу  $n$  має вигляд

$$y(n) = s(n) + e(n), \quad (1)$$

де  $n = 1, \dots, N$ , корисний сигнал  $s(n)$  містить  $v = 1, \dots, V$  гармонічних компонент  $x_v(n) = \xi_v \times \exp(j(\omega_v n + \phi_v))$ , що характеризуються амплітудою  $\xi_v$ , частотою  $\omega_v = 2\pi f_v$  та фазою  $\phi_v$ , а  $e(n)$  – білий гаусівський шум. Більш повно модель подана в [7, 8].

Реалізація методу SSA та методів спектрального аналізу, оснований на використанні підпросторів власних векторів КМ (таких як MUSIC, ESPRIT, Min-Norm та інших) передбачає формування матриці даних та відповідної кореляційної матриці даних.

У випадку методу SSA матриця даних (траєкторна матриця) має ганкелеву форму

$$\mathbf{Y} = [\mathbf{y}(1) : \mathbf{y}(2) : \dots : \mathbf{y}(K)], \quad (2)$$

де  $\mathbf{y}(n) = [y(n) \dots y(n+m-1)]^T$ ,  $K = N - m + 1$ ,  $n = 1, \dots, K$ ,  $(\bullet)^T$  означає оператор транспонування. Величина  $m$  визначає розмір вікна (сегменту) [2].

Вибір розміру вікна пов'язаний з теоремою Такенса [7], що визначає особливості вкладення часових послідовностей та їх реконструкції.

Оцінка КМ традиційно визначається як [1]

$$\hat{\mathbf{R}} = \frac{1}{K} \mathbf{Y} \mathbf{Y}^H = \frac{1}{K} \sum_{n=1}^K \mathbf{y}(n) \mathbf{y}^H(n), \quad (3)$$

де  $(\bullet)^H$  означає оператор ермітового спряження.

Спектральне розкладення КМ  $\hat{\mathbf{R}}$  (за власними значеннями та векторами) може бути подане як [2]

$$\hat{\mathbf{R}} = \hat{\mathbf{U}}_s \hat{\mathbf{Y}}_s \hat{\mathbf{U}}_s^H + \hat{\mathbf{U}}_n \hat{\mathbf{Y}}_n \hat{\mathbf{U}}_n^H, \quad (4)$$

де  $\hat{\mathbf{U}}_s$  і  $\hat{\mathbf{U}}_n$  –  $m \times \hat{V}$  і  $m \times (m - \hat{V})$  матриці власних векторів (ВВ) підпростору сигналів (ППС) та шуму (ППШ). Вони пов'язані з  $\hat{V}$  та  $m - \hat{V}$  власними значеннями (ВЗ) ППС та ППШ, які містяться в діагональних матрицях  $\hat{\mathbf{L}}_s$  і  $\hat{\mathbf{L}}_n$ .

Оцінки частоти компонент сигналу методом Root-MUSIC можуть бути знайдені по сигнальним кореням поліному [2, 3]:

$$P_{rm}(z) = \mathbf{a}^H(z^{-1}) \hat{\mathbf{U}}_n \hat{\mathbf{U}}_n^H \mathbf{a}(z), \quad (5)$$

де  $\mathbf{a}(z) = [1, z, \dots, z^{M-1}]^T$ ,  $z = \exp(j\omega)$ ,  $\hat{\mathbf{U}}_n$  є матрицею ВВ ППШ. За аналогією можна знайти оцінки методом Root-Min-Norm.

Модифікований метод SSA описано в [8]. Його особливістю є виконання SVD матриці даних та використання для відновлення матриці даних лише сигнальних сингулярних значень та векторів. Крім того, з сигнальних сингулярних значень віднімається середньоквадратичне відхилення шуму. До отриманої матриці даних, очищеної від шуму, застосовується оператор усереднення, в результаті якого обчислюється відфільтрована від шуму часова послідовність  $y_{filt.}(n)$ . Для оцінювання дисперсії шуму можуть бути використані традиційні вирази [1, 6, 8].

ССО використовує цензурування оцінок джерел випромінювання. Для відсіювання аномальних оцінок (викидів) використовується певна гіпотеза [6]. В нашому випадку оцінювання частоти компонент сигналу вона може бути сформульована наступним чином.

*H*: Метод СА дозволяє одержати  $V$  оцінок частот гармонічних компонент сигналу в секторах локалізації компонент сигналу  $\hat{\mathbf{f}}_c$ .

Запропонований варіант сумісного використання методу SSA та методів спектрального аналізу включає такі кроки:

**Крок 1.** Оцінити число гармонічних компонент сигналу [1].

**Крок 2.** За допомогою періодограми Бартлетта визначити сектори (кластери) локалізації гармонічних компонент сигналу як  $C$  інтервалів, що не перекриваються

$$\hat{\mathbf{f}}_c = [f_{iL}, f_{iR}] \cup \dots \cup [f_{cL}, f_{cR}], \quad (6)$$

де  $f_{iL}, f_{iR}, i = 1, \dots, C$  – ліва і права межі  $i$ -го сектору.

**Крок 3.** Знайти оцінки частот гармонічних компонент сигналу методом спектрального аналізу (наприклад, Root-MUSIC) і перевірити гіпотезу  $H$ . Якщо гіпотеза виконується, то оцінки частот гармонічних компонент цього методу є остаточними оцінками частот гармонічних компонент. Перервати алгоритм (тобто перейти до кроку 6).

Якщо гіпотеза не прийнята, то треба перейти до кроку 4.

**Крок 4.** Обчислити модифікований метод SSA по вхідним даним.

**Крок 5.** Знайти оцінки частот гармонічних компонент сигналу методом спектрального аналізу при використанні кореляційної матриці даних, отриманої з використанням  $y_{filt.}(n)$ .

**Крок 6.** Стоп.

При проведенні моделювання розглянуто випадок, коли сигнал містить дві рівно потужні гармонічні компоненти з  $f_1 = 0.2$  Гц і  $f_2 = 0.212$  Гц,  $N = 64$ . Для отримання залежностей середньоквадратичної похибки оцінювання (Root mean square error-RMSE) від ВСІШ (SNR) виконувалося  $L = 1000$  незалежних прогонів (повторень) моделювання. ВСІШ визначалося як

$$10 \log_{10} \left( \sum_{v=1}^V \xi_v^2 / \sigma^2 \right),$$

де  $\sigma^2$  – дисперсія шуму. СКП оцінювання частоти усереднена по числу сигнальних компонент [12].

Порівнювалась ефективність методу Root-MUSIC, Root-MUSIC з використанням SSA (Root-MUSIC with SSA) та Root-MUSIC з використанням SSA в області порогового відношення ВСІШ (proposed approach). Результати імітаційного моделювання наведені на рис. 1.

Величина вікна як для методу SSA, так і методу спектрального аналізу  $m = 10$ .

Як видно з аналізу рисунку, в області порогового ВСІШ (від 14 дБ і нижче) ефективність запропонованого підходу наближається до ефективності методу Root-MUSIC з використанням SSA. Після цього ВСІШ його ефективність визначається методом Root-MUSIC, так як SSA не обчислюється.

Ефективність запропонованого підходу залежить від точності визначення кластерів локалізації гармонічних компонент сигналу. Це пояснюється тим, що саме за допомогою меж кластеру визначається чи можуть використовуватися безпосередньо оцінки методу спектрального аналізу, або має спочатку обчислюватися метод SSA.

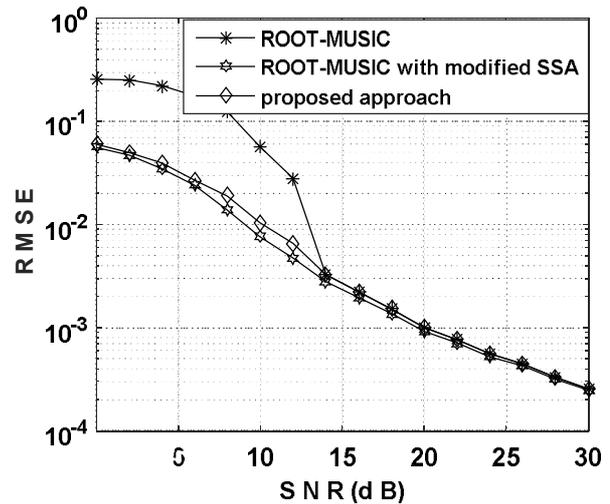


Рис. 1. СКП оцінювання частоти компонент сигналу в залежності від ВСІШ

Чим точніше визначено сектор, тим більше величина СКП оцінювання частоти запропонованого підходу наближається до СКП Root-MUSIC з використанням SSA.

## Висновки

В статті розглянуто оцінювання частот компонент сигналу методами, основаними на використанні підпросторів власних векторів КМ. При цьому здійснюється попередня обробка сигналів модифікованим методом SSA. Використання запропонованого підходу дозволяє покращити ефективність спектрального аналізу методами, основаними на використанні підпросторів, в умовах порогового ВСІШ.

Суттєвою перевагою запропонованого підходу щодо обчислювальної складності є відсутність потреби обчислення SSA (додаткового SVD чи EVD) в області середніх та високих ВСІШ.

Викликає інтерес узагальнення отриманих результатів на випадок обробки сигналів антенних решітках, для системах радіозв'язку з МІМО, OFDM.

Крім того, доцільним є узагальнення результатів роботи [7] з урахуванням отриманих результатів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Marple S. L. Digital Spectral Analysis: Second Edition. Dover Publication Inc, Maniola New York, 2018. 420 p.
2. Golyandina N., Zhigljavsky A. Singular spectrum analysis for time series. London: Springer. 2013. 120 p.
3. Sanei S., Hassani H. Singular Spectrum Analysis of Biomedical Signals. London : CRC Press. 2016. 260 p.
4. Dahlhaus R., Kurths J., Maass P., Timmer J. Mathematical Methods in Signal Processing and Digital Image Analysis. Berlin: Springer-Verlag, 2008. 293 p.
5. Lancaster G., Iatsenko D., Pidde A., Ticcinelli V., Stefanovska A. Surrogate data for hypothesis testing of physical systems. *Physics Reports*, 2018. Vol. 748. P. 1–60.
6. Vasylyshyn V. Removing the outliers in root-MUSIC via pseudo-noise resampling and conventional beamformer. *Signal processing*. 2013. Vol. 93. P. 34.23–34.29.
7. Kostenko P. Yu., Vasylyshyn V. I. Surrogate data generation technology using the SSA method for enhancing the effectiveness of signal spectral analysis. *Radioelectronics and Communication Systems*. 2015. Vol. 58. P. 356–361.
8. Vasylyshyn V., Lyutov V. Signal denoising using modified complex SSA method with application to frequency estimation. *5th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology: Proc. Int. Conf.*, 9-12 October. Kharkiv, 2018. P.715–718.

## REFERENCES

1. Marple, S.L. (2018), *Digital Spectral Analysis*, Second Edition. Dover Publication Inc, Maniola New York, 420 p.
2. Golyandina, N., and Zhigljavsky, A (2013), *Singular spectrum analysis for time series*, Springer, London, 120 p.

3. Sanei, S., Hassani, H. (2016), *Singular Spectrum Analysis of Biomedical Signals*, CRC Press, London, 260 p.
4. Dahlhaus, R., Kurths, J., Maass, P., Timmer, J. (2008), *Mathematical Methods in Signal Processing and Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 293 p.
5. Lancaster, G., Iatsenko, D., Pidde, A., Ticcinelli, V. and Stefanovska, A. (2018), "Surrogate data for hypothesis testing of physical systems", *Physics Reports*, Vol. 748, pp. 1–60.
6. Vasylyshyn, V. (2013), "Removing the outliers in root-MUSIC via pseudo-noise resampling and conventional beamformer", *Signal processing*. Vol. 93, pp. 34.23–34.29.
7. Kostenko, P.Yu. and Vasylyshyn, V.I. (2015), "Surrogate data generation technology using the SSA method for enhancing the effectiveness of signal spectral analysis", *Radioelectronics and Communication System*, Vol. 58, pp. 356–361.
8. Vasylyshyn, V. and Lyutov, V. (2018), "Signal denoising using modified complex SSA method with application to frequency estimation.", *5th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology*, Proc. Int. Conf., October 9-12, 2018, Kharkiv, pp.715–718.

Received (Надійшла) 11.05.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.06.2019

**Василишин Володимир Іванович** – доктор технічних наук, доцент, начальник кафедри радіоелектронних систем пунктів управління Повітряних Сил, Національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;  
**Volodymyr Vasylyshyn** – Doctor of Technical Science, Associate Professor, Head of Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;  
 e-mail: [vladvvas@ukr.net](mailto:vladvvas@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5461-0125>

**Лютов Віктор Володимирович** – ад'юнкт, Національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна;  
**Victor Lyutov** – PhD student of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;  
 e-mail: [lutovvictor@gmail.com](mailto:lutovvictor@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8092-5748>

**Комін Дмитро Сергійович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри радіоелектронних систем пунктів управління Повітряних Сил, Національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;  
**Dmytro Komin** – Candidate of Technical Sciences, Senior Teacher of Department of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;  
 e-mail: [gireevich@gmail.com](mailto:gireevich@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4439-346X>

#### **Повышение эффективности спектрального анализа при предварительной обработке сигналов методом SSA в условиях порогового отношения сигнал- шум**

В. И. Василишин, В. В. Лютов, Д. С. Комин

**Аннотация.** Предмет статьи - методы спектрального анализа, метод сингулярного спектрального анализа (singular spectrum analysis–SSA). **Цель данной статьи** - повышение эффективности спектрального анализа (уменьшение среднеквадратической ошибки оценивания частоты) в условиях порогового отношения сигнал- шум (ОСШ) при предварительной обработке сигналов методом SSA. **Результаты.** На основе ранее разработанного авторами метода пространственного спектрального анализа, основанного на одновременном использовании нескольких методов спектрального анализа, и предварительной обработки сигналов на основе модифицированного метода SSA предложено осуществлять вычисление метода SSA в условиях порогового ОСШ и не осуществлять его вычисление в области средних и высоких ОСШ. Такое упрощение выполняется, учитывая высокую эффективность современных методов спектрального анализа в условиях средних и высоких ОСШ. **Выводы.** Проведенное исследование показало, что использование предложенного подхода в условиях порогового ОСШ позволяет получить точность оценивания частот гармонических компонент сигнала, которая обеспечивается при использовании метода SSA, а в условиях средних и высоких ОСШ точность, которая определяется методом спектрального анализа.

**Ключевые слова:** сингулярный спектральный анализ; спектральное разложение матрицы; перетекание подпространств.

#### **Improving the performance of spectral analysis with preliminary signal processing by SSA method in the conditions of threshold signal-to-noise ratio**

V. Vasylyshyn, V. Lyutov, D. Komin

**Abstract.** The subject of the paper is the methods of spectral analysis, singular spectrum analysis method. **The purpose** of this paper is improving the performance of spectral analysis (reduction of the value of root mean square error of frequency estimation) in the condition of threshold signal-to-noise ratio (SNR) when using preliminary signal processing by SSA method. **Results.** Based on the author's previously developed method of spatial spectral analysis based on joint using the several methods of spectral analysis and preliminary signal processing with using modified SSA the calculation of SSA in the case of threshold SNR is proposed. Furthermore, it is not necessary to calculate the SSA in the condition of medium and high SNR. This simplification can be explained by the fact that in such conditions the performance of the modern methods of spectral analysis is high. **Conclusions.** The conducted investigation shows that using the proposed approach in the case of threshold SNR allows obtaining the accuracy of frequency estimation of harmonic components of the signal which is provided in the case of application of the SSA method. In the case of high and medium SNRs the accuracy is determined by accuracy of the method of spectral analysis. The obtained results can be used for the communication channel state estimation and direction of arrival estimation of radiation source.

**Keywords:** singular spectrum analysis; spectral decomposition of matrix; subspace leakage.

# Methods of information systems protection

UDC 004.056

doi: 10.20998/2522-9052.2019.2.13

S. Yevseiev<sup>1</sup>, O. Shmatko<sup>2</sup>, N. Romashchenko<sup>2</sup><sup>1</sup>Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine<sup>2</sup>National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

## ALGORITHM OF INFORMATION SECURITY RISK ASSESSMENT BASED ON FUZZY-MULTIPLE APPROACH

**Abstract.** The **subject** of the study is the process of assessing the level of information security risk that is being implemented with the help of the fuzzy logic apparatus. The **purpose** of this work is to develop a methodology for assessing the degree of information security risk, which would avoid the uncertainty factor, that occurs when some parts of information about the analyzed automated information system are absent. The methodology is based on the use of fuzzy logic and fuzzy sets and implies the introduction of the term sets for each of the system characteristics and the linguistic assessment of the indicators. The **tasks** to be solved are to analyze existing information security risk assessment methodologies for identifying their strengths and weaknesses. On the basis of the conducted analysis, a new method for assessing the risk of automated information systems information security is proposed. The following **results** were obtained: the advantages and disadvantages of qualitative and quantitative methodologies for assessing the risk degree of automated systems information security were identified; the main stages of the proposed methodology were described; the degree of information security risk is calculated in comparison to the FAIR methodology. **Conclusion:** The methodology presented in the article provides an opportunity to translate the obtained results of risk assessment from a mathematical language into a linguistic form that is more comprehensible to the decision-maker. This increases the effectiveness of the management of automated information systems protection mechanisms.

**Keywords:** information security; risk assessment; information security risk assessment methodology; fuzzy sets; linguistic form.

### Abstract

Information systems management is virtually impossible without security and safety management; whose main component is the assessment of existing risks. The subject of the study is the process of assessing the information security risk level that is being implemented through the fuzzy logic apparatus. The purpose of this work is to develop a methodology for assessing the information security risk degree, which would allow to eliminate the factor of uncertainty. The proposed methodology is to introduce term sets for each of the system characteristics and linguistic evaluation of the indicators.

The article describes the main stages of implementation of the proposed methodology. The methodology presented in the article provides the opportunity to translate the obtained risk assessment results from a mathematical language into a linguistic form that is more comprehensible to the decision maker. This increases the effectiveness of the system security mechanisms management.

### Introduction

The accession of humanity to the era of high-end technology has accelerated the development of Internet technologies and computing, which has encouraged the booming development of automated information systems (AIS), which are gaining popularity. AIS is the information base of various services that deal with technical, economic and other tasks. Accordingly, existing threats have also been modified and acquired hybridity signs. Currently they combine the influence of

all components of security: information security (InfoSec), cyber security (CyberSec), and security of information (SI). Threats have gained signs of hybridization.

The main object of which is the economic sector of the country. There is a need for crosscutting (hybrid) technology to counteract the dangers that play a significant role in business processes. That is why, during the design and development of reliable AIS, it is necessary to provide a set of measures aimed at ensuring their protection against deliberate or accidental influences that may lead to a system failure. Among the security threats to the AIS, which directly affect the system, the personnel and its clients are internal and external threats, show synergy in crosscutting application with social engineering. Both the first and the second, depending on the target and nature of the influence on the activity of certain subjects and objects, can be divided into economic, physical and intellectual [1–3].

Providing information security is part of the information system management as a whole. In this case, one of the most important components of the InfoSec management system is the risk assessment, which is intended to determine the effectiveness of the applicable protection mechanisms based on the corresponding metrics. The remaining problem is to improve the existing methods for assessing InfoSec risk in connection with the emergence of new types of hazards. The task of improving the existing methods for assessing the security risk in the AIS remains currently topical due to the emergence of new types of hybrid cyber threats.

**Analysis of Recent Studies and Publications**

In the modern scientific community there is a significant number of researchers whose subject matter is to assess the risk of systems InfoSec. For example, [4] classifies existing risk analysis of IS, describes the sequence of risk analysis processes, compares software tools for SI risk management. Another example of research in this subject area is the work [5; 6], which describes the methods of assessment and risk management.

The article [7] proposes a mathematical formulation of risk using the SI main concepts of such risk management methodologies as MEHARI, EBIOS, CRAMM and SP 800-30 (NIST).

Basics for risk assessment, in particular in the context of assessing the risks of access control systems that decide on authorization, are presented in [8].

In the article [9] approaches and program solutions for assessing and controlling information risks as a fundamental organizational stage in the development of information security systems of computerized systems are considered.

In the article [10] an advanced methodology of information risk assessment in an automated system was proposed and analyzed. The necessary normative-legal documents of information security are mentioned. The performance of the prototype expert system is considered, which allows to assess the level of information risk for a certain automated system and to determine the need for additional information security measures [11].

The article [12] analyzes the process of the most common models of information security risk assessment in information and telecommunication systems.

The main approaches to information security risk assessment are revealed.

The analysis of threats to information security and a detailed description of the intended sources, classification and the reasons for their occurrence is given in [13–16].

**Main materials of the study**

After analyzing the existing scientific literature from the specified subject area, two main groups of methodology for assessing information security risks are possible to determine: quantitative and qualitative.

Quantitative methods use measurable, objective data to determine the value of assets, likelihood of loss and associated risks. The goal is to calculate the numerical values for each of the components collected during the risk assessment and analysis of costs and benefits [17].

Qualitative methods use a relative risk or asset value based on rating or categorization, such as low, medium, high, not important, important, very important, on a scale from 1 to 10. A qualitative model evaluates the actions and probabilities of identified risks at a rapid rate and in a cost-effective way. Risk sets are written and analyzed in a qualitative risk assessment, and can serve as a basis for a targeted quantitative assessment. Quantitative and qualitative information security risk assessment methods have both advantages and disadvantages (Table 1).

Accordingly, the combination of quantitative and qualitative methods represents a mixed set of advantages and disadvantages of the above mentioned methods.

At present, hybrid types of risk assessment have the most practical interest.

*Table 1 – Advantages and disadvantages of qualitative and quantitative methodologies of InfoSec risk degree assessment*

+/-	Quantitative	Qualitative
Advantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- risks are the financial consequences priority;</li> <li>- assets are the financial values priority;</li> <li>- obtaining simplified risk management results and investment returns into providing security;</li> <li>- results can be expressed in specific management terminology (for example, monetary value and probability is expressed as a certain percentage);</li> <li>- accuracy tends to increase over time as the business constantly records data.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- provides clarity and understanding of risk classification;</li> <li>- the opportunity to reach consensus;</li> <li>- there is no need to determine the financial value of assets;</li> <li>- it is easier to involve people who are not experts in the field of computer security.</li> </ul>
Disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- importance influence attributed to risks on the basis of judgmental opinions of participants;</li> <li>- the process for achieving reliable results and consensus takes a lot of time;</li> <li>- calculation might be complex and time-consuming;</li> <li>- the results are presented only in monetary terms and they are difficult to interpret for "non-techies";</li> <li>- the process requires special knowledge, so it is difficult to train staff.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- insufficient distinction between among significant risks;</li> <li>- it is difficult to justify investments in control of implementation, because there are no grounds for the analysis of costs and benefits;</li> <li>- The results depend on the quality of the created risk management team</li> </ul>

The relation between methods of detecting attacks and risk assessment methods is presented in Fig. 1.

Given the different nature of the threats to the profiles of the computer system, consider some of the methods of risk assessment [3]. The heuristic approach is implemented in the evaluation methods of NIST, IT-Grundschutz, OCTAVE, MEHARI and MAGERIT. Their common advantages include the flexibility – it allows to

conduct an analysis for organizations of different sizes; a detailed description and analysis of the information assets of the research object. In most cases, the above methods give the investigator a qualitative assessment. The disadvantages are the lack of automation of some functions and the human factor's impact on the end result. CRAMM and FAIR methodologies refer to the probabilistic assessment approach. Their advantage is to

provide a comprehensive risk assessment for InfoSec, a detailed description of existing risks and high efficiency of use. Also, the methodologies allow to evaluate the effectiveness of countermeasures. Disadvantages include the ability to work only with existing information assets. The information approach is represented by the IRAM, EBIOS, and RISK WATCH methodologies.

The conducted analysis showed that the considered methodologies do not allow to conduct an assessment of functional efficiency, based on both technical and economic indicators. To obtain estimates of the risk level of equivalent cash capital and the immediate display of its security, it is proposed to use methodologies based on an integrated approach to risk assessment that combines quantitative and qualitative methods of analysis, including CRAMM and FAIR methodologies, structural schemes are presented in the Fig. 2, 3 respectively [17]. The methodologies of the crosscutting approach to risk assessment, as a rule, use

the following stages (steps) [18, 19]. At the first stage, everything is analyzed regarding the identification and determination of the value of system resources: the definition of the boundaries of the system under investigation: information about the configuration of the system, information about responsible individuals for physical and software resources, determining the number of users of the system, their privileges. Identification of physical, software and informational resources within the boundaries of the system is carried out. A model of the information system is being built from the standpoint of the InfoSec; the second stage identifies threats and assesses the level of threats to resource groups and their vulnerabilities, assesses the dependence of user-defined services on specific resource groups and the existing level of threats and vulnerabilities, calculates risk levels and analyzes the results. At the end of the stage, the customer receives identified and assessed levels of risk to his system.

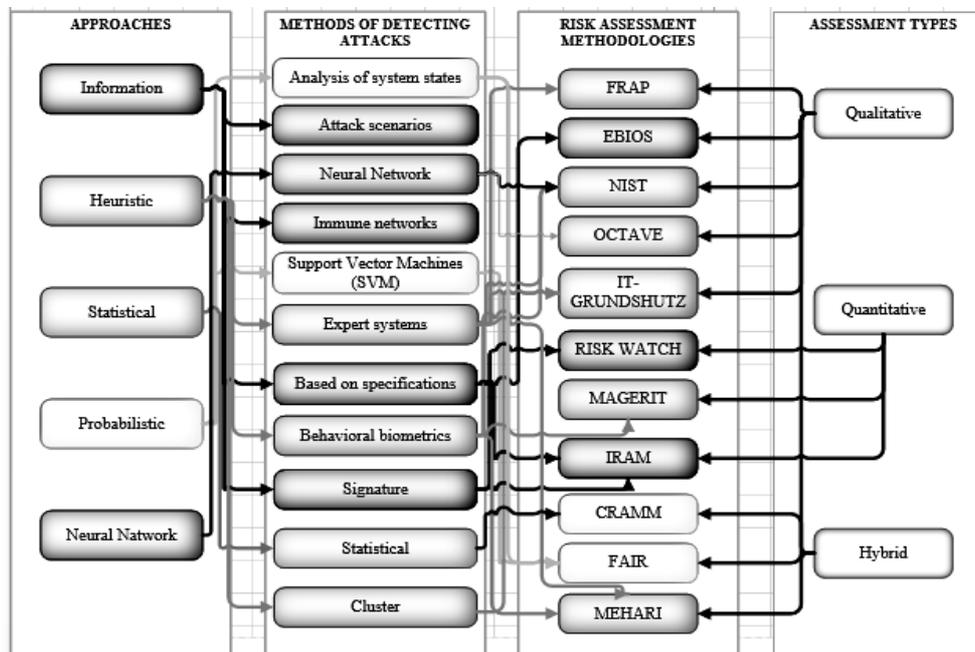


Fig. 1. The relation between methods of detecting attacks and risk assessment methods

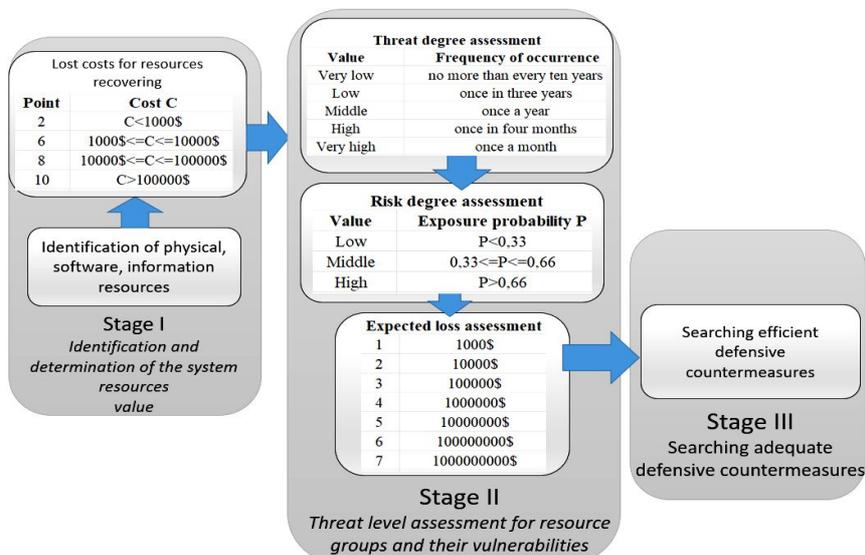


Fig. 2. CRAMM Methodology – crosscutting approach to risk assessment

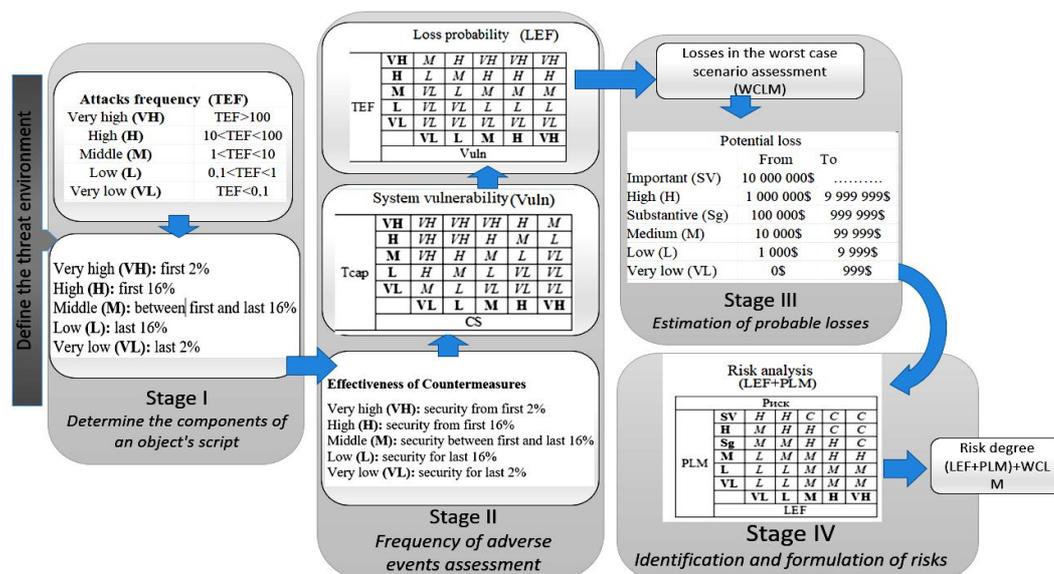


Fig. 3. FAIR risk assessment methodology

The third stage of the study is to find adequate countermeasures – the search for a security solution that best suits the requirements of the customer. At this stage, it generates several variants of countermeasures that are adequate to the identified risks and their levels.

The combination of two qualitative and quantitative approaches will combine the benefits of each of them, provided by them separately, and will open the possibility of obtaining the necessary characteristics for the effective organization of security systems.

Despite the high efficiency of the above-mentioned methodologies, they still have a significant common flaw – they require a significant amount of resources to assess the risk of InfoSec, that is, it is necessary to process a large volume of information that takes a lot of time and effort. There is a need to improve the existing methods for assessing the risk of InfoSec, which would simplify the estimation process and would allow to gain the end results in a linguistic form that is comprehensible to the decision maker. Accordingly, the purpose of the article is to develop a risk assessment methodology for InfoSec based on a fuzzy-multiple approach.

**Proposed method**

Security risks of information systems are very closely related to uncertainty. Two cases of uncertainty can be determined: identification of the current and future state of the systems.

When solving tasks related to security risk assessment, the question about the qualitative interpretation of certain levels of parameters often arises. The linguistic assessment of the security level is clearer and best describes the state of IT infrastructure security, which in turn encourages the manager to take one or another decision.

In order to fulfill the linguistic assessment, two things are required:

First, you need to define a linguistic scale for evaluation. Most often pentascale is used (five-level classifier) "Very low (VL) – Low (L) – Average (A) – High (H) – Very high (VH)."

Secondly, it is necessary to collect all available information to define linguistic assessment: quantitative data collected in a group of similar objects of observation.

For example, for a qualitative assessment of the level of information security, it is necessary to collect statistical information on similar information systems for a relatively short period of monitoring. This is necessary to maintain the condition of statistical homogeneity. At the same time, it is necessary to take into account the laws that are inherent to the objects of information security.

It should be noted that there are no general universal rules for accurate and rapid assessment of AIS information security. A set of problems may also arise with the collection of initial data for linguistic analysis.

There is a question connected to the additional data analysis, which is related to different time segments of observations. There may be a question about replacing the missing data in one-time period with the data from another similar one, and the parameters of this law will be given according to special rules in order to satisfy the necessary authenticity of the identification of the monitoring law.

The presence of quasistatistics makes it possible to make qualitative conclusions about the behavior of a particular parameter of the investigated IS, makes it possible to conduct a linguistic analysis of input data.

Basic steps of the linguistic classification:

1. The studies of the source data set and its verification as a quasi-statistic are conducted. There is evidence that some data distribution law is hidden in these data, for example, the "gray" Pospelov scale.

2. Next, define the main nodes. In the absence of expert evaluation, nodal points can be determined by the simple rule: node point – left end of media interval, nodal point – right end of media interval, middle point – corresponds to the maximum histogram or median histogram.

3. The interval between the two nodal points standing next is divided into three zones, the middle one

is the zone of expert uncertainty in the classification. Thus, the primary linguistic interpretation of the histogram is complete.

After the classificatory definition it is possible to make a correction of pestascale. To do this, you can modify nodal classification points, bringing them closer together and narrowing the uncertainty zone. You can also replace the nodal point with an absolute confidence interval and try to expand it on both sides of the nodal point. All clarifications must be made on the basis of an agreed expert evaluation.

Apply the proposed methodology to compare its effectiveness with the FAIR method. The initial data for the calculation are taken from [20].

**Stage 1.** In the first stage, term sets are introduced to describe the basic sets of the IS state and the subset of states, described in the natural language:

The complete set of information security status assessment  $E$  of IS is broken down into five subsets of the form:

$E_1$  – subset of states "extremely unsuccessful state of IS InfoSec";

$E_2$  – subset of states "unsuccessful state of IS InfoSec";

$E_3$  – subset of states of "average quality of the IS InfoSec state";

$E_4$  – subset of states "relatively safe state of IS InfoSec";

$E_5$  – subset of states "the maximum safe state of the IS InfoSec".

The corresponding set  $E$  of a full risk set of IS InfoSec threats  $G$  is divided into 5 subsets:

$G_1$  – subset of "marginal threat risk of InfoSec";

$G_2$  – subset of "high threat risk to InfoSec";

$G_3$  – subset of "average threat risk to InfoSec";

$G_4$  – subset of "low threat risk to InfoSec";

$G_5$  – subset of "insignificant risk threat to InfoSec".

Assume that  $G$  takes the value from zero to one by definition. For an arbitrary separate indicator of the InfoSec assessment  $X_i$ , the complete set of its values of  $B_i$  is divided into five subsets:

$B_{i1}$  – subset "very low level of indicator  $X_i$ ";

$B_{i2}$  – subset of "low level of indicator  $X_i$ ";

$B_{i3}$  – subset of "average level of indicator  $X_i$ ";

$B_{i4}$  – subset of "high level of indicator  $X_i$ ";

$B_{i5}$  – subset of "very high level of indicator  $X_i$ ".

An additional condition for matching the sets  $B$ ,  $E$  and  $G$  of the following form is performed: if all the indicators in the analysis have, according to the

classification, the level of the subset  $B_{ij}$ , then the state of the InfoSec is qualified as  $E_j$ , and the degree of InfoSec threat risk is qualified as  $G_j$ . Fulfilment of this condition affects the correct quantitative classification of the levels of indicators and the correct determination of the level of significance of the indicator in the evaluation system.

**Stage 2.** Construct a set of indicators  $X = \{X_i\}$  in the number  $N = 4$ , which, according to expert-analyst, on the one hand, affect the assessment InfoSec threat risk, and, on the other hand, evaluate the different sides of IS InfoSec (Table 2).

Table 2 – A set of indicators  $X$

Indicator name	Current value
$X_1$	1.2
$X_2$	0.7
$X_3$	0.025
$X_4$	0.004

**Stage 3.** Summarize to each indicator the level of its significance for the analysis of  $r_i$ . To estimate this level, you need to position all the values in descending order of magnitude so that the rule is complied with:

$$r_i = 1/N. \tag{1}$$

If the system of indicators is put in descending order of their significance, then the significance of the  $i$ -th index should be determined by the Fishburn's rule [20]:

$$r_i = 1/N = 1/4 = 0.25. \tag{2}$$

The Fishburn's Rule reflects the fact that nothing is known about the level of significance of the indicators (1). Then the estimate (2) corresponds to the maximum entropy of the existing information uncertainty about the object of the study.

**Stage 4.** Construct a classification of the current value  $g$  of the risk factor  $G$  as a criterion for dividing this set into a subset (Table 3).

Table 3 – Value of indicator  $g$

Interval $G$	Set names (subset of ...)
$0.8 < g < 1$	$G_1$ – "marginal threat risk to InfoSec";
$0.6 < g < 0.8$	$G_2$ – "high threat risk to InfoSec";
$0.4 < g < 0.6$	$G_3$ – "average threat risk to InfoSec";
$0.2 < g < 0.4$	$G_4$ – "low threat risk to InfoSec";
$0 < g < 0.2$	$G_5$ – "insignificant risk threat to InfoSec".

**Stage 5.** Construct a classification of the current values  $x$  of the  $X$  indicators as a criterion for breaking up the complete set of their values into a subset of type  $B$  (Table 4).

Table 4 – Value Subset Partition

Indicator name	Criteria of subset partition				
	$B_{i1}$	$B_{i2}$	$B_{i3}$	$B_{i4}$	$B_{i5}$
$X_1$	$x_1 < 0.02$	$0.02 < x_1 < 0.16$	$0.16 < x_1 < 0.84$	$0.84 < x_1 < 1$	$1 < x_1$
$X_2$	$x_2 < 0.02$	$0.02 < x_2 < 0.16$	$0.16 < x_2 < 0.84$	$0.84 < x_2 < 1$	$1 < x_2$
$X_3$	$x_3 < 0.02$	$0.02 < x_3 < 0.16$	$0.16 < x_3 < 0.84$	$0.84 < x_3 < 1$	$1 < x_3$
$X_4$	$x_4 < 0.02$	$0.02 < x_4 < 0.16$	$0.16 < x_4 < 0.84$	$0.84 < x_4 < 1$	$1 < x_4$

**Stage 6.** Evaluate the current level of indicators and reduce the results (Table 5).

**Stage 7.** Classify the current values of  $x$  according to the criterion of Table 4.

The result of the classification is Table 6:  $\lambda_{ij} = 1$  if  $b_{i(j-1)} < x_i < b_{ij}$  and  $\lambda_{ij} = 0$  when the value does not fall into the selected range of classification (Table 6).

Table 5 – Indicator’s Level Evaluation

Indicator name	Current value
Very high (VH)	$X_j > 1$
High (H)	$0.1 < X_j < 1$
Medium (M)	$0.01 < X_j < 0.1$
Low (L)	$0.001 < X_j < 0.01$
Very low (VL)	$< 0.001$

Table 6 – Classification Result

Indicator name	Significance	The result of classification by subsets				
		$B_{i1}$	$B_{i2}$	$B_{i3}$	$B_{i4}$	$B_{i5}$
$X_1$	0.25	0	0	0	0	1
$X_2$	0.25	0	0	1	0	0
$X_3$	0.25	0	1	0	0	0
$X_4$	0.25	1	0	0	0	0

Stage 8. Carry out arithmetical steps to assess the degree of bankruptcy risk of g:

$$G = \sum_{j=1}^5 g_j \sum_{i=1}^N r_i \lambda_{ij}, \tag{3}$$

where  $g_j = 0.9 - 0.2(j - 1); \tag{4}$

$$G = 0.25 \cdot 0.1 + 0.25 \cdot 0.3 + 0.25 \cdot 0.5 + 0.25 \cdot 0.9 = 0.45.$$

The value of G corresponds to subset of "average threat risk to InfoSec". The obtained result of the InfoSec risk degree corresponds to the research result in [17].

### Conclusions

Information is one of the most important resources in modern ISs, therefore, it is necessary to estimate the risk degree of asset exposure to anomalies and attacks. Existing methods for InfoSec risk assessment such as FAIR, MAGERIT, NIST, CRAMM are often used for this purpose. In this case, the above methodologies do not take into account the fact that IS security risks are closely related to the uncertainty that needs to be addressed. The proposed methodology of risk assessment of the InfoSec can solve this problem – it overcomes the uncertainty and allows the researcher to assess the risk degree in a linguistic form. The calculations of the system information security level in comparison to the calculations using the FAIR methodology are given in the work. It is possible to state that the proposed methodology does not yield to its efficiency. Indeed, under the same input conditions, identical values of the indicators in the linguistic form of evaluation were obtained. In the case of using the methodology, the researcher gets the opportunity to formulate conclusions about the level of the system security, and to develop recommendations for the implementation of the necessary security mechanisms.

### REFERENCES

- Judin, O.K. (2011), “Regulatory support”, *Information security*, NAU, Kyiv, pp. 15-22.
- Lenkov, S.V., Peregodov, D.A. & Horoshko, V.A. (2008), *Methods and means of information protection*, Arij, Kyiv, pp. 7-13.
- Amin Salih, M., Yuvaraj, D., Sivaram, M. and Porkodi, V. (2018), “Detection And Removal Of Black Hole Attack In Mobile Ad Hoc Networks Using Grp Protocol”, *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, Vol. 9, No 6, pp. 1–6, DOI: <http://dx.doi.org/10.26483/ijarcs.v9i6.6335>
- Baranova, E.K. (2015), “Information security risk analysis and assessment techniques”, *Educational resources and technologies*, 1(9), pp. 73–79.
- Anikina, I.V., Emaletdinova, L.Ju. & Kirpichnikova, A.P. (2015), “Methods for assessing and managing information security risks in corporate information networks”, *Bulletin of the University of Technology*, No. 18(6), pp. 195–197.
- Puzurenko, O.G., Ivko, S.O. & Lavrut, O.O., (2014). “Analysis of the process of information security risk management in providing information and telecommunication systems”, *Information Processing Systems*, No. 8(124), pp. 128-134.
- Ghazouani, M., Faris, S., Medromi, H. & Sayouti, A., (2014), “Information security risk assessment – a practical approach with a mathematical formulation of risk”, *International Journal of Computer Application*, No. 103(8), pp. 36-42.
- Khambhammettu, H., Logrippio, L., Boulares, S & Adi, K., (2013), “A Framework for Risk Assessment in Access Control Systems”, *Computers & Security*, No. 38, pp. 48-54.
- Chunarova, A.V., Parhomenko, I.I. & Sachuk, I.I. (2014), “Analysis of approaches and software solutions for the assessment and control of information risks in the computerized”, *Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine*, No. 2, pp. 138–142.
- Buchyck, S.S. (2017), *Methodology for assessing information risks in an automated system. Knowledge-based technologies*, 224 p.
- Buchyck, S.S. & Shalaev, V.A. (2017), “Analysis of instrumental methods for determining information security risk information and telecommunication systems”, *Knowledge-based technologies*, No. 3(35), pp. 215–225.
- Puzurenko, O.G., Ivko, S.O., Lavrut, O.O. & Klymovych, O.K. (2015), “Application of information security risk assessment models in information and telecommunication systems”, *Information Processing Systems*, No. 3(128), pp. 75–79.
- Gonchar, S. (2014), “Analysis of probability of realization of threats of information protection in automated control systems of technological process”, *Information protection*, No. 16(1), pp. 40–46.
- Saravanan, S., Hailu, M., Gouse, G.M., Lavanya, M. and Vijaysai, R. (2019), “Optimized Secure Scan Flip Flop to Thwart Side Channel Attack in Crypto-Chip”, *International Conference on Advances of Science and Technology*, ICAST 2018. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, Vol. 274, Springer, Cham. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15357-1\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15357-1_34)
- Manikandan, V, Porkodi, V, Mohammed, A.S. and Sivaram M. (2018), “Privacy Preserving Data Mining Using Threshold Based Fuzzy cmeans Clustering”, *ICTACT Journal on Soft Computing*, Vol. 9, Issue 1, pp.1813-1816. DOI: [10.21917/ijsc.2018.0252](https://doi.org/10.21917/ijsc.2018.0252)
- Porkodi, V., Sivaram, M., Mohammed, A.S. and Manikandan, V. (2018), “Survey on White-Box Attacks and Solutions”, *Asian Journal of Computer Science and Technology*, Vol. 7, Issue 3, pp. 28–32.

17. Korol, O.G., (2017), "Estimation of the quality of global network services based on Ethernet technologies using a complex indicator", *Information Processing Systems*, 2(148), pp. 100–110.
18. Kuznecov, O.O., Evseev, S.P. & Kavun S.V. (2008), *Information protection and economic security of the enterprise*, HNEU, Kharkiv, 360 p.
19. Smirnov, O.A., Evseev, S.P., Zhukarev, V.Ju., Korol, O.G., Sorokin, V.Je. & Meleshko, Je.V. (2012), *Technologies and standards of computer networks*, DonIZT, Donetsk, 453 p.
20. Cirlov, V. L. (2008), *Basics of Information Security*. Feniks, Rostov n/D, 224 p.

Received (Надійшла) 25.03.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.05.2019

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Євсєєв Сергій Петрович** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій, Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця, Харків, Україна;  
**Serhii Yevseev** – Doctor of Technical Sciences, Senior Research, Associate Professor, Head of the Department of Cybersecurity and Information Technologies, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [serhii.yevseev@hneu.net](mailto:serhii.yevseev@hneu.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1647-6444>

**Шматко Олександр Віталійович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління, Національний технічний університет «ХПІ», Харків, Україна;  
**Oleksandr Shmatko** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Software Engineering and Information Technology Management, National Technical University "KhPI", Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [torroloco789@gmail.com](mailto:torroloco789@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3339-1402>

**Ромашенко Наталія Віталіївна** – студентка кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;  
**Nataliia Romashchenko** – student of the Department of Software Engineering and Information Technology Management, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [ronatavit@gmail.com](mailto:ronatavit@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4500-4481>

#### Алгоритм оцінювання ступеня ризику інформаційної безпеки, що базується на нечітко-множинному підході

С. П. Євсєєв, О. В. Шматко, Н. В. Ромашенко

**Анотація.** Предметом дослідження є процес оцінки рівня ризику інформаційної безпеки, що реалізується завдяки апарату нечіткої логіки. **Метою** даної роботи є розробка методики оцінки ступеня ризику інформаційної безпеки, яка б дозволила уникнути фактору невизначеності, що виникає за умови відсутності частини інформації про досліджувану автоматизовану інформаційну систему. Методика заснована на використанні нечіткої логіки та нечітких множин. Що передбачає введення терм множин для кожної з характеристик системи та лінгвістичній оцінці показників. **Завдання**, які необхідно вирішити – проаналізувати існуючі методики оцінки ризику інформаційної безпеки для виявлення їх переваг та недоліків. На основі проведеного аналізу запропонувати нову методику оцінки ступеня ризику інформаційної безпеки автоматизованих інформаційних систем. Були отримані наступні **результати**: виявлено переваги та недоліки якісних та кількісних методик оцінки ступеня ризику інформаційної безпеки автоматизованих систем; описано основні етапи запропонованої методики; розраховано ступінь ризику інформаційної безпеки в порівнянні з методикою FAIR. **Висновок:** Представлена у статті методика надає можливість перевести отримані результати оцінки ризику з математичної мови в лінгвістичну форму, яка є більш зрозумілою для особи, що приймає рішення. Таким чином збільшується ефективність управління механізмами захисту автоматизованих інформаційних систем.

**Ключові слова:** інформаційна безпека; оцінка ризиків; методика оцінки ризиків інформаційної безпеки; нечіткі множини; лінгвістична форма.

#### Алгоритм оценивания степени риска информационной безопасности на основе нечетко-множественного подхода

С. П. Евсеев, А. В. Шматко, Н. В. Ромашенко

**Аннотация.** Предметом исследования является процесс оценки уровня риска информационной безопасности, которая реализуется благодаря аппарату нечеткой логики. **Целью** данной работы является разработка методики оценки степени риска информационной безопасности, которая позволила бы избежать фактора неопределенности, возникающего при отсутствии части информации об исследуемой автоматизированной информационной системе. Методика основана на использовании нечеткой логики и нечетких множеств. Предусматривает введение терм множеств для каждой из характеристик системы и лингвистической оценки показателей. **Задачи**, которые необходимо решить – проанализировать существующие методики оценки риска информационной безопасности для выявления их преимуществ и недостатков. На основе проведенного анализа предложить новую методику оценки степени риска информационной безопасности автоматизированных информационных систем. Были получены следующие **результаты**: выявлены преимущества и недостатки качественных и количественных методик оценки степени риска информационной безопасности автоматизированных систем; описаны основные этапы предложенной методики; рассчитана степень риска информационной безопасности в сравнении с методикой FAIR. **Вывод:** Представленная в статье методика позволяет перевести полученные результаты оценки риска с математического языка в лингвистическую форму, которая является более понятной для лица, принимающего решение. Таким образом увеличивается эффективность управления механизмами защиты автоматизированных информационных систем.

**Ключевые слова:** информационная безопасность; оценка рисков; методика оценки рисков информационной безопасности; нечеткие множества; лингвистическая форма.

S. Kalantaievsk<sup>1</sup>, O. Malyk<sup>2</sup>, M. Tiurnikov<sup>3</sup>, P. Zhuk<sup>4</sup>, A. Shyshatskyi<sup>5</sup>, R. Pikul<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Military institute of telecommunications and informatization named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> General Directorate of the National Guard of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup> Military unit A0106, Kyiv, Ukraine

<sup>4</sup> National Defence University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine

<sup>5</sup> Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

## FOUNDATION THE WAYS OF RADIO ELECTRONIC WARFARE DEVICES DEVELOPMENT

**Abstract.** The development of radio-electronic warfare systems becomes the most effective, fast-performing, cost-effective, and sometimes the only possible devices, which neutralizes the technical advantage of the opposite side in the information and technology spheres. The main increase in combat potentials in the near future will be possible through the use of intelligent command and control systems for troops and weapons, as well as the use of weapons that use unconventional devices of influencing the enemy. The authors of the research found that equipping weapons with the devices and complexes of electronic warfare can repeatedly increase their combat potential and reduce possible losses. In this case, the cost of electronic warfare technology is one percent in relation to the cost of major types of weapons. In the course of the research, the authors used the basic provisions of the theory of electronic warfare, the theory of communication, the theory of signals, and general scientific methods of analysis and synthesis. The authors found that the most important areas of research for the development of electronic warfare systems are: integration of forces and devices of electronic warfare with an intelligence and fire damage in a single information and communication space of all types of armed forces; creation of systems of radio engineering intelligence (passive location) for the reliable disclosure of electronic equipment and high-precision location of objects; Improvement of signal monitoring system in various physical fields. The principal features of the construction of advanced devices and complexes of electronic warfare are: ultra-wide radio engineering part of the equipment (more than 3 octaves); necessity of realization of parallel signal processing of received radio signals in the instant band of frequencies equal to several gigahertz; the maximum increase in the functional density of the apparatus implementation to reduce its mass and overall performance and ensure the possibility of its system integration; limit unification of basic digital elements of equipment, which allows to reduce the cost, facilitate the processes of modification and modernization of equipment. Taking into account the above, the direction of further research should be considered the development of methods for increasing the effectiveness of radio-electronic suppression.

**Keywords:** radio communication systems; radio resources; noise immunity; radio-electronic suppression; radio-electronic intelligence; secrecy.

### Introduction

The development of electronic warfare systems (REW) is becoming the most effective, fast-selling, cost-effective, and sometimes the only possible devices of neutralizing the technical superiority of the opposing side in the information and technological areas. The main increase in combat potentials in the near future will be possible through the use of intelligent systems of command and control of troops and weapons, as well as the use of devices of warfare using non-traditional methods of influencing the enemy.

Such devices of warfare include, first of all, REW equipment, which is a complex object, characterized by high technology intensity. Modern devices, complexes and REW systems at the present stage of development are in a state of intensive improvement. In the long term (2020–2025 years), the volume of tasks assigned to REW funds will not only not decrease, but even increase due to a quantitative increase in the objects of influence and an increase in methods of influence on them [1].

Equipping weapons with REW equipment and complexes can multiply their combat potential and reduce potential losses. At the same time, the cost of REW equipment is a few percents in relation to the cost of the main types of weapons [1–4].

*The purpose* of this article is assigned to the fields of the future development of radio-electronic warfare.

### Presentation of the main material

From a fairly wide range of tasks facing modern REW complexes, we can distinguish the tasks that determine the number of their fundamental features [5–7]:

– "hard" expediency of overlapping the ranges of operation of all radar location stations (RLS) detection, targeting, weapons control, as well as radio electronic systems (RES) communication and navigation;

– the functional need for the simultaneous implementation of a large number of complex tasks – reception and high-precision analysis of the RES signals, determination of their coordinates, type, mode of operation and degree of danger, suppression of several RES, interaction with other complexes (primarily radio and radio engineering intelligence (RREI) and fire losses).

These tasks determine the fundamental features of the construction of promising devices and REW complexes [5–14]:

– ultra-broadband radio part of the equipment (more than 3 octaves);

– the need to implement parallel signal processing of received radio signals in the instantaneous frequency band equal to several gigahertz;

– the maximum increase in the functional density of the equipment to reduce its weight and size indicators and ensure its system integration;

– the maximum unification of the basic digital elements of the equipment, which allows reducing the cost, to facilitate the processes of modification and modernization of the equipment.

These features promising hardware tools and REW complexes determine the feasibility of its construction on the basis of digital ultra-wideband signal processing devices, which allow to realize the above features to the maximum extent and additionally get the ability to quickly restructure the processing equipment by overwriting signal processing projects in programmable logic integrated circuits (PLIC) [5].

Thus, the future development of REW systems and facilities is closely linked to the use of the latest information technologies, which should provide the desired efficiency in the context of qualitatively changing requirements for devices and methods of warfare. Thus, in promising REW systems, functional and instrumental integration of on-board radio-electronic equipment (REE) with electronic countermeasures devices (ECD) and detection systems using other physical principles of operation (optical-electronic equipment, infrared (IR) and ultraviolet (UV) systems, etc.).

With the development of integrated onboard systems, the extensive logic of switching the modes of the integrated subsystems becomes complicated, which makes it possible to influence this process with the help of so-called algorithmic influences. In addition, despite the rapid development of digital technology, a memory bottleneck and speed of onboard computing systems will always remain a bottleneck, which will also allow producing algorithmic effects for the purpose of information overload on-board processors [7].

Thus, the development of REW equipment is largely determined by two interrelated scientific and technological areas of development of the elemental base of modern radio electronics [4]:

1. The creation of high-speed processors and computing systems, taking into account the latest achievements of microelectronics.

2. Expanding the possibilities of digital signal processing, which ensured the conversion of an aggregate of REW devices into high-speed digital systems.

The REW complex, functioning in modern conditions, should almost instantly respond to sudden threats. The response of the complex to the threat should not exceed 0.05–0.1 s. Only digital electronic computers (DEC) with high speed and large amounts of memory are able to manage the resources of REW complexes, including [4, 7-9]:

- a set of active jamming stations;
- expendable devices of generating interference (towed active traps; anti-radar guided missiles; one-time interference transmitters; dipole reflectors illuminated by an interfering signal; projectiles with electromagnetic warheads);

- a set of types of interference and methods of their combat use;

- devices of functional RES damage;
- distribution of the energy potential of active jamming stations for the simultaneous suppression of several RESs;

- the ability to quickly change the orientation and width of the radiation pattern of antennas (phased antenna arrays) of active jamming stations in specified sectors of space;

- the ability to control the sequence of time intervals of interference to several RESs by one leading active interference station.

At the same time, there is a tendency to unite numerous radio engineering and optoelectronic devices (devices of radiolocation, electronic warfare, radio navigation, data transmission, infrared and other information sensors) placed on one carrier (aircraft) into a single integrated radio electronic complex [4].

Among the existing problems of creating promising systems and REW systems, three groups can be distinguished, differing in content and technology of their solution [7]:

- energy;
- informational;
- functional.

The essence of the energy problems lies in the complexity of the implementation of the required energy characteristics of REW complexes under the given constraints (in terms of mass, dimensions, energy consumption) and the existing element base. One of the main ways to solve them is to use active phased antenna arrays (AFAA) with high gain. The principal features of constructing an AFAA for the REW equipment are [7]:

- the possibility of adaptive control of the antenna pattern shape for the implementation of various modes of operation and the formation of "dips" in the direction of the sources of active interference;

- 7–8 times extended working frequency band (30–40% of the center frequency for AFAA and 5–6% for FAA);

- increased by 15–20 times the radiation power taken from the same aperture;

- the need for the simultaneous formation of several independent rays for the maintenance of spatially separated objects of influence;

- significantly reduced losses (up to 15–17 dB) during signal processing;

- conformality and low effective area of diffusion;

- high reliability (average time between failures is comparable to the life of the aircraft).

The use of AFAA in the composition of REW complexes in the presence of the corresponding element base (high-power semiconductor microwave amplifiers and switches) allows obtaining the energy potential of almost any level. Calculations show that in the near future if there is a corresponding electronic component base, an active interference station with an energy potential of up to 1010 W can be created [7].

Information problems are due to the fact that the technical characteristics of an existing electronic intelligence system often do not allow to organize information support for the REW systems and devices at the proper level. First of all, this refers to the reliability of determining the objects of impact and the assignment by them of the corresponding service priorities while operating in a complex, dynamically changing electronic environment [5].

The solution to this problem is seen in translating most of the components of electronic intelligence equipment into digital processing. At present, the possibilities are being explored of improving the efficiency of high-speed digital REW equipment based on PLICs with a transition at the stage of mass production to the specialized "system-on-chip" [5].

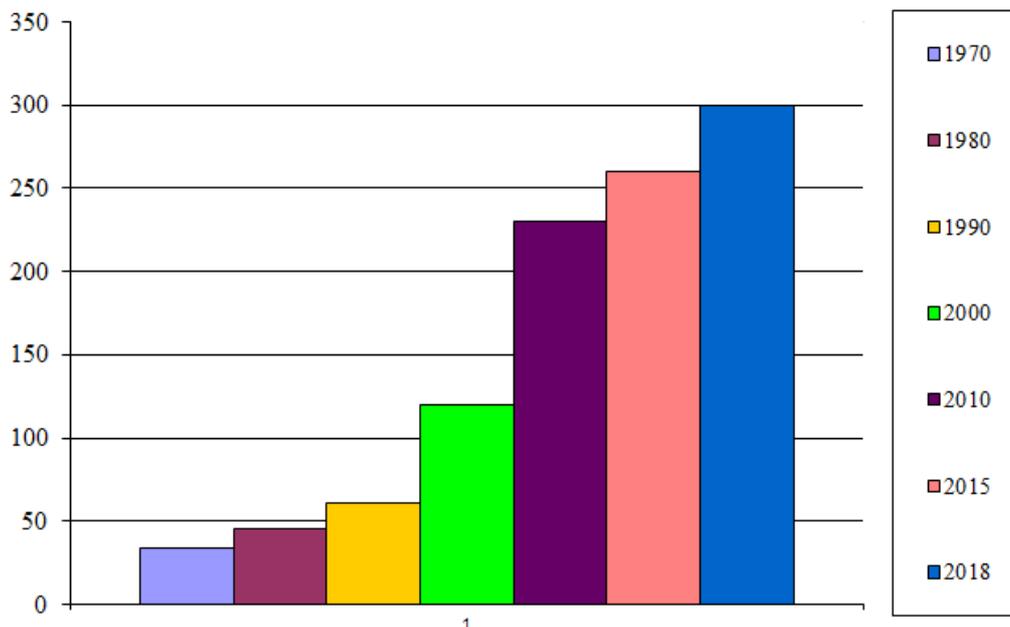
Functional problems are primarily associated with the need for the simultaneous (quasi-simultaneous) suppression of radio-electronic devices that have different spatial and signal features, with a strict limit on the time of electronic conflict. These difficulties can be overcome by applying [7]:

- antenna devices with independent control of spatial interference channels;

- multichannel transceiver devices operating in a wide frequency range with parallel channel analysis;
- high-speed digital radio frequency memory (DRFM) systems.

In the future, it is important to create DRFM systems on basic construction in terms of the unification of its technical parameters for the use by most developers of REW equipment. In the new technology of electronic warfare, based on AFAA with digital beamforming, the system will be integrated with interference suppression devices in the format of small-sized AFAA transceiver modules [7].

Fig. 1 shows the dynamics of the expansion of the type of interference generated by modern REW complexes [5].



**Fig. 1.** The dynamics of the expansion of the type of interference generated by modern REW complexes

Expansion of the generated interference range allows you to implement an "individual approach" to the suppression of each specific RES. At the same time, in connection with the saturation of armaments with radio electronics, the number of radio electronic devices in service is constantly growing while increasing the number of modes of their operation. In this regard, in the near future, the technological limit of the range of generated interference, focused on specific RES and individual modes of their operation, will be reached. At the same time, the search for new ways to form interference modes for REW complexes will become topical.

In this regard, interesting research focused on the development of new methods of selective suppression of RES – "cognitive suppression". New methods of jamming should ensure the suppression of a wide range of enemy's RES (connected, navigation, radar, etc.) using modern devices and methods of electronic protection, while not disrupting the operation of their own radio and allied forces, as well as RES civilian. It is assumed that such jamming stations can be installed on

specialized REW aircraft and on conventional strategic and tactical aircraft to ensure their individual electronic protection [2]. One of the most promising trends in the development of REW is the integration of air, land, sea and space REW facilities into a single network.

The concept of integration is based mainly on the development of digital radio technical intelligence (RTI) technology and active electronic suppression.

It is possible to instantly identify the radiation source and, if necessary, to create interference in various ways [2]:

- point setting low-power active interference;
- use of false information objects (false targets or messages);
- the introduction of packages of algorithms that can take command of the enemy's networks and, possibly, control of the enemy's sensors.

In addition, a promising direction of REW is to change the conditions of propagation and reflection of the electromagnetic waves. In this connection, the creation of special munitions with aerosol filling, which provide for changing the conditions of propagation of

radio waves and affecting the operation of the RES, is relevant. New special compositions of aerosol systems are being developed, which provide to weaken the electromagnetic field intensity, and new compositions and coatings, providing intensive absorption of electromagnetic waves [5].

At the same time, methods and devices for spatial-signal imitation of protected objects with the aim of diverting attacking elements and devices for spatial-signal selection of interfering signals [5] are being developed to protect their own electronic equipment and optical-electronic devices from homing weapons and active interference in various ranges.

The most important research directions for the development of REW systems are presented below [5].

1. Integration of the REW forces and facilities with the devices of reconnaissance and fire destruction in a single information and communication space of all types of armed forces:

- implementation of network-centric systems for collecting, processing and communicating information about REE to consumers;

- introduction of secure computer technologies for analysis of REE and decision making;

- development of algorithms and decision support programs based on artificial intelligence methods.

2. Creation of RTI systems (passive location) for the reliable opening of electrical equipment and high-precision positioning of objects:

- creation of correlation-base difference and distance measuring complexes of passive location;

- development of single-point complexes, which significantly increase the accuracy of determining the location of targets by measuring the steepness of the front of the incident wave;

- creation of artificial intelligence systems for the analysis of REE.

3. Improving the monitoring system of signals in various physical fields:

- creation of unified state infrastructure for collecting, summarizing and communicating the results of monitoring;

- providing monitoring in the radio frequency and optical bands.

Analyzing the development trends of technologies for the development and creation of new radio-absorbing materials, it can be noted that modern absorbing materials will provide in the near future [5]:

- the reflection coefficient of electromagnetic radiation (in the range 1-10 GHz) of the order of 30-40 dB, regardless of the direction of sensing and polarization of the signal;

- the reflection coefficient in the UV, visible and IR ranges is less than 0.1 dB, and the reflection will have a diffusion character.

It can be predicted that in the nearest future, multifunctional masking coatings will be created, operating simultaneously in the radar, UV-optical and IR-wavelengths [5].

Taking into account the fact that about 80% of REW facilities are aviation protection equipment against air defense systems and they are aimed at

suppressing RLS and optoelectronic controls, target designation and guidance of these systems, below these tools and REW complexes are presented in details.

The main directions of development of radio electronic destruction systems are given below:

1. Creation of a new class of complexes combining the capabilities of electronic intelligence, weapons control and interference stations. Implementation of information and hardware integration of tasks in the interests of creating devices operating in the following modes: RLS and weapons guidance; AFAA; jamming.

2. Creation of spatially distributed systems of radio-electronic protection of objects and their signal masking. Development of an active jamming system that forms a false signal and information environment in the grouping to protect its troops and masking objects.

3. The creation of a solid-state elemental base of a new generation in the interests of increasing the effectiveness of REW facilities. The creation of a number of AFAA broadband based on solid-state receiving-transmitting modules in a hybrid monolithic design.

4. The development of new sections of the radio frequency and optical bands:

- creation of electro vacuum and solid-state broadband receiving-transmitting equipment of the millimeter and submillimeter ranges;

- the creation of highly effective devices of reconnaissance and suppression in the IR and UV ranges.

5. Creation of new carriers for the placement of REW facilities, providing an increase in the range of reconnaissance and suppression.

The development of a new generation of unmanned aerial vehicles and the use of algorithms based on artificial intelligence.

### The conclusion from the article

In the conditions of "total informatization", the concept of network-centric war as a strategic view on the conduct of the war in the new military-technical conditions became widespread. At the same time, this concept is vulnerable to the devices of informational REW systems impact. REW systems can provide a decisive advantage in a future network-centric war and level off the advantage of a technologically more advanced adversary. Thus, the concept of network-centric wars brings to a new qualitative level: the new environment of military confrontation is the information space, and a new type of weapon is the information weapon.

This article analyzes the trends in the development of REW systems. Currently, REW is the oldest and most methodologically developed area of confrontation due to the impact on the information parameters of the conflicting military-technical systems. According to the authors, the REW theory for more than a century of its active development that contains testings and highly effective ways of influencing information technology systems based on information exchange destabilization.

Thus, the development of the theory of information confrontation (especially in the technical sphere) should be based on the scientific and methodological reserve in this area.

Taking into consideration the above, the direction of further research should consider the development of methods for improving the efficiency of radio-electronic suppression of electronic equipment.

## REFERENCES

1. Makarenko, S.I. (2017), *Informational confrontation and electronic warfare in network centric wars of the XXI century*, Monograph, High Technologies, Saint Petersburg, 546 p.
2. Bogdanovich, V.Yu., Svida, I.Yu. and Syrotenko, A.M. (2018), "The concept of the integrated use of military and non-military forces and means to ensure a sufficient level of military security of the state", *Science and Technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine*, No. 2(31), pp. 16–29, DOI: <https://doi.org/10.30748/nitps.2018.31.02>.
3. Radiyevskiy, A.G. and Sirota, A.A. (2004), *Theoretical foundations of electronic intelligence*, Nauka, Moscow, 329 p.
4. Shyshatskiy, A.V., Bashkirov, O.M. and Kostina, O.M. (2015), "Development of integrated systems and data for Armed Forces", *Arms and military equipment*, No 1(5), pp. 35-40.
5. Hatsenko, S.S. (2017), "Methodology for assessing the operational situation in automated control systems of troops under uncertainty", *Science and Technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine*, No. 1(26), pp. 101–105, DOI: <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.26.21>.
6. Zhuk, O.G., Shyshatskiy, A.V., Zhuk, P.V. and Zhyvotovskiy, R.M. (2017), "Methodological substances of management of the radio-resource managing systems of military radio communication", *Information Processing Systems*, Vol. 5(151), pp. 16–25, DOI: <https://doi.org/10.30748/soi.2017.151.02>.
7. Len'shin, A.V. (2014), *Airborne systems and radio-electronic suppression complexes*, Scientific book, Voronezh, 590 p.
8. Popov, A.O. and Tverdokhlibov, V.V. (2014), "General tendencies of development of means of electronic warfare", *Arms and military equipment*, No. 4 (4), pp. 4–10.
9. Porkodi, V., Sivaram, M., Mohammed, A.S. and Manikandan, V. (2018), "Survey on White-Box Attacks and Solutions", *Asian Journal of Computer Science and Technology*, Vol. 7, Issue 3, pp. 28–32.
10. Kuchuk, G.A., Kovalenko, A.A. and Mozhaev A.A. (2010), "An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assessment", *Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010)*, Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010, NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, Kiev, pp. 158–160.
11. Manikandan, V, Porkodi, V, Mohammed, A.S. and Sivaram M. (2018), "Privacy Preserving Data Mining Using Threshold Based Fuzzy cmeans Clustering", *ICTACT Journal on Soft Computing*, Vol. 9, Issue 1, pp.1813-1816. DOI: <https://doi.org/10.21917/ijsc.2018.0252>
12. Ruban, I., Kuchuk, H. and Kovalenko, A. (2017), "Redistribution of base stations load in mobile communication networks", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No 1 (1), pp. 75–81, DOI : <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>.
13. Serhiienko, V.D., Popov, A.O., Zibin, S.D., Bychkov, A.N., Pidhorodetskiy, M.M. (2017), "Analysis of the state of the art of multifunctional electronic warfare means and complexes", *Modern Information Technologies In the sphere of security and defence*, No.1(28), pp. 135–143.
14. Kuchuk, G., Nechausov, S., Kharchenko, V. (2015), "Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store", *International Conference on Information and Digital Technologies*, pp. 266-271, DOI : <http://dx.doi.org/10.1109/DT.2015.7222982>
15. Romanenko, I. and Shyshatskiy, A. (2017), "Analysis of modern condition of military radiocommunication system", *Advanced Information Systems*, Vol. 1, No. 1, pp. 28–33, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.1.05>.

Надійшла (received) 18.02.2019

Прийнята до друку (accepted for publication) 29.05.2019

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Калантасєвська Світлана Володимирівна** – ад'юнкт науково-організаційного відділу, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна;  
**Svitlana Kalantaievska** – Doctoral Student, Military institute of telecommunications and informatization named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine;  
 e-mail: [kalantaievska75@gmail.com](mailto:kalantaievska75@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6426-2235>

**Малик Олег Станіславович** – начальник служби, Головне управління Національної гвардії України, Київ, Україна;  
**Oleg Malyk** – Chief of Service, General Directorate of the National Guard of Ukraine, Kyiv, Ukraine;  
 e-mail: [o.malyk@ngu.gov.ua](mailto:o.malyk@ngu.gov.ua); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7093-4357>

**Тюрніков Михайло Миколайович** – здобувач, Військова частина А0106, Київ, Україна;  
**Mikhailo Tiurnikov** – competitor, Military unit A0106, Kyiv, Ukraine;  
 e-mail: [na4grup@ukr.net](mailto:na4grup@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6291-9819>

**Жук Павло Васильович** – кандидат технічних наук, доцент, начальник наукового центру, Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна;  
**Pavlo Zhuk** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Scientific Center, National Defence University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine;  
 e-mail: [juk2011@ukr.net](mailto:juk2011@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9628-8074>

**Шишацький Андрій Володимирович** – кандидат технічних наук, начальник науково-дослідної лабораторії, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ, Україна;  
**Andrii Shyshatskyi** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the science-research laboratories, Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine;  
e-mail: [ierikon12@gmail.com](mailto:ierikon12@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6731-6390>

**Пікуль Ростислав Володимирович** – слухач, Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ, Україна;  
**Rostislav Pikul** – hearer, National Defence University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine, Ukraine;  
e-mail: [pikul11@ukr.net](mailto:pikul11@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1791-8486>

### Обґрунтування шляхів розвитку засобів радіоелектронної боротьби

С. В. Калантаєвська, О. С. Малик, М. М. Тюрніков,  
П. В. Жук, А. В. Шишацький, Р. В. Пікуль

**Анотація.** Розвиток систем радіоелектронної боротьби стає найбільш ефективним, швидко реалізовуваним, економічно вигідним, а часом і єдиною можливою засобом, що нейтралізує технічну перевагу протилежної сторони в інформаційній і технологічній сферах. Основний приріст бойових потенціалів в найближчій перспективі буде можливий за рахунок використання інтелектуальних систем управління військами та зброєю, а також застосування засобів збройної боротьби, які використовують нетрадиційні способи впливу на супротивника. Авторами дослідження встановлено, що оснащення озброєння засобами і комплексами радіоелектронної боротьби здатне багаторазово підвищити їхній бойовий потенціал і знизити можливі втрати. При цьому вартість техніки радіоелектронної боротьби становить одиниці відсотків по відношенню до вартості основних видів озброєння. В ході дослідження авторами були використані основні положення теорії радіоелектронної боротьби, теорії зв'язку, теорії сигналів та загальнонаукові методи аналізу та синтезу. Авторами встановлено, що найважливішими напрямками досліджень для розвитку систем радіоелектронної боротьби є: інтеграція сил і засобів радіоелектронної боротьби із засобами розвідки і вогневого ураження в єдиному інформаційно-комунікаційному просторі всіх видів збройних сил; створення систем радіотехнічної розвідки (пасивної локації) для достовірного розкриття радіоелектронного обладнання і високоточного визначення місця розташування об'єктів; удосконалення системи моніторингу сигналів в різних фізичних полях. Принциповими особливостями побудови перспективних засобів і комплексів радіоелектронної боротьби є: надширокополосні радіотехнічної частини апаратури (більше 3 октав); необхідність реалізації паралельної сигнальної обробки прийнятих радіотехнічних сигналів в миттєвій смузі частот, яка дорівнює кільком гігагерц; максимальне збільшення функціональної щільності виконання апаратури для зниження її масогабаритних показників і забезпечення можливості її системної інтеграції; гранична уніфікація базових цифрових елементів апаратури, що дозволяє знизити собівартість, полегшити процеси модифікації і модернізації апаратури. Враховуючи зазначене, напрямком подальших досліджень слід вважати розробку методів підвищення ефективності радіоелектронного подавлення.

**Ключові слова:** система радіозв'язку; радіоресурс; завадозахищеність; радіоелектронне подавлення; радіоелектронна розвідка; скритність.

### Обоснование путей развития средств радиоэлектронной борьбы

С. В. Калантаевская, О. С. Малик, М. Н. Тюрников,  
П. В. Жук, А. В. Шишацкий, Р. В. Пикуль

**Аннотация.** Развитие систем радиоэлектронной борьбы становится наиболее эффективным, быстро реализуемым, экономически выгодным, а порой и единственно возможным средством, которое нейтрализует техническое превосходство противоположной стороны в информационной и технологической сферах. Основной прирост боевых потенциалов в ближайшей перспективе будет возможен за счет использования интеллектуальных систем управления войсками и оружием, а также применением средств вооруженной борьбы, которые используют нетрадиционные способы воздействия на противника. Авторами исследования установлено, что оснащение вооружения средствами и комплексами радиоэлектронной борьбы способно многократно повысить их боевой потенциал и снизить возможные потери. При этом стоимость техники радиоэлектронной борьбы составляет единицы процентов по отношению к стоимости основных видов вооружения. В ходе исследования авторами были использованы основные положения теории радиоэлектронной борьбы, теории связи, теории сигналов и общенаучные методы анализа и синтеза. Авторами установлено, что важнейшими направлениями исследований для развития систем радиоэлектронной борьбы являются: интеграция сил и средств радиоэлектронной борьбы со средствами разведки и огневого поражения в едином информационно-коммуникационном пространстве всех видов вооруженных сил; создание систем радиотехнической разведки (пассивной локации) для достоверного раскрытия радиоэлектронного оборудования и высокоточного определения местоположения объектов; совершенствование системы мониторинга сигналов в различных физических полях. Принципиальными особенностями построения перспективных средств и комплексов радиоэлектронной борьбы являются: сверхширокополосные радиотехнической части аппаратуры (более 3 октав) необходимость реализации параллельной сигнальной обработки принятых радиотехнических сигналов в мгновенной полосе частот, равной нескольким гигагерц; максимальное увеличение функциональной плотности выполнения аппаратуры для снижения ее массогабаритных показателей и возможности ее системной интеграции; предельная унификация базовых цифровых элементов аппаратуры, позволяющей снизить себестоимость, облегчить процессы модификации и модернизации аппаратуры. Учитывая данное, направлением дальнейших исследований следует считать разработку методов повышения эффективности радиоэлектронного подавления.

**Ключевые слова:** система радиосвязи; радиоресурс; помехозащищенность; радиоэлектронное подавление; радиоэлектронная разведка; скритность.

Amin Salih Mohammed, Saravana Balaji B., Hiwa Abdulkarim Mawlood

Lebanese French University, Erbil, Kurdistan Region, Iraq

## CONCEPTUAL ANALYSIS OF IRIS RECOGNITION SYSTEMS

**Abstract.** Biometric is a reliable measurable physical feature as passwords. A biometric framework automatically provides evidence of an individual's identity based on the individual's unique features. Iris recognition is one of the physiological ways used to identify a person in the group and is one of the accurate biometric systems. This paper deals briefly about the surveys those done before about Iris recognition system and its benefits and uses in information technology and security fields. The use of low-cost equipment can help to make iris recognition other standards in security contexts, as the requirements for a secure identification are walking. As human Iris gives a phenomenal design for identification. In recent year, the acquisition, rehabilitation, quality assessment, compression of the image, divisions, noise reduction, normalization, removal of features, iris code match, large-size data base searching, applications, evaluation, performance in different conditions, and multi biometrics have been developing irises recognition in several active fields of research. This research gives at the background of iris recognition and literature of methods in various fields.

**Keywords:** human Iris; biometric; security; authentication; Iris recognition.

### Introduction

Biotechnology is now a topic of research because of its high reliability and its ability to identify human beings. Biometric applications identify a person based on his behavior or physical characteristics. Physical characteristics include fingerprints, palm printing, hand geometry and iris patterns, or behavioral characteristics (such as typing patterns and handwritten signatures) which contain unique information about an individual. This type of ID technology is better than password, PIN, or anything else. Biometric technology can be used and applied for verification and reliable identification such as access control for sensitive and restricted areas, controlling passengers in airports and terminals, access to warehouses, access to server rooms and data center room [1], passing between borders and many other purposes. Until now, most of the iris has concentrated on entire and clean iris photos. The image's quality should influence the recognition or authentication of the iris. Fewer authentications of iris systems considered from a distance, the moving images those captured under very low light and of poor quality of iris taken from the camera definitely destroy or affects the performance of iris authentication or identification [2].

**Literature review.** Before the iris was recognized, the iris is locating by using landmark features. These characteristics and the specific state of the iris include imagery, separation and extraction. Limitation of the iris is a critical advance in iris acknowledgment in light of the fact that, whenever done inappropriately, resultant clamor (e.g., eyelashes, reflections, understudies, and eyelids) in the picture may lead to poor execution. The concept of use of iris patterns to identify an individual was suggested by the Frank Burch, ophthalmologist in 1939 [3]. In 1985, the concept of no two irises are similar was proposed by both Drs. Aran Safir and Leonard Flom, ophthalmologists. In 1987, and both Drs. Aran Safir and Leonard Flom were awarded the iris identification concept patent. Dr. Flom had approached Dr. John Daugman to make an iris identification of human algorithm. In 1994, the Defense Nuclear Agency

started testing and providing a prototype unit, completed by 1995, due to combined efforts, Dr. Daugman, and Drs. Flom Safir. In 1994, Dr. Daugman obtained a patent for his automated algorithms for iris recognition [4]. The first products commercially released in 1995. The broad patent covering the principle of iris recognition ended in 2005, providing marketing opportunities for other companies those have made their own iris recognition algorithms. The patent developed and implemented by Dr. Daugman on the implementation of IrisCodes<sup>®</sup> recognition did not expire until 2011 [5].

### 1. Biometric Technology

Biometrics are the automated using, for determinate identification or verification of the physiological or behavioral characteristics. Various aspects of this definition need to be developed. Every biometric identifier scan is divided into two groups:

- 1) physiological;
- 2) behavior.

Biometrics are depending on measuring the distinctive physiological and behavioral properties of biometrics. The physiological biometrics, based on direct measured parts of the human body, are considered physical-scan, face-scan, iris-scan, man-scan, and retina skirting. Signing and voice scanning are considered as behavioral biometrics, based on measures and data derived from an activity and therefore indirectly measuring human body characteristics. For behavioral biometry, the element of time is essential, and the characteristics measured are related, with a beginning and end, to actions such as spoken or signed words. Physiological/compatible classification is a useful way to view biometrics, since certain performance and privacy factors often differ among two types of biometrics. However, the distinction between conduct and physiology is what artificial. Behavioral biometrics is partly based on physiology, for example the shape or skill of the hands and fingers in the signature- scan of vocal cords in a vocal-scan. The way the user presents a finger or looks at a camera, for example, is likewise

influenced by physiological biometric technology.

The biometric system is working by following below steps :

- a) catching an example of exceptional element;
- b) changing the example utilizing couple of numerical models into biometric format;
- c) this biometric arrangement will give an institutionalized, effective, and significantly isolating depiction of highlight;
- d) examination with different layouts to decide personality.

Depending on the element used, a decent biometric is described ; completely unique, so that there is no possibility for a pair of persons of similar characteristics – so that over time the feature remains fluid and is adequately acquired – to provide the user with adequacy and prevent dispersion of the feature.

## 2. The Human Iris

Iris is the eye's pigmented area. This is a muscly circular diaphragm, which separates the two eye regions. It stretches across the eyeball from the ciliary muscle before the lens. The light enters the eye, which is called a pupil, through a small circular opening in the middle. The iris checks the light that enters the eye when the eyes are tightened or relaxed, and thus the pupil contracts or dilates. Fig. 1, describes Eye external part containing Iris.

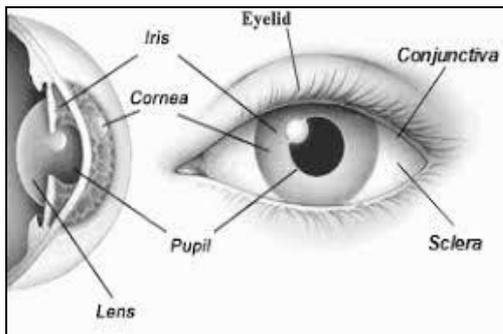


Fig. 1. Human Iris

During the elementary lifetime the particular pattern in the iris region is established and stromal pigmentation is carried out in a few years. There are no genetic factors to the incidental process of forming the unicular patterns of the iris. A pigment of the iris and the color of the eye is the only feature which relies on ancestral genes. As a result, the two eyes of an individual are autonomously independent. In addition, the same twins gain non-German iris patterns.

## 3. Iris Recognition

Iris Recognition also known as is a biometric automatic way for the using of the iris of human floral patterns for identifying and verifying humans. There are demands for Iris recognition in various areas like access controlling as well as security of the border, etc. is increasing regularly because of iniquity features such as rounds, ridges, furrows, complex patterns, freckles. It therefore presents an enormous level of randomness. The iris recognition's key advantage, in addition, of the

iris recognition speed during matching and its extreme resistance to false matches is the constancy of the iris as, protected, an internal but externally visible eye organ [6, 7].

### 3.1 Iris Recognition System Modules

In Iris recognition system, the image of Iris will be passed and checked through (6) main steps which are illustrated below :

1. **Acquisition of images:** This phase takes an iris picture. By using cameras and sensors to capture sequences of the images of iris from the subject. An illumination, position and physical capture system are used for an image acquisition [8]. Factors affecting the image quality are number of pixels on the iris, lighting and occlusion. For the acquisition of images most of the iris systems require the cooperation of stern of the user. In order to increase flexibility Ketchantang proposed a method for obtaining the entire photo sequence during the enrollment, and selecting the most feasible pictures. Strong identity management supports registration [9, 10].

2. **Pre-processing:** Is the second module of Iris recognition, Preprocessing consists of a series of eyelid like pupil detection, iris liveness detection, the detection of iris boundary, and removal and normalization detection. The recognition of iris vitality distinguishes from photographing a live picture, glass eye or other object and video playback. Unlawfully forged and used may be the biometric characteristics. Several methods are used for locating the portions of iris and the pupil from the eye picture: Hough transformation, integral differential operator, gradient-based edge detection. Parabolic arcs are using to detect the eyes and delete the outlines of the upper and lower eyelids. The extracted area of iris must be mapped to a standardized form. Methods of iris location are based on spring strength, morphological operators, gradient, probability and moments. Zhaofeng had developed a method for iris location; it is depended on Hooke's law and on iteration regime of the spring force-driven. The center and radius of pupils and iris is determined by their composition of forces from all points [11]. Mira and Mayer applied morphological operators to achieve iris limits. The inward limit is distinguished by applying edge, picture opening, and closing operators. The external limit is recognized by applying edge, closing, and opening operators. The iris restriction strategy by Guodong Guo depends on force slope and surface distinction. The intensity gradient use integro differential operator. The Kullback-Leibler divergence is using to count the distance between two probability distributions got from the outer and inner areas. Moment-based texture segmentation algorithm proposed by L.A. Alexandre, where second order geometric moments of the image as texture features is used. The clustering algorithms such as K-means, self-organizing maps and fuzzy were using for segmenting the image to produce as output the clusters-labeled images [12–14].

3. **Segmentation:** The segmentation module determines pupil and limb borders and identifies the regions in which the eyelid and eyelid interrupt the outlines of the limb boundary (Fig. 2). Iris segmentation

is a critical component of any iris detection system, because the imprecision with the location of the iris can seriously damage the system's fitness.

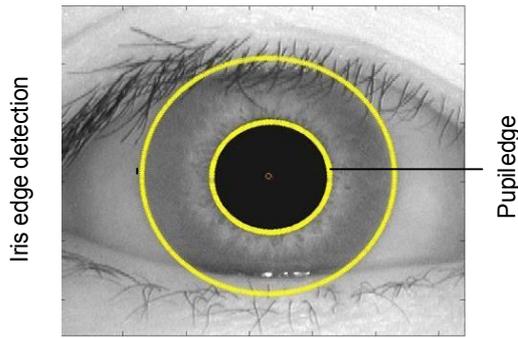


Fig. 2. Segmentation

4. **Normalization:** The normalization module uses a rubber sheet model for transforming the iris textures from Cartesian towards polar coordinates whenever the segmentation module has determined the boundary of the iris. The process is often called iris removal and results in a rectangular entity that is used for further processing. The three advantages of normalization are:

- It represents changing in pupil size because of external illumination changes that might affect the size of an iris.
- It is consistent that the irises of different individuals are mapped in common picture domains despite variations in pupil's size across subjects.
- Enable iris registration through a simple translation operation during the matching stage, which can account for rotations in the plane eye and head.

A binary mask is associated with each unwrapped iris which divides iris pixels (labeled "1") and pixels corresponding to pixels identified during segmentation (labeled with "0"). Following normalization, photometric transformations improve the texture of the unwrapped iris.

5. **Extraction of function (encoding):** noise removal from iris image is included in this phase with

iris code generation. While the unwrapped iris can be used for a direct comparison with two irises (for example, by means of a correlation filter), most systems use a feature extraction routine in order to encode the texture of the iris. Encoding algorithms usually perform a cross-resolution analysis of the iris by using wavelet filters. 2D Gabor wavelet is used for the extraction of the local phazor information on the texture of Iris in a common encoding mechanism. The mechanism then codes each phazor response with two pieces, which leads to an IrisCode.

6. **Classification and matching:** By comparing the features of two iris images, the corresponding module generates a match score. The hamming distance, is a technique used for comparing two iris Codes which is the number of corresponding bits that differ between both two Iris Codes. The binary mask in the standardization module ensures that only bits matching valid iris pixels are compared. Before the Hamming distance is calculated by registration procedure, both iris codes must be aligned. While in most cases a simple translation procedure may be sufficient, more sophisticated schemes can accommodate the elastic change in texture of iris. Researchers have also developed other types of encoding and matching systems based on discrete cosine transformations, ordinary features, and scale - invariant transformations [11].

Stages of Iris recognition are showed on Fig. 3.

Iris recognition diagram are showed on Fig. 4.

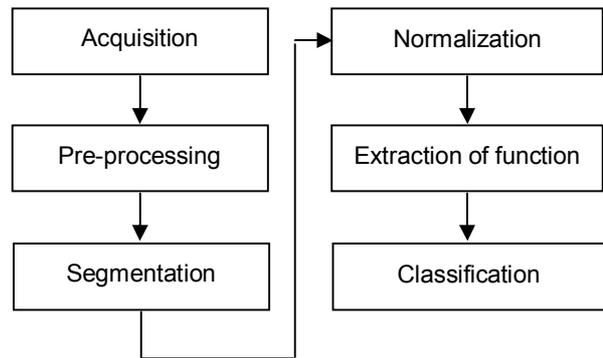


Fig. 3. Stages of Iris recognition

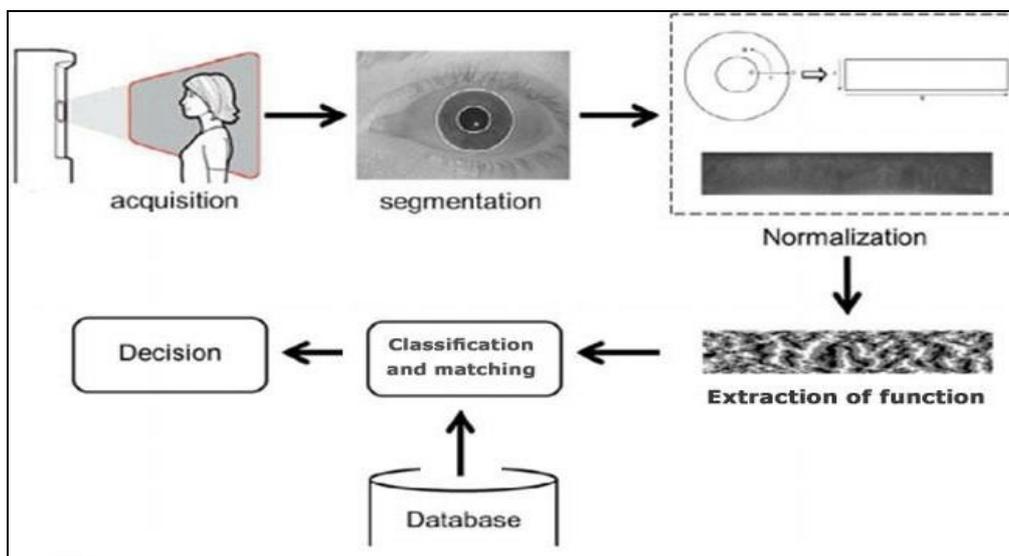


Fig. 4. Iris recognition diagram

#### 4. Iris Recognition Methods

The number of methods used to recognize iris is included in this section and is defined below [15]:

**4.1 Zero Crossing Representation Method:** It presents iris characteristics based on the null crossing transformation at various resolution levels. The algorithm is invariant in translation, turn and size. In the images, a number of 1D signals are created based on the dyadic wavelet transformation and zero crossing images. The virtual circles are tampered as circular from the center. The collected information is standardized and generates the same number of points and a zero-crossing representation from any virtual circle. The benefit of this feature is the reduction in the amount of calculation, as the amount of null crossing is below data.

**4.2 Phase Base Method:** This method is depending on the phase information and recognizes iris patterns. Information about the phase of the contrast of lighting and images is independent. Images of eye with an image focus evaluation were captured in real time with iris radius of 80 - 130 pixels. The search results greatly limit the search for the pupil, they cannot be presumed to be concentrated. The center of pupils is very often nasal and lower than the center of the iris. It can have a radius of between and 0.8 iris. All three parameters that define a pupil circle should therefore be calculated separately from the iris parameters. The pupil's and iris limits were found with the operator of Integra differential.

**4.3 Iris Authentication based On Continuous Dynamic Programming:** The iris is authenticated by cinematic characteristics, speed. Beginning with the extraction of pupils, the highest summit is indicated in your histogram, which provides the thresholds with lower eye intensity values. The concept of the comparison of shape characteristics part wise is used for continuous dynamic programming.

#### 4.4 Approach Based On Intensity Variations:

As features are registered, the sharp variations in iris patterns. In the iris location stage, image projections in horizontal and vertical direction are used to measure the center coordinates of the student. The exact circles of iris and pupil parameters calculated by using the edge of canny detector and the Hough transformer. Gabor filter is built for the acquisition of the spatial domain frequency band. The Gaussian functions are modulated by circular sinusoidal functions. Gaussian function.

**4.5 Texture-Analysis Based Method:** Using a silicon-intensified target camera, high-quality images were recorded together with a standard image recorder and 512x480 pixels in resolution. The limit and pupil have circular contours that are extended up and down with parabola arcs to the upper and bottom eyes. By voting the edge points with Hough transformation, the contour parameter x, y and radius are achieved. The iris contour is the biggest number of border points. The Laplacian Gaussian is used to the image in many ways, with laplacian pyramid construction.

#### Conclusion

Iris recognition has picked up a more noteworthy consideration because of its uniqueness, security throughout many years and the iris fashioning trouble.

This paper introduces the survey about different present strategies those are proposed by various creators.

The greater part of the arrangements pursue the 5 essential advances limitation of eye, picture division, standardization, highlight extraction and coordinating.

The Iris acknowledgment framework is a standout amongst the best secure strategies for validation.

The iris uniqueness and low likelihood of a bogus acknowledgment or mistake dismissal all add to the advantages of utilizing Iris acknowledgment innovation.

#### REFERENCES

1. Ranjan, S., Prabu, S., Swarnalatha P., Magesh, G. and Sundararajan, R. (2017), "Iris Recognition System", *International Research Journal of Engineering and Technology*, Vol. 4, No. 12, pp. 864–868.
2. Kundur, N., C and Prasad, M.R. (2018), "Iris recognition systems – A review", *International Conference on Intelligent Computing and Control Systems*, ISBN: 978-1-5386-2842-3.
3. Wildes, R. (1997). "Iris recognition: an emerging biometric technology", *Proceedings of the IEEE*, p. 85.
4. Win, E. P. and Aye, N. (2014), "An Effective Iris Recognition System", *International Conference on Advances in Engineering and Technology (ICAET'2014)*, Singapore.
5. Shah, N. and Shirmath, P. (2014), "Iris Recognition System – A Review", *International Journal of Computer and Information Technology*, Vol. 03, Issue 02, pp. 321–327.
6. Ghayoumi, M. (2015), "A review of multimodal biometric systems: Fusion methods and their applications", *IEEE/ACIS 14th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*, pp. 131–136.
7. Hajari, K. and Bhojar, K. (2015), "A review of issues and challenges in designing Iris recognition Systems for noisy imaging environment", *International Conference on Pervasive Computing (ICPC)*, pp. 1–6.
8. Mahajan, S. and Mahajan, K. (2017), "A Survey on IRIS Recognition System: Comparative Study", *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, Vol. 5, Issue. 4, pp. 238–242.
9. Kevin W. B., Karen, H. and Patrick, J. F. (2008), "Image Understanding for Iris Biometrics: A Survey", *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 110, Issue 2, pp. 281–307.
10. Ketchantang, W., Derrode, S., Bourennane, S. and Martin, L. (2005), "Video Pupil Tracking for Iris Based Identification", *Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems*, LNCS 3708, pp. 1–8.
11. Harifi, S. and Bastanfard, A. (2015), "Previous works about iris recognition stages", *IEEE: Forth International Conference on e-Technologies and Networks for Development (ICeND)*, ISBN: 978-1-4799-8451-0, DOI: [10.1109/ICeND.2015.7328530](https://doi.org/10.1109/ICeND.2015.7328530).

12. Zhaofeng, H., Tieniu, T. and Zhenan, S. (2006), "Iris Localization via Pulling and Pushing", *International Conference on Pattern Recognition*, pp. 366–369.
13. Mira, J. and Mayer, J. (2003), "Image feature extraction for application of biometric identification of iris: a morphological approach", *IEEE Proc. XVI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*, pp. 391–398.
14. Guodong, G. and Jones, M. J. (2008), "Iris extraction based on Intensity Gradient and Texture Difference", *IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, pp. 1–6.
15. Abhilash, A. K., Raghuwanshi, A. and Sharma, V. K. (2015), "Biometric System- A Review", *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, Vol. 6, No. 5, pp. 46.16–46.19.

Надійшла (received) 18.04.2019

Прийнята до друку (accepted for publication) 19.06.2019

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Амін Саліх Мохаммед** – кандидат технічних наук, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії, Lebanese French University, Ербіль, Курдистан, Ірак;

**Amin Salih Mohammed** – PhD, Associate Professor, Head of the Department of Computer Engineering, Lebanese French University, Erbil, Kurdistan Region, Iraq;

e-mail: [kakshar@lfu.edu.krd](mailto:kakshar@lfu.edu.krd); [amin.mohammed@su.edu.krd](mailto:amin.mohammed@su.edu.krd); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2993-6182>

**Саравана Балайі Б.** – доцент кафедри інформаційних технологій, Lebanese French University, Ербіль, Курдистан, Ірак;

**B. Saravana Balaji** – Associate Professor, Department of Information Technology, Lebanese French University, Erbil, Kurdistan Region, Iraq;

e-mail: [saravanabalaji.b@lfu.edu.krd](mailto:saravanabalaji.b@lfu.edu.krd); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9077-1658>

**Хіва Абдулкарім Мавлоуд** – аспірант кафедри інформаційних технологій, Lebanese French University, Ербіль, Курдистан, Ірак;

**Hiwa Abdulkarim Mawlood** – PG Student, Department of Information Technology, Lebanese French University, Erbil, Kurdistan Region, Iraq;

e-mail: [hiwa@tarimnet.info](mailto:hiwa@tarimnet.info); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1612-1996>

#### Концептуальний аналіз систем розпізнавання райдужної оболонки ока

Амін Саліх Мохаммед, Саравана Балайі Б., Хіва Абдулкарім Мавлоуд

**Анотація.** Біометрія - це надійна вимірювана фізична функція, як пароль. Біометрична структура автоматично надає ідентичність особистості людини на основі його унікальних особливостей. Розпізнавання райдужної оболонки - один з фізіологічних способів, використовуваних для ідентифікації людини в групі, і є однією з точних біометричних систем. У цій статті коротко розглядаються дослідження, проведені раніше, щодо системи розпізнавання райдужної оболонки, її переваги і використання в області інформаційних технологій і безпеки. Використання недорогого обладнання може допомогти розпізнавати райдужну оболонку відповідно до інших стандартів в контексті безпеки, так як вимоги до безпечної ідентифікації постійно змінюються. Так, райдужна оболонка ока людини дає феноменальну базу для ідентифікації. В останні роки були отримані результати, які стосуються отримання, відновлення, оцінки якості, стиснення зображень, поділу, зменшення шуму, нормалізації, видалення ознак, порівняно коду райдужної оболонки, пошуку в базі даних великого розміру, прикладним аспектам, оцінці, продуктивності в різних умовах і багаторазового використання біометрії в аспекті розвитку розпізнавання райдужних оболонок в декількох активних напрямках досліджень. Справжній матеріал являє собою основу розпізнавання райдужної оболонки і огляд сучасних методів в різних областях.

**Ключові слова:** райдужна оболонка людини; біометрія; безпеку; аутентифікація; розпізнавання райдужної оболонки.

#### Концептуальный анализ систем распознавания радужной оболочки глаза

Амин Салих Мохаммед, Саравана Балайі Б., Хива Абдулкарим Мавлоуд

**Аннотация.** Биометрия – это надежная измеримая физическая функция, как пароль. Биометрическая структура автоматически предоставляет идентичность личности человека на основе его уникальных особенностей. Распознавание радужной оболочки – один из физиологических способов, используемых для идентификации человека в группе, и является одной из точных биометрических систем. В этой статье кратко рассматриваются исследования, проведенные ранее, касательно системы распознавания радужной оболочки, ее преимуществах и использовании в области информационных технологий и безопасности. Использование недорогого оборудования может помочь распознавать радужную оболочку в соответствии с другими стандартами в контексте безопасности, так как требования к безопасной идентификации постоянно меняются. Так, радужная оболочка глаза человека дает феноменальную базу для идентификации. В последние годы были получены результаты, относящиеся к получению, восстановлению, оценке качества, сжатию изображений, делению, уменьшению шума, нормализации, удалению признаков, сопоставлению кода радужной оболочки, поиску в базе данных большого размера, прикладным аспектам, оценке, производительности в различных условиях и многократному использованию биометрии в аспекте развития распознавания радужных оболочек в нескольких активные исследования. Настоящий материал представляет собой основу распознавания радужной оболочки и обзор современных методов в различных областях.

**Ключевые слова:** радужная оболочка человека; биометрия; безопасность; аутентификация; распознавание радужной оболочки.

В. М. Сидоренко, Ю. Я. Поліщук, С. О. Гнатюк

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

## ФОРМУВАННЯ ПЕРЕЛІКУ КРИТИЧНИХ АВІАЦІЙНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ РЕАЛІЗАЦІЇ КІБЕРЗАГРОЗ

**Анотація.** Предмет статті – методи, моделі та методики формування переліку об'єктів критичної інформаційної інфраструктури (КІІ). **Мета даної статті** – на основі розробленої уніфікованої моделі даних сформулювати перелік критичних авіаційних інформаційних систем (КАІС) і визначити їх метрики зв'язності та складності. **Результати.** На основі раніше розробленої авторами уніфікованої моделі даних було створено методику формування переліку об'єктів КІІ, яка за рахунок мультирівневої деталізації, ієрархічного представлення множин, що характеризують системи та їх компоненти, а також введення матриці інцидентності кібербезпеки КІІ, її симплексних комплексів та Q-аналізу, дозволила сформулювати перелік КАІС та визначити їх зв'язність (співвідношення  $q$ -зв'язків множин кіберзагроз (КЗ) та КАІС). **Висновки.** Проведене дослідження показало, що відношення  $q$ -зв'язків множин КЗ має більш високу зв'язність у порівнянні з аналогічними відношеннями  $q$ -зв'язків множин систем КАІС, а це свідчить про реалізацію однієї КЗ може ініціювати каскадний ефект на інші зв'язані загрози та призвести до важких, а іноді і руйнівних наслідків для певної системи КАІС. Крім того, обчислені міри складності комплексів  $\Phi_{KAIS} = 1,39$  та  $\Phi_{THREATS} = 1,13$  свідчать про більшу «складність» систем КАІС. Зазначені результати можуть бути використані відповідними державними органами для формування переліку об'єктів КІІ з метою застосування адекватних методів і засобів захисту.

**Ключові слова:** критична інфраструктура; критична інформаційна інфраструктура; критичні авіаційні інформаційні системи; кіберзагрози; симплекси; матриця інцидентності.

### Вступ

Сучасні тенденції розвитку інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) спричинили феноменальну залежність суспільства від послуг, які надають різноманітні галузі інфраструктури. Сьогодні якість та доступність таких послуг є одними з головних показників розвитку інфраструктури держави, а забезпечення їх захисту та стабільного функціонування є найважливішою і обов'язковою складовою національної безпеки розвинених держав. Збільшення концентрації засобів та ресурсів для захисту електронних інфраструктур різних типів зумовило необхідність ранжування інфраструктурних об'єктів, виділення найважливіших з них та появи поняття критична інфраструктура (КІ) держави. Зазвичай, до цієї категорії відносять енергетичні та транспортні магістральні мережі, нафто- та газопроводи, морські порти, канали швидкісного та урядового зв'язку, системи життєзабезпечення мегаполісів, високо-технологічні підприємства та підприємства військово-промислового комплексу, а також центральні органи влади. Особливої уваги потребує авіаційна галузь, з огляду на необхідність забезпечення безперервної комунікації та взаємодії між наземними системами і повітряними суднами. Тому, першочерговим аспектом стає визначення об'єктів, які є критичними для забезпечення їх постійного функціонування. Проте, необмежена кількість об'єктів і параметрів систем, які постійно варіюються, та важко прогнозована поведінка об'єктів з великою кількістю взаємозв'язків є основними причинами труднощів виявлення об'єктів КІ держави.

### 1. Аналіз існуючих досліджень

Базовим компонентом КІ є інформаційна складова – критична інформаційна інфраструктура (КІІ). Основними причинами важливості КІІ є широке застосування ІКТ у всіх сферах людської діяльності,

залежність від них громадян, суспільства і держави, а також збільшення уразливостей та потенційних загроз різного характеру. Крім того, в деяких державах особливий акцент ставиться на значення КІ для нації, навіть саме визначення КІІ вживається як критична національна інформаційна інфраструктура.

Аналіз вітчизняної нормативної бази свідчить, що галузь захисту КІІ у нашій державі перебуває на початковому етапі формування. Чинним законодавством досі не визначений вичерпний перелік об'єктів КІІ держави, а вказані лиш об'єкти окремих галузей [1–3], що потребують захисту з боку держави: підприємства, які мають стратегічне значення для економіки та безпеки держави; особливо важливі об'єкти електроенергетики; особливо важливі об'єкти нафтогазової галузі; важливі державні об'єкти, у тому числі пункти управління органів державної влади та органів місцевого самоврядування; об'єкти можливих терористичних посягань; об'єкти, які підлягають охороні і обороні в умовах надзвичайних ситуацій і в особливий період; об'єкти, що підлягають обов'язковій охороні підрозділами Державної служби охорони за договорами; об'єкти підвищеної небезпеки (в т.ч. Перелік особливо небезпечних підприємств, припинення діяльності яких потребує проведення спеціальних заходів щодо запобігання заподіяння шкоди життю та здоров'ю громадян, майну, спорудам, навколишньому природному середовищу; об'єкти, які включені до Державного реєстру потенційно небезпечних об'єктів; радіаційно небезпечні об'єкти, для яких розробляється об'єктова проектна загроза; об'єкти, які віднесені до категорій з цивільного захисту; об'єкти, що належать суб'єктам господарювання, проектування яких здійснюється з урахуванням вимог інженерно-технічних заходів цивільного захисту; чергово-диспетчерська система екстреної допомоги населенню за єдиним безкоштовним телефонним номером виклику екстрених служб 112; аварій-

но-рятувальні служби; Національна система конфіденційного зв'язку; платіжні системи; нерухомі об'єкти культурної спадщини.

Аналіз критеріїв за якими можливо виділити чи ідентифікувати об'єкти КІ був проведений у [4]. Встановлено, що одні з перших критеріїв ідентифікації КІ були вказані в Директиві ЄС [5]. Відповідно до якої, кожна держава повинна ідентифікувати потенційні КІ, які відповідають вимогам двох основних груп критеріїв – міжгалузевих і галузевих. Міжгалузеві критерії повинні включати в себе: 1) критерії втрати (оцінюються з точки зору потенційного числа загиблих або травмованих); 2) критерії економічних наслідків (оцінюються з точки зору значущості економічних втрат та / або деградації продуктів і послуг, включаючи потенційні екологічні наслідки); 3) критерії впливу на громадськість (оцінюються з точки зору впливу на суспільну довіру, фізичні страждання і порушення повсякденного життя, включаючи втрату важливих послуг). Галузеві критерії повинні враховувати характеристики окремих секторів КІ. Вони визначають характерні риси або функції об'єктів, включених до об'єктів КІ.

У США, згідно [6], прийнято поділяти КІ на ті, що пов'язані з міжнародними організаціями (об'єкти енергетики, транспорт, банківсько-фінансова система, телекомунікації) і ті, які з ними не пов'язані (наприклад, водопостачання, служби порятунку, державне управління). Відповідно до [4], об'єкти КІ поділяються за категоріями наслідків на різні напрями та сектори: економіка, фінанси, навколишнє середовище, здоров'я і безпека, технологічне середовище, тривалість впливу. Також критичність може бути описана трьома загальними характеристиками [7]: критична частка, критичний час та критична якість.

В Україні єдиним переліком критеріїв, які можуть бути використані для ідентифікації об'єктів КІ є затверджений у [8] перелік негативних наслідків, до яких може призвести кібератака на інформаційно-телекомунікаційну систему (ІТС), до яких належить: 1) виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру та/або негативний вплив на стан екологічної безпеки держави (регіону); 2) негативний вплив на стан енергетичної безпеки держави; 3) негативний вплив на стан економічної безпеки держави; 4) негативний вплив на стан обороноздатності, забезпечення національної безпеки та правопорядку у державі; 5) негативний вплив на систему управління державою; 6) негативний вплив на суспільно-політичну ситуацію в державі; 7) негативний вплив на імідж держави; 8) порушення сталого функціонування фінансової системи держави; 9) порушення сталого функціонування транспортної інфраструктури держави; 10) порушення сталого функціонування інформаційної та/або телекомунікаційної інфраструктури держави, в тому числі її взаємодії з відповідними інфраструктурами інших держав.

Питаннями захисту КІ держави займаються такі вітчизняні та закордонні вчені: Х. Алькарас, Д. Бірюков, Д. Бобро, Д. Грітсаліз, О. Довгань, Є. Єлісеєва, А. Кондратьєв, М. Мерабті, Л. Романо, Х. Сятерліс, І. Фовіно, В. Харченко та ін. Проте переважна більшість

досліджень не є системними: здебільшого вони орієнтовані на розробку й застосування превентивних та контрзаходів для захисту окремих об'єктів КІ чи КІІ; мало уваги приділяється механізмам формування переліку КІ держави, а відомі методи й методики (згідно міжнародних стандартів та рекомендованих практик), які не є формалізованими, що ускладнює їх застосування на загальнодержавному рівні, зокрема в авіаційній галузі. З огляду на це мета роботи – на основі розробленої уніфікованої моделі даних сформувати перелік критичних авіаційних інформаційних систем (КАІС) та визначити їх метрики зв'язності та складності.

## 2. Основна частина дослідження

Серед галузей КІ особливого захисту потребує авіаційна галузь держави, де відповідно до керівних документів (зокрема [9, 10]), необхідно ідентифікувати і захищати КАІС. Адже очевидно, що несанкціоноване втручання у роботу КАІС може призвести до значних економічних збитків, людських жертв і руйнування загальнодержавної інфраструктури. Проте, жоден із керівних документів ІКАО чи ЕСАС щодо забезпечення захисту міжнародної цивільної авіації не містить повний перелік КАІС, що ускладнює розробку ефективних методів захисту КАІС від різного роду кіберзагроз. Зважаючи на це, була розроблена уніфікована модель даних для формування переліку об'єктів КІ держави [11–16]. Відповідно до якої, повна множина категорій систем КІ у певній галузі  $S$  може бути представлена як:

$$S = \left\{ \bigcup_{i=1}^n S_i \right\} = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}, \quad (1)$$

де  $S_i \subseteq S$  ( $i = \overline{1, n}$ ) – категорії систем в певній галузі КІ,  $n$  – загальна кількість категорій систем.

Множина категорій  $S_i$  може бути представлена у вигляді множини систем:

$$S_i = \left\{ \bigcup_{j=1}^m S_{ij} \right\} = \{S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{im_i}\}, \quad (2)$$

де  $S_{ij} \subseteq S_i$  ( $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}$ ) – системи  $i$ -ої категорії,  $m_i$  – кількість систем  $i$ -х категорій.

Множина систем  $S_{ij}$  може бути представлена у вигляді множини підсистем:

$$S_{ij} = \left\{ \bigcup_{k=1}^{r_{ij}} S_{ijk} \right\} = \{S_{ij1}, S_{ij2}, \dots, S_{ijr_{ij}}\}, \quad (3)$$

де  $S_{ijk} \subseteq S_{ij}$  ( $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, k = \overline{1, r_{ij}}$ ) – множина підсистем системи  $S_{ij}$ ,  $r_{ij}$  – кількість підсистем  $ij$ -ї системи.

Множина підсистем системи  $S_{ijk}$  може бути представлена у вигляді підмножини підсистем:

$$S_{ijk} = \left\{ \bigcup_{p=1}^{v_{ijk}} S_{ijkp} \right\} = \{S_{ijk1}, S_{ijk2}, \dots, S_{ijkv_{ijk}}\}, \quad (4)$$

де  $S_{ijkp} \subseteq S_{ijk}$  ( $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, k = \overline{1, r_{ij}}, p = \overline{1, v_{ijk}}$ ) – підмножина підсистем  $S_{ijk}$ ,  $v_{ijk}$  – кількість підмножин  $ijk$ -ої підсистеми.

У залежності від можливостей деталізації категорій галузі КП підмножина підсистем  $S_{ijkp}$  може бути також представлена у вигляді підмножин з поглибленим рівнем деталізації. Тому існує необхідність представлення повної множини категорій систем у галузі КП  $S$  у загальному вигляді таким чином:

$$S = \left\{ \bigcup_{i_1=1}^{n_0} \left\{ \bigcup_{i_2=1}^{n_{i_1}} \left\{ \dots \left\{ \bigcup_{i_l=1}^{n_{i_1, i_2, \dots, i_{l-1}}} S_{i_1, i_2, \dots, i_l} \right\} \right\} \right\} \right\}, \quad (5)$$

де  $S_{i_1, i_2, \dots, i_l} \subseteq S$  ( $i_1 = \overline{1, n_0}$ ,  $i_2 = \overline{1, n_{i_1}}$ ,  $i_l = \overline{1, n_{i_1, i_2, \dots, i_{l-1}}}$ ) – рівні деталізації категорій систем  $S$ ,  $l$  – кількість рівнів деталізації категорій систем.

Для визначення зв'язності отриманих за допомогою уніфікованої моделі даних сформуємо згідно [17] матрицю інцидентності  $\Delta$  (6), яка для визначеної множини систем КАІС (обраного рівня деталізації)

$$Y = \left\{ \bigcup_{i=1}^m Y_i \right\} = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}, \text{ де } Y_i \subseteq Y \text{ (} i = \overline{1, m}\text{), де}$$

$m$  – загальна кількість систем, та множини кіберзагроз (КЗ) об'єктам КІ держави

$$X = \left\{ \bigcup_{j=1}^n X_j \right\} = \{X_1, X_2, \dots, X_n\},$$

де  $X_j \subseteq X$  ( $j = \overline{1, n}$ ), де  $n$  – загальна кількість КЗ відображає відношення впливу  $\lambda$ . Матриця інцидентності визначає відношення  $\Delta = (\lambda_{ij})$ , що характеризує можливість певної КЗ  $X_j$  вплинути на певну систему КАІС  $Y_i$  (де  $\lambda_{ij} = 1$ , якщо  $(Y_i, X_j) \in 1$ , та  $\lambda_{ij} = 0$ , якщо  $(Y_i, X_j) \notin 1$ ).

$$\Delta = (\lambda_{ij})_{(i=\overline{1, m}, j=\overline{1, n})}, \quad (6)$$

після чого можливо сформувати множини вершин комплексу, що характеризують перелік можливих КЗ для певної системи  $K_Y(X; \lambda)$ , та перелік систем,

на які може вплинути певна КЗ  $K_X(Y; \lambda^{-1})$ . При

необхідності розгляду комплекс у цілому, доцільно використати поняття ланцюга зв'язку, який відображає той факт, що два симплекси можуть і не мати спільної грані, але можуть бути зв'язані за допомогою послідовності проміжних симплексів. Симплекційний комплекс – це математичне узагальнення поняття планарного графа, що відображає багатомірну природу бінарного відношення системи. Оскільки симплекційний комплекс є множиною симплексів, з'єднаних між собою за допомогою спільних граней, то за характеристику зв'язку можна брати величину грані, спільної для двох симплексів. Отже, якщо множини  $Y$  та  $X$  мають  $m$  і  $n$  елементів відповідно, то матриця  $\Delta$  є матрицею розміром  $(m \times n)$ , яка складається з нулів та одиниць. Добуток  $\Delta \Delta^T$  – це число, що стоїть на місці  $(i, j)$  та є скалярним добутком рядків  $i$  та  $j$  матриці  $\Delta$ . Воно дорівнює

числу одиниць, що знаходяться на одних і тих самих місцях у рядках  $i$  та  $j$  матриці  $\Delta$  і відповідає значенню  $(q+1)$ , де  $q$  – розмірність спільної гарні симплексів  $\sigma_p$  і  $\sigma_r$ , заданих рядками  $i$  та  $j$ . Таким чином, для знаходження  $q$ -спільних граней усіх пар  $Y$ -симплексів у  $K_Y(X; \lambda)$  необхідно: скласти матрицю  $\Delta \Delta^T$  розміром  $(m \times m)$ ; оцінити  $\Delta \Delta^T - \Omega$ , де  $\Omega = (\omega_{ij})$ , а  $\omega_{ij} = 1$  для  $i, j = \overline{1, m}$ . Цілі числа на діагоналі матриці є розмірностями симплексів  $Y$ , а  $Q$ -аналіз здійснюється перевіркою інших комбінацій стовпчиків та рядків. Аналіз для  $K_X(Y; \lambda^{-1})$  виконується за допомогою складення матриці  $\Delta^T \Delta - \Omega'$ , де  $\Omega'$  – матриця розміром  $(n \times n)$ , що складається з одиниць. Цілі числа на діагоналі матриці також є розмірностями симплексів  $X$ , а  $Q$ -аналіз здійснюється перевіркою інших комбінацій стовпчиків та рядків. Кількість різних  $q$ -зв'язних комбінацій комплексу  $K$  позначається через число  $Q_q$ , а їх упорядковані в порядку спадання значення є першим структурним вектором комплексу. За допомогою структурного вектору згідно [17] та виразу

$$\phi(K) = 2 \left[ \sum_{i=0}^N (i+1) Q_i \right] / ((N+1)(N+2)),$$

можна отримати і порівняти міру складності комплексів.

На основі запропонованої уніфікованої моделі даних та згідно [18] створено методику (рис. 1), яка дозволяє формувати перелік об'єктів КП певної галузі та на загальнодержавному рівні.

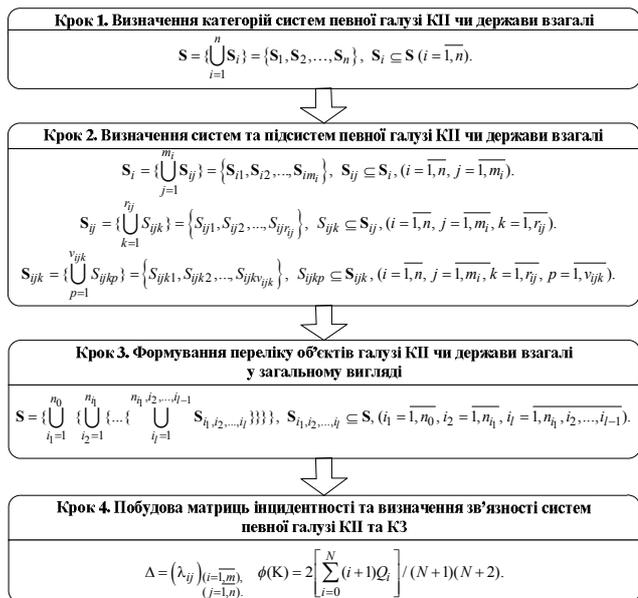


Рис. 1. Методика формування переліку об'єктів галузі КП

Методика складається з наступних кроків:

1) Визначення категорій систем певної галузі КП чи держави взагалі згідно (1);

- 2) Визначення систем та підсистем згідно (2)-(4);
- 3) Формування переліку об'єктів галузі КІІ чи держави взагалі у загальному вигляді на основі (5);
- 4) Побудова матриць інцидентності та визначення зв'язності систем певної галузі КІІ та КЗ згідно (6).

### 3. Експериментальне дослідження

Відповідно запропонованої методики, розглянемо приклад формування переліку об'єктів КІІ для авіаційної галузі (на основі системи КАІС) згідно [19], при  $n = 3$  з урахуванням (1), визначимо множину категорій систем таким чином:

$$\mathbf{S}_{KAIS} = \left\{ \bigcup_{i=1}^3 \mathbf{S}_i \right\} = \{ \mathbf{S}_1, \mathbf{S}_2, \mathbf{S}_3 \} = \{ \mathbf{S}_{ISAO}, \mathbf{S}_{BSPS}, \mathbf{S}_{ISAA} \},$$

де  $\mathbf{S}_1 = \mathbf{S}_{ISAO}$  – множина інформаційних систем аеронавігаційного обслуговування;  $\mathbf{S}_2 = \mathbf{S}_{BSPS}$  – множина бортових інформаційних систем повітряних суден;  $\mathbf{S}_3 = \mathbf{S}_{ISAA}$  – множина інформаційних систем авіакомпаній та аеропортів згідно [19].

Для множини категорій  $\mathbf{S}_1$ , при  $n = 1$ ,  $m_1 = 5$  з використанням (2), представимо множину систем таким чином:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_1 = \mathbf{S}_{ISAO} &= \left\{ \bigcup_{j=1}^5 \mathbf{S}_{1j} \right\} = \{ \mathbf{S}_{1.1}, \mathbf{S}_{1.2}, \mathbf{S}_{1.3}, \mathbf{S}_{1.4}, \mathbf{S}_{1.5} \} = \\ &= \{ \mathbf{S}_{SAE}, \mathbf{S}_{RZZP}, \mathbf{S}_{SSP}, \mathbf{S}_{SOD}, \mathbf{S}_{SMZ} \}, \end{aligned}$$

де  $\mathbf{S}_{1.1} = \mathbf{S}_{SAE}$  – системи авіаційного електрозв'язку;  $\mathbf{S}_{1.2} = \mathbf{S}_{RZZP}$  – радіонавігаційні засоби забезпечення польотів;  $\mathbf{S}_{1.3} = \mathbf{S}_{SSP}$  – системи спостереження;  $\mathbf{S}_{1.4} = \mathbf{S}_{SOD}$  – системи обробки даних;  $\mathbf{S}_{1.5} = \mathbf{S}_{SMZ}$  – системи метеорологічного забезпечення [19].

Аналогічно, для множини категорій  $\mathbf{S}_2$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 7$  з використанням (2), представимо множину систем таким чином:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_2 = \mathbf{S}_{BSPS} &= \left\{ \bigcup_{j=1}^7 \mathbf{S}_{2j} \right\} = \\ &= \{ \mathbf{S}_{2.1}, \mathbf{S}_{2.2}, \mathbf{S}_{2.3}, \mathbf{S}_{2.4}, \mathbf{S}_{2.5}, \mathbf{S}_{2.6}, \mathbf{S}_{2.7} \} = \\ &= \{ \mathbf{S}_{SPS}, \mathbf{S}_{SZV}, \mathbf{S}_{NAVS}, \mathbf{S}_{SSPZ}, \mathbf{S}_{OSL}, \mathbf{S}_{SVI}, \mathbf{S}_{ABSK} \}, \end{aligned}$$

де  $\mathbf{S}_{2.1} = \mathbf{S}_{SPS}$  – система повітряних сигналів;  $\mathbf{S}_{2.2} = \mathbf{S}_{SZV}$  – системи зв'язку;  $\mathbf{S}_{2.3} = \mathbf{S}_{NAVS}$  – навігаційні системи;  $\mathbf{S}_{2.4} = \mathbf{S}_{SSPZ}$  – системи спостереження та попередження зіткнень;  $\mathbf{S}_{2.5} = \mathbf{S}_{OSL}$  – обчислювальні системи літаководіння;  $\mathbf{S}_{2.6} = \mathbf{S}_{SVI}$  – системи відображення інформації;  $\mathbf{S}_{2.7} = \mathbf{S}_{ABSK}$  – автоматичні бортові системи керування [19].

Аналогічно, для множини категорій  $\mathbf{S}_3$ , при  $n = 3$ ,  $m_3 = 5$  з використанням (2), представимо множину систем таким чином:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_3 = \mathbf{S}_{ISAA} &= \left\{ \bigcup_{j=1}^5 \mathbf{S}_{3j} \right\} = \{ \mathbf{S}_{3.1}, \mathbf{S}_{3.2}, \mathbf{S}_{3.3}, \mathbf{S}_{3.4}, \mathbf{S}_{3.5} \} = \\ &= \{ \mathbf{S}_{CRS}, \mathbf{S}_{GDS}, \mathbf{S}_{IDS}, \mathbf{S}_{BSP}, \mathbf{S}_{DCS} \}, \end{aligned}$$

де  $\mathbf{S}_{3.1} = \mathbf{S}_{CRS}$  – система комп'ютерного бронювання;  $\mathbf{S}_{3.2} = \mathbf{S}_{GDS}$  – глобальна система резервування (бронювання);  $\mathbf{S}_{3.3} = \mathbf{S}_{IDS}$  – Інтернет системи бронювання (IDS) або альтернативні системи бронювання (ADS);  $\mathbf{S}_{3.4} = \mathbf{S}_{BSP}$  – система взаєморозрахунків;  $\mathbf{S}_{3.5} = \mathbf{S}_{DCS}$  – системи управління відправками згідно [19].

За допомогою уніфікованої моделі даних було сформовано перелік об'єктів КІІ авіаційної галузі, у результаті чого (при рівні деталізації  $l = 4$ ) виділено 3 множини категорій, 17 множин систем, 97 множин підсистем, 125 підсистем КАІС.

Сформований перелік ідентифікованих критичних об'єктів будь-якого рівня деталізації може бути використаний для аналізу впливу можливих КЗ (для прикладу було обрано множини систем  $\mathbf{S}_{ij}$  при  $l = 2$ ). Побудована, на основі (6), матриця інцидентності відношення  $\Delta_{KAIS\_THREATS}$  (рис. 2) при  $i = \overline{1,17}$ ,  $j = \overline{1,19}$ , характеризує можливість певної КЗ  $X_j$  вплинути на певну КАІС  $Y_i$ . Де  $Y_i$  – це визначені за (2) множини систем  $\mathbf{S}_{ij}$ , а саме:  $Y_1$  – системи авіаційного електрозв'язку;  $Y_2$  – радіонавігаційні засоби забезпечення польотів;  $Y_3$  – системи спостереження;  $Y_4$  – системи обробки даних;  $Y_5$  – системи метеорологічного забезпечення;  $Y_6$  – система повітряних сигналів;  $Y_7$  – системи зв'язку;  $Y_8$  – навігаційні системи;  $Y_9$  – системи спостереження та попередження зіткнень;  $Y_{10}$  – обчислювальні системи літаководіння;  $Y_{11}$  – системи відображення інформації;  $Y_{12}$  – автоматичні бортові системи керування;  $Y_{13}$  – система комп'ютерного бронювання;  $Y_{14}$  – глобальна система резервування (бронювання);  $Y_{15}$  – Інтернет системи бронювання (Internet Distribution Systems, IDS);  $Y_{16}$  – система взаєморозрахунків;  $Y_{17}$  – системи управління відправками, а відповідно до [2]:  $X_1$  – авіаційні катастрофи;  $X_2$  – ядерні аварії;  $X_3$  – аварії у системах енергозабезпечення;  $X_4$  – викиди небезпечних речовин;  $X_5$  – відмови систем;  $X_6$  – аварії та надзвичайні події обумовлені недбалістю, організаційними помилками;  $X_7$  – аварії на об'єктах підвищеної небезпеки;  $X_8$  – метеорологічні або надзвичайні погодні умови;  $X_9$  – гідрологічні загрози;  $X_{10}$  – сейсмічні загрози;  $X_{11}$  – геологічні загрози;  $X_{12}$  – геліофізичні загрози;  $X_{13}$  – пожежі (лісові, степові, торф'яні);  $X_{14}$  – епідемії та пандемії, епізоотії, епіфітотії;  $X_{15}$  – дії терористів;  $X_{16}$  – дії злочинців та диверсантів;  $X_{17}$  – військові дії в умовах війни;  $X_{18}$  – кібератаки на ІТС;  $X_{19}$  – загрози функціонування державних органів влади, збройних сил, правоохоронних органів та спецслужб.

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$X_{16}$	$X_{17}$	$X_{18}$	$X_{19}$
$Y_1$	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0
$Y_2$	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0
$Y_3$	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0
$Y_4$	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0
$Y_5$	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0
$Y_6$	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0
$Y_7$	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
$Y_8$	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0
$Y_9$	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0
$Y_{10}$	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
$Y_{11}$	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0
$Y_{12}$	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$Y_{13}$	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1
$Y_{14}$	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
$Y_{15}$	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
$Y_{16}$	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
$Y_{17}$	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1

Рис. 2. Матриця інцидентності  $\Delta_{KAIS\_THREATS}$

Згідно матриці інцидентності (рис. 2) сформуємо множину вершин комплексів  $K_Y(X; \lambda)$ , що характеризують перелік КЗ, які можуть вплинути на певну систему КАІС:

- $(Y_1) < X_1, X_2, X_3, X_5, X_6, X_8, X_9, X_{10}, X_{12}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18} > \sigma_{12}$ ;
- $(Y_2) < X_1, X_3, X_5, X_6, X_8, X_9, X_{10}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18} > \sigma_{10}$ ;
- $(Y_3) < X_1, X_5, X_6, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{15}, X_{16}, X_{18} > \sigma_{11}$ ;
- $(Y_4) < X_1, X_5, X_6, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{15}, X_{16}, X_{18} > \sigma_{10}$ ;
- $(Y_5) < X_1, X_2, X_4, X_5, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{16} > \sigma_{10}$ ;
- $(Y_6) < X_1, X_3, X_5, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{15}, X_{16} > \sigma_{10}$ ;
- $(Y_7) < X_1, X_3, X_4, X_5, X_6, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19} > \sigma_{14}$ ;
- $(Y_8) < X_1, X_3, X_5, X_6, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18} > \sigma_{12}$ ;
- $(Y_9) < X_1, X_3, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{12}, X_{13}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18} > \sigma_{13}$ ;
- $(Y_{10}) < X_1, X_5, X_6, X_8, X_{10}, X_{16} > \sigma_5$ ;
- $(Y_{11}) < X_1, X_3, X_4, X_5, X_6, X_8, X_9, X_{10}, X_{15}, X_{17}, X_{18} > \sigma_{10}$ ;
- $(Y_{12}) < X_1, X_2, X_3, X_5, X_7, X_8, X_9 > \sigma_6$ ;
- $(Y_{13}) < X_1, X_3, X_5, X_6, X_8, X_{12}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19} > \sigma_{11}$ ;
- $(Y_{14}) < X_1, X_3, X_5, X_6, X_8, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{18}, X_{19} > \sigma_9$ ;

- $(Y_5) < X_1, X_3, X_5, X_6, X_8, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{18} > \sigma_8$ ;
- $(Y_6) < X_1, X_3, X_5, X_6, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{18} > \sigma_7$ ;
- $(Y_7) < X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_8, X_9, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19} > \sigma_{15}$ .

Згідно матриці інцидентності (рис. 2) сформуємо множину вершин комплексів  $K_X(Y; \lambda^{-1})$ , що характеризують перелік системи, на які може вплинути певна КЗ:

- $(X_1) < Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{10}, Y_{11}, Y_{12}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17} > \sigma_{16}$ ;
- $(X_2) < Y_1, Y_5, Y_{11}, Y_{12}, Y_{17} > \sigma_4$ ;
- $(X_3) < Y_1, Y_2, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{11}, Y_{12}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17} > \sigma_{12}$ ;
- $(X_4) < Y_5, Y_7, Y_{17} > \sigma_2$ ;
- $(X_5) < Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{10}, Y_{11}, Y_{12}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17} > \sigma_{16}$ ;
- $(X_6) < Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{10}, Y_{11}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17} > \sigma_{13}$ ;
- $(X_7) < Y_9, Y_{12} > \sigma_1$ ;
- $(X_8) < Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{10}, Y_{11}, Y_{12}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{17} > \sigma_{15}$ ;
- $(X_9) < Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{11}, Y_{12}, Y_{17} > \sigma_{11}$ ;
- $(X_{10}) < Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{10}, Y_{11} > \sigma_{10}$ ;
- $(X_{11}) < Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8 > \sigma_5$ ;
- $(X_{12}) < Y_1, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{13}, Y_{17} > \sigma_9$ ;
- $(X_{13}) < Y_3, Y_5, Y_6, Y_9, Y_{17} > \sigma_4$ ;
- $(X_{14}) < Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17} > \sigma_4$ ;
- $(X_{15}) < Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{11}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17} > \sigma_{13}$ ;
- $(X_{16}) < Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{10}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17} > \sigma_{14}$ ;
- $(X_{17}) < Y_1, Y_2, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{11}, Y_{13}, Y_{17} > \sigma_7$ ;
- $(X_{18}) < Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{11}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17} > \sigma_{12}$ ;
- $(X_{19}) < Y_7, Y_{13}, Y_{14}, Y_{17} > \sigma_3$ .

Для знаходження  $q$ -спільних граней усіх пар  $Y$ -симплексів у  $K_Y(X; \lambda)$  сформуємо матрицю  $\Delta\Delta^T$  розміром  $(m \times m)$  (рис. 3).

$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$	$Y_7$	$Y_8$	$Y_9$	$Y_{10}$	$Y_{11}$	$Y_{12}$	$Y_{13}$	$Y_{14}$	$Y_{15}$	$Y_{16}$	$Y_{17}$	
12	10	9	9	7	8	11	11	11	5	10	5	9	7	7	6	11	$Y_1$
	10	8	8	5	7	10	10	10	5	9	4	8	7	7	6	9	$Y_2$
		11	10	8	9	10	10	10	5	7	3	7	6	6	5	9	$Y_3$
			10	7	8	10	10	9	5	7	3	7	6	6	5	8	$Y_4$
				10	8	8	7	7	4	5	4	4	3	3	2	8	$Y_5$
					10	9	9	9	4	6	4	6	5	5	4	8	$Y_6$
						14	12	11	5	9	4	10	8	7	6	12	$Y_7$
							12	11	5	9	4	9	7	7	6	10	$Y_8$
								13	5	9	5	9	7	7	6	11	$Y_9$
									5	4	2	4	4	4	3	4	$Y_{10}$
										10	5	7	6	6	5	9	$Y_{11}$
											6	3	3	3	2	5	$Y_{12}$
												11	9	8	7	11	$Y_{13}$
													9	8	7	9	$Y_{14}$
														8	7	8	$Y_{15}$
															7	7	$Y_{16}$
																15	$Y_{17}$

Рис. 3. Матриця інцидентності системи КАІС

Враховуючи, що розмірність є величиною грані симплексу, отримані значення розмірностей симплексу  $q$  (цілі числа на діагоналі) зазначаємо у порядку спадання та визначаємо їх зв'язність та приналежність до систем. Якщо  $Q$  – значення симплексів комплексу  $K_Y(X; \lambda)$  – системи КАІС, то:

- при  $q = 15, \{Y_{17}\}, Q_{15} = 1$ ; при  $q = 14, \{Y_7\}, Q_{14} = 1$ ;
- при  $q = 13, \{Y_9\}, Q_{13} = 1$ ; при  $q = 12, \{Y_1\} \{Y_7, Y_8\}, Q_{12} = 2$ ;
- при  $q = 11, \{Y_3\} \{Y_{13}, Y_{17}\}, Q_{11} = 2$ ;
- при  $q = 10, \{Y_1, Y_2, Y_7, Y_8, Y_9\} \{Y_3, Y_4\} \{Y_5\} \{Y_6\} \{Y_{11}\}, Q_{10} = 5$ ;
- при  $q = 9, \{Y_{13}, Y_{14}, Y_{17}\}, Q_9 = 1$ ;

- при  $q = 8, \{Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{17}\}, Q_8 = 1$ ;
- при  $q = 7, \{Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17}\}, Q_7 = 1$ ;
- при  $q = 6, \{Y_{12}\}, Q_6 = 1$ ;
- при  $q = 5, \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{10}\}, Q_5 = 1$ .

Перший структурний вектор комплексу  $K_Y(X; \lambda)$  систем КАІС  $Q_Y = \{1, 1, 1, 2, 2, 5, 1, 1, 1, 1, 1\}$ , а міра складності комплексу  $\phi_{KAIS} = 1,39$ . Аналогічно, для знаходження  $q$ -спільних граней усіх пар  $X$ -симплексів у  $K_X(Y; \lambda^{-1})$  сформуємо матрицю  $\Delta^T \Delta$  розміром  $(n \times n)$  (рис. 4).

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>16</sub>	X <sub>17</sub>	X <sub>18</sub>	X <sub>19</sub>	
16	4	12	2	16	13	1	15	11	10	5	9	4	4	13	14	7	12	3	X <sub>1</sub>
	4	3	1	4	2	0	4	4	2	0	2	1	0	2	2	2	2	0	X <sub>2</sub>
		12	1	12	10	1	11	8	6	2	6	2	4	11	10	7	10	3	X <sub>3</sub>
			2	2	1	0	2	2	1	1	2	1	0	1	2	1	1	1	X <sub>4</sub>
				16	13	1	15	11	10	5	9	4	4	13	14	7	12	3	X <sub>5</sub>
					13	0	12	8	8	3	7	2	4	12	12	7	12	3	X <sub>6</sub>
						1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X <sub>7</sub>
							15	11	10	5	9	4	3	12	13	7	11	3	X <sub>8</sub>
								11	9	5	8	4	0	9	9	6	8	1	X <sub>9</sub>
									10	5	7	3	0	8	9	5	7	0	X <sub>10</sub>
										5	5	2	0	4	5	1	3	0	X <sub>11</sub>
											9	4	1	8	9	5	7	2	X <sub>12</sub>
												4	0	3	4	1	2	0	X <sub>13</sub>
													4	4	4	1	4	2	X <sub>14</sub>
														13	12	7	12	3	X <sub>15</sub>
															14	6	11	3	X <sub>16</sub>
																7	7	2	X <sub>17</sub>
																	12	3	X <sub>18</sub>
																		3	X <sub>19</sub>

Рис. 4. Матриця інцидентності КЗ об'єктам КІ держави

Отримані значення розмірностей симплексу  $q$  зазначаємо у порядку спадання та визначаємо їх зв'язність та приналежність до систем.

Якщо  $Q$  – значення симплексів комплексу  $K_X(Y; \lambda^{-1})$  – кіберзагроз об'єктам критичної інфраструктури держави, то:

- при  $q = 16, \{X_1, X_5\}, Q_{16} = 1$ ;
- при  $q = 15, \{X_1, X_5, X_8\}, Q_{15} = 1$ ;
- при  $q = 14, \{X_1, X_5, X_{16}\}, Q_{14} = 1$ ;
- при  $q = 13, \{X_1, X_5, X_6\} \{X_{15}\}, Q_{13} = 2$ ;
- при  $q = 12, \{X_1, X_3, X_5\} \{X_6, X_{15}, X_{18}\}, Q_{12} = 2$ ;
- при  $q = 11, \{X_1, X_5, X_8, X_9\}, Q_{11} = 1$ ;
- при  $q = 10, \{X_1, X_5, X_8, X_{10}\}, Q_{10} = 1$ ;
- при  $q = 9, \{X_1, X_5, X_8, X_{12}, X_{16}\}, Q_9 = 1$ ;
- при  $q = 7, \{X_1, X_3, X_5, X_6, X_8, X_{15}, X_{17}, X_{18}\}, Q_7 = 1$ ;
- при  $q = 5, \{X_1, X_5, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{16}\}, Q_5 = 1$ ;
- при  $q = 4, \{X_1, X_2, X_5, X_8, X_9\} \{X_{12}, X_{13}, X_{16}\} \{X_3, X_6, X_{14}, X_{15}, X_{18}\}, Q_4 = 3$ .

Перший структурний вектор комплексу  $K_X(Y; \lambda^{-1})$  – кіберзагроз об'єктам критичної інфраструктури, буде мати вигляд:

$$Q_X = \{1, 1, 1, 2, 2, 1, 1, 1, 1, 1, 3, 1, 1, 1\},$$

а міра складності комплексу  $\phi_{THREATS} = 1,13$ .

### Висновки

В роботі на основі раніше розробленої уніфікованої моделі даних було створено методику формування переліку об'єктів КІ, яка за рахунок мультирівневої деталізації, ієрархічного представлення множин, що характеризують системи та їх компоненти, а також введення матриці інцидентності кібербезпеки КІ, її симплексних комплексів та Q-аналізу, дозволила сформулювати перелік КАІС та визначити їх зв'язність (співвідношення  $q$ -зв'язків множин КЗ та КАІС). Як показало дослідження, відношення  $q$ -зв'язків множин КЗ має більш високу зв'язність у порівнянні з аналогічними відношеннями  $q$ -зв'язків множин систем КАІС, а це свідчить, що реалізація однієї КЗ може ініціювати каскадний ефект на інші зв'язані загрози та призвести до важких, а іноді і руйнівних наслідків для певної системи КАІС. Крім того, визначені структурні вектори відношення для систем КАІС  $Q_Y = \{1, 1, 1, 2, 2, 5, 1, 1, 1, 1, 1\}$  та загроз КІ держави  $Q_X = \{1, 1, 1, 2, 2, 1, 1, 1, 1, 1, 3, 1, 1, 1\}$ , за допомогою яких були отримані міри (числові значення) складності комплексів цих відношень. Обчислені міри складності комплексів  $\phi_{KAIS} = 1,39$  та  $\phi_{THREATS} = 1,13$  свідчать про більшу «складність» систем КАІС. Зауважимо, що таке визначення складності розглядає тільки статистичну складність обраних комплексів. Зазначені результати можуть бути використані відповідними державними органами для формування переліку об'єктів КІ з метою застосування адекватних методів і засобів захисту.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Довгань О. Д. Критична інфраструктура як об'єкт захисту від кібернетичних атак. *Інформаційна безпека: виклики і загрози сучасності* : матеріали наук.-практ. конф. Київ : НА СБ України, 2013. С. 17–20.
2. Зелена книга з питань захисту критичної інфраструктури в Україні. URL: [http://www.niss.gov.ua/public/File/2016\\_book/Syxodolya\\_ost.pdf](http://www.niss.gov.ua/public/File/2016_book/Syxodolya_ost.pdf).
3. Бірюков Д. С., Кондратов С. І. Захист критичної інфраструктури: проблеми та перспективи впровадження в Україні. Київ : НІСД, 2012. 96 с.
4. Лядовська В. Методи та критерії ідентифікації об'єктів критичної інфраструктури держави», *Мат. VII міжн. НПК «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2014)»*, 19-20 травня 2014 р., Київ, 2014. С. 356–358.
5. On the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection: Council Directive 2008/114/EC. URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32008L0114:EN:HTML:NOT>.
6. Цигичко В. Н., Смолян Г. Л., Черешкін Д. С. Забезпечення безпеки критичних інфраструктур в США, т. 27, 2006.
7. Fekete A., Common criteria for the assessment of critical infrastructures. *International Journal of Disaster Risk Science*. 2011. Vol. 2, № 1. P.15–24.
8. Постанова Кабінету Міністрів України «Постанова про затвердження порядку формування переліку ІТС об'єктів критичної інфраструктури держави», від 23.08.2016 № 563. URL: <http://zak.on3.rada.gov.ua/laws/show/563-2016-%D0%BF>.
9. Doc 8973 ICAO «Керівництво з авіаційної безпеки» (Restricted), вид. 9, 2014, 818 с.
10. Doc 30 «Політика ЕСАС у сфері авіаційної безпеки» (Restricted), вид. 13, 2010, 138 с.
11. Гнатюк С., Сидоренко В., Сейлова Н., Універсальна модель даних для формування переліку об'єктів критичної інформаційної інфраструктури держави. *Безпека інформації*. 2017. Том 23, № 2. С. 80–91.
12. Sydorenko V., Zhmurko T., Polishchuk Yu., Gnatyuk S. Data model for forming critical infrastructure objects and determining its connectivity. *Inzynier XXI wieku*, Monografia, Bielsko-Biala, Poland : ATH, 2017. P. 329–350.
13. Sydorenko V., Gnatyuk S., Aleksander M. Unified data model for defining state critical information infrastructure in civil aviation. *The 9th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT-2018)*, 24-27 May. Kyiv, 2018. P. 37–42.
14. Kuchuk G.A. An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assessment / G.A. Kuchuk, A.A. Kovalenko, A.A. Mozhaev // *Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010.*– Kiev: NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, 2010. – P. 158 – 160.
15. Amin Salih M., Yuvaraj D., Sivaram M., Porkodi V. Detection And Removal Of Black Hole Attack In Mobile Ad Hoc Networks Using Grp Protocol. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*. Vol. 9, No 6. P. 1–6, DOI: <http://dx.doi.org/10.26483/ijarcs.v9i6.6335>
16. Gnatyuk S., Zh. Hu, Sydorenko V., Aleksander M., Polishchuk Yu., Yubuzova Kh. Critical Aviation Information Systems: Identification and Protection. *Cases on Modern Computer Systems in Aviation*. USA: IGI Global, 2019. P. 423–448.
17. Качинський А. Б. Безпека, загрози і ризик: наукові концепції та математичні методи. Київ : Інститут проблем національної безпеки, 2003. 472 с.
18. Сидоренко В. М. Методи ідентифікації та оцінювання стану кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури авіаційної галузі. URL: <http://er.nau.edu.ua:8080/handle/NAU/33987>.
19. Гнатюк С., Васильєв Д. Сучасні критичні авіаційні інформаційні системи. *Безпека інформації*. 2016. Т. 2, № 1. С. 51–57.

## REFERENCES

1. Dovgan, O. (2013), “Critical infrastructure as an object of protection against cyber attacks”, *Information security: the challenges and threats of our time*, NA SBU, Kyiv, pp. 17–20.
2. *Green paper on Critical Infrastructure Protection in Ukraine*, available at: [http://www.niss.gov.ua/public/File/2016\\_book/Syxodolya\\_ost.pdf](http://www.niss.gov.ua/public/File/2016_book/Syxodolya_ost.pdf).
3. Biryukov, D. and Kondratov, S. (2012), *Protection of critical infrastructure: problems and prospects of implementation in Ukraine: analytical report*, NISS, Kyiv, 96 p.
4. Lyadovska, V. (2014), “Methods and criteria for the identification of objects of the state's critical infrastructure”, *Integrated intelligent robotic complexes*, 19-20 May 2014, pp. 356–358.
5. On the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection: Council Directive 2008/114/EC, available at: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32008L0114:EN:HTML:NOT>.
6. Tsigichko, V., Smolyan, G. and Chereskin, D. (2006), “Ensuring the safety of critical infrastructures in the USA”, T.27.
7. Fekete, A. (2011), “Common criteria for the assessment of critical infrastructures”, *International Journal of Disaster Risk Science*, Vol. 2, № 1. pp. 15–24.
8. Resolution on approval of the procedure for the formation of the list of information and telecommunication systems of critical infrastructure objects of the state (2016), available at: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/563-2016-%D0%BF>.
9. Doc 8973 ICAO “Aviation Safety Guide” (2014), no 9, 818 p.
10. Doc 30 «ECAC Policy Statement in the Field of Civil Aviation Facilitation» (2010), T. 13, 138 p.
11. Gnatyuk, S., Sydorenko, V. and Seilova, N. (2017), “Universal data model for the formation of the critical information infrastructure of the state objects list”, *Ukrainian Scientific Journal of Information Security*, Vol. 23 (2), pp. 80–91.
12. Sydorenko, V., Zhmurko, T., Polishchuk, Yu. and Gnatyuk, S. (2017), “Data model for forming critical infrastructure objects and determining its connectivity”, *Inzynier XXI wieku*, Bielsko-Biala, ATH, Poland, pp. 329–350.
13. Sydorenko, V., Gnatyuk, S. and Aleksander, M. (2018), “Unified data model for defining state critical information infrastructure in civil aviation”, *The 9th IEEE Int. Conf. on Dependable Systems, Services and Technologies*, Kyiv, pp. 37–42.
14. Kuchuk, G.A., Kovalenko, A.A. and Mozhaev A.A. (2010), “An Approach To Development Of Complex Metric For Multi-service Network Security Assessment”, *Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010)*, Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010.; IEEE Ukraine section joint SP, NAU, RED, Kyiv, pp. 158–160.

15. Amin Salih, M., Yuvaraj, D., Sivaram, M. and Porkodi, V. (2018), "Detection And Removal Of Black Hole Attack In Mobile Ad Hoc Networks Using Grp Protocol", *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, Vol. 9, No 6, pp. 1–6, DOI: <http://dx.doi.org/10.26483/ijarcs.v9i6.6335>
16. Gnatyuk, S., Hu, Zh., Sydorenko, V., Aleksander, M., Polishchuk, Yu. and Yubuzova, Kh. (2019), "Critical Aviation Information Systems: Identification and Protection", *Cases on Modern Computer Systems in Aviation*, IGI Global, USA, pp. 423–448.
17. Kachinsky, A. (2003), *Security, threats and risks: scientific concepts and mathematical methods*, Kyiv, 472 p.
18. Sydorenko, V. (2018), *Methods for critical information infrastructure objects identification and cybersecurity assessment in aviation*, available at: <http://er.nau.edu.ua:8080/handle/NAU/33987>.
19. Gnatyuk, S. and Vasyliiev, D. (2016), "Modern critical aviation information systems", *Information Security*, Vol. 22, Issue 1, pp. 51–57.

Received (Надійшла) 11.04.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.06.2019

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Сидоренко Вікторія Миколаївна** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри безпеки інформаційних технологій, Національний авіаційний університет, Київ, Україна;

**Viktoriia Sydorenko** – PhD, Senior lecturer of IT-Security Academic Department, National Aviation University, Kyiv, Ukraine;

e-mail: [v.sydorenko@ukr.net](mailto:v.sydorenko@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5910-0837>

**Поліщук Юлія Ярославівна** – аспірант кафедри безпеки інформаційних технологій, Національний авіаційний університет, Київ, Україна;

**Yuliia Polishchuk** – PhD student of IT-Security Academic Department, National Aviation University, Kyiv, Ukraine;

e-mail: [polishchuk.yu.ya@gmail.com](mailto:polishchuk.yu.ya@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0686-2328>

**Гнатюк Сергій Олександрович** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри безпеки інформаційних технологій, Національний авіаційний університет, Київ, Україна;

**Sergiy Gnatyuk** – D.Sc., Associate Professor, Professor of IT-Security Academic Department, National Aviation University, Kyiv, Ukraine;

e-mail: [s.gnatyuk@nau.edu.ua](mailto:s.gnatyuk@nau.edu.ua); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4992-0564>

**Формирование перечня критических авиационных информационных систем в условиях реализации киберугроз**

В. Н. Сидоренко, Ю. Я. Полищук, С. А. Гнатюк

**Аннотация.** Предмет статьи – методы, модели и методики формирования перечня объектов критической информационной инфраструктуры (КИИ). Цель данной статьи – на основе разработанной унифицированной модели данных сформировать перечень критических авиационных информационных систем (КАИС) и определить их метрики связности и сложности. Результаты. На основе ранее разработанной авторами унифицированной модели данных была создана методика формирования перечня объектов КИИ, которая за счет мультиуровневой детализации, иерархичного представления множеств, характеризующих системы и их компоненты, а также введение матрицы инцидентности кибербезопасности КИИ, ее симплексных комплексов и Q-анализа, позволила сформулировать перечень КАИС и определить их связность (соотношение q-связей множеств киберугроз (КУ) и КАИС). Выводы. Проведенное исследование показало, что отношение q-связей множества КУ имеет более высокую связность по сравнению с аналогичным отношениям q-связей множества систем КАИС, а это свидетельствует, что реализации одной КУ может инициировать каскадный эффект на другие связанные угрозы и привести к тяжелым, а иногда и разрушительным последствиям для определенной системы КАИС. Кроме того, вычисленные степени сложности комплексов  $\varphi_{KAIS} = 1,39$  и  $\varphi_{THREATS} = 1,13$  свидетельствуют о большей «сложности» систем КАИС. Указанные результаты могут быть использованы соответствующими государственными органами для формирования перечня объектов КИИ с целью применения адекватных методов и средств защиты.

**Ключевые слова:** критическая инфраструктура; критическая информационная инфраструктура; критические авиационные информационные системы; киберугрозы; симплексы; матрица инцидентности.

**Formation of the list of critical aviation information systems in the context of the cyber threats activities**

V. Sydorenko, Yu. Polishchuk, S. Gnatyuk

**Abstract.** The subject of the paper is the methods and models of forming the list of objects of critical information infrastructure (CII). The purpose of this paper is to form a list of critical aviation information systems (CAIS) on the basis of the developed unified data model and determine their metrics of connectivity and complexity. Results. Based on the author's previously developed unified data model, a methodology was developed for creating a list of CII objects. It due to multi-level detail, hierarchical representation of sets characterizing systems and their components, as well as the introduction of the incidence matrix of CII cybersecurity, its simplex complexes and Q-analysis, allowed to formulate the list of CAIS and to determine their connectivity (the ratio of q-bonds between sets cyber threats (CT) and CAIS). Conclusions. This research study has shown that the relations q-connections of sets of CT have a higher connectivity in comparison with similar relations q-connections of sets of systems of CAIS, which indicates that the implementation of one CT can initiate a cascade effect on other related threats and lead to damage, and sometimes devastating consequences for a certain system of CAIS. In addition, the complexity measurements of complexes  $\varphi_{KAIS} = 1,39$  and  $\varphi_{THREATS} = 1,13$  are calculated and indicate a greater «complexity» of CAIS systems. Given results can be used by the relevant state authorities to build a list of CII objects in order to apply adequate security methods and means.

**Keywords:** critical infrastructure; critical information infrastructure; critical aviation information systems; cyber threats; simplexes; incidence matrix.

# Applied problems of information systems operation

UDC 621.396

doi: 10.20998/2522-9052.2019.2.17

A. Artemenko<sup>1</sup>, O. Strutsinskiy<sup>2</sup>, O. Lukashuk<sup>3</sup>, O. Biesova<sup>3</sup><sup>1</sup> General Staff of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine<sup>2</sup> Military unit 2533, Dnipro, Ukraine<sup>3</sup> Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

## FEATURES LOCATIONS HELICOPTER IN COASTAL AREAS

**Abstract.** The purpose of the article. Consider method by which calculated required detection range helicopter that can provide guidance for fighter destroyed helicopter. It is believed that ensured detection helicopter radio equipment, which provide the work of the command post. **Results.** The article analyzed the trend of improving helicopters in recent years. The noted a growing possibility of using the helicopter to meet the challenges on the battlefield, putting helicopters in a row with means of attack, using airborne equipment. The conclusion that the fight against helicopters important issue is the calculation time required for a decision on their application at the command post defense. In the article, the example of an automated system of decision-making at the command post Brigade tactical aviation airfields considered the possibility of using the proposed method and the calculations detection range, providing decision by the person who decides brigade of tactical aviation. **Conclusions.** It is shown that one of the key conditions for the organization and the successful interception of enemy helicopters are grounded and timely decisions on management of fighter aircraft on the remote control of Air Force tactical level. Uncertainty and dynamism of the airspace, time constraints, significant amounts of information and uncertainty that characterize the actions of enemy helicopters that are clearly uncertain and contradictory, causing growth requirements for the feasibility and the efficiency of decision-making on the Air Force control panel of the tactical level. One of the directions of fulfilling such requirements is automation of the processes of management of fighter aviation at the stage of combat operations.

**Keywords:** radar channel command post; radar detection; low-altitude target coherence signals fighter aircraft; control point.

### Introduction

**Problem statement.** Analysis of the trend of improving helicopters [1] indicates that in recent years firepower helicopters significantly increased. Previously only used helicopters to transport rapid reaction units, evacuating the wounded from hospitals and other transportation problems, now they can be used as a means of air attack. The strengths of modern helicopters, as shown in [2-6], include their high mobility and the related possibility of the battlefield unexpectedly due to various shelters, which dramatically reduce the effectiveness of air defense. Availability helicopter devices that provide flights in difficult weather conditions, day and night, as well as effective systems onboard weapons poses a helicopter in some of the most dangerous means of air attack of the enemy. The organization air defense struggle becomes the most important series of events. According to the authors of [7-9] organization air defense fighting is most effective when destroying helicopters on the far outskirts of the protected object. The most effective means of destroying helicopters have fighter aircraft. The use of aircraft, in turn, effectively when using automatic guidance systems of fighter aircraft to the target. The use of automated guided fighter aircraft at the target requires some time required person decision making cycle to provide guidance on the fighter helicopter. In the known works of the present time there is no method of calculating the time required for a decision to exterminate helicopter person who decides at the command post air defense.

**Analysis of recent research and publications.** The use of helicopters at low altitudes in turn for radars

usually impose stringent requirements for rate of delivery of information about the target environment [10-24]. This equally applies to both radar stations civil systems (flight control and landing, aircraft collision avoidance), and military applications. Quite widespread use of such radars found in systems and complexes air defense. Saturation of the armed forces leading nations attack helicopters with a range of 260 to 1000 kilometers allows to strike the entire depth of construction of opposing forces [10, 11]. This shows the urgent need to construct special facilities and means of combat attack helicopters [2-6]. Of particular relevance, this problem takes in the coastal areas and the locations of large masses of water (reservoirs, lakes, estuaries, etc.) where helicopters can operate not only small, but on micro altitudes [25].

Under these conditions, as shown in [2-6], successfully fighting helicopters possible by carefully organized intelligence [10, 11] for the purpose of timely detection of aircraft and alert troops about their approach. Most effective in fighting helicopters are considered Intelligence and destroying low-altitude targets that have the lowest response time on appearance goals, as well as the ability to quickly and easily identify open fire.

According to [10, 11] key requirements that apply to intelligence in favor of combat helicopters should consider early detection of the air to remote, ensuring their timely identification and production of weapons systems for combat, opening their fire on the marginal range, and timely detection of approaching the likely routes, areas and lines of transition to the attack. It must be borne in mind that for each weapon system that can be used for combat helicopters, has its own required detection range of the

aircraft, depending on the range of the weapon and the time required for identification purposes and to bring weapons on alert. Since the enemy's helicopters can carry an adversary (attack) in virtually any direction, then their intelligence should be circular, to ensure timely discovery of effective fire in any direction. To destroy helicopters enemy can be used missiles, aircraft, artillery, small arms, mine-explosive obstacles, flamethrower-inflammatory agents, anti-aircraft weapons (anti-aircraft missiles, guns, machine guns) and air troops, raid teams and specially selected units of different genera troops. The question of the use of one or another means to reduce enemy helicopters in each particular case is usually decided at the command post by the decision maker.

Away helicopters tactical [9] and operational-tactical missiles can be applied to the depth order of battle and rapid construction. Fighter-bomber and fighter aircraft [2-6], unlike missiles capable of independently find and immediately destroy enemy helicopters visually visible on platforms and in the air, in simple and adverse weather conditions, day and night. However, the most effective attacks on enemy helicopters based on received advance intelligence. In the absence of such data fighter-bombers carried out to search and destroy enemy helicopters in both its location and its territory.

The most effective method is automated guided fighter [9]. In particular, for the automated guidance of a helicopter fighter, the proposed use of the proposed [9] information exchange method between elements of the control system - the radar data processing station, the point of guidance of the radar station of the combat control system of the fighter aviation, and the starting command posts with the control point of the Air Force of the tactical level [9]. Obviously, the conditions for the operation of the radar system of the combat management system and their tactical and technical characteristics largely determine the quality of information to perform operational and tactical calculations for intercepting fighter helicopters.

At the implementation of the developed method, the launch command posts of the airfields of the tactical aviation brigade provide a combat command line billing with information on the implementation of the instructions for the transfer of fighters at specified levels of combat readiness, on the state of aircraft and pilots.

Location of transfer stations teams on the ground, the impact of natural phenomena on the propagation of radio waves and other factors determine the area prompting helicopters and actually intercept fighters.

Flying fighter in the settlement trajectory, compliance with the safety, timely detection of helicopters, getting into position, convenient for carrying out a helicopter approach and attack are possible only after the prompt adoption of reasonable decisions at the tactical level control point at the helicopter fighter's interception.

A common tool specially designed to detect helicopters and other air targets in flight is radar station reconnaissance systems, command and control [9, 26]. However, their ability to detect targets greatly reduced with decreasing altitude helicopters, especially invert

rough areas. Practice shows that the helicopters flying at an altitude of 100 m., radar reconnaissance means in terms of sight can detect targets at a distance of 10 - 25 km, at an altitude of 25 meters - at a distance of 5-15 km and a height of 15 m - only at a distance of 5-7 km. When contour helicopter flight while they were in sight of a rather short, which further complicates their timely detection and recognition. To address this shortcoming used together different types of radars, including possessing different characteristics and abilities. Positions radar should be chosen so that detection provided on the marginal range of helicopters, especially the most probable direction of their flight, because forests along river beds and valleys with gorges. It follows from [9] for a decision on the appointment of a fighter to destroy helicopters, it is necessary for a certain interval of time. Since in the well-known literature there is no methodology for calculating the required time for decision-making by the decision maker at the command post of the air defense, this article eliminates this shortcoming.

**The purpose of the article:** Consider method by which calculated required detection range helicopter that can provide guidance for fighter destroyed helicopter. It is believed that ensured detection helicopter radio equipment, which provide the work of the command post.

### Main material

We estimate interval ( $t_{im}$ ) to make a decision at the command post of the Air Force tactical level based on the approach proposed in [9].

The value of time for a decision  $t_{im}$  depends on early decisions related item management speed helicopter flight time and fighter approaching the turn of the performance of tasks [9]:

$$t_{im} = (R_1 - R_2) / V_C \quad (1)$$

where  $R_1$  - implemented milestone decision at the command post;  $R_2$  - milestone decision on the use of fighter aircraft;  $V_C$  - speed target (helicopter).

$$R_1 = D_{upd} - V_C \cdot t_{rtv}, \quad (2)$$

where  $D_{upd}$  - detection range helicopter units advanced radar troops;  $t_{rtv}$  - the total working time of the control unit of the unit, part, subdivision of the radio troops.

$$R_2 = d + V_C \cdot (t_{com} + t_{noa}), \quad (3)$$

where  $d$  - far turn limit the introduction into battle fighter;  $t_{com}$  - cycle management;  $t_{noa}$  - time of flight to the area of a combat mission.

Draw analysis cycle management, i.e. the length of time during which consistently carried out management tasks from the receipt of the combat mission by the end of their performance in the system management [9]. Using the characteristics of air strikes conducted by NATO Air Force joint offensive operations in recent years [2-6] was obtained by the length of time that is

available to the decision maker for the analysis of air situation and making recommendations. This interval is  $t_{tm} = 0,16 \dots 10,23$  min. This expectation life time decision to subordinate the management of forces and means will  $M^*(t_{tm}) = 5.195$  min. Define confidence interval ( $I_\beta$ ), for values  $M^*(t_{tm})$ . To build  $I_\beta$ , corresponding confidence probability  $\beta$ , we find value estimation variance  $\bar{D}$  [9]:

$$\bar{D} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n t_{tm(i)}}{n} - M^*(t_{tm}) \right) \cdot \frac{n}{n-1}, \quad (4)$$

where  $n$  – number of elements  $t_{tm(i)}$ .

We find this value  $\varepsilon_\beta$ , for which

$$P\left(|M^*(t_{tm}) - M(t_{tm})| < \varepsilon_\beta\right) = \beta. \quad (5)$$

Then with a given probability  $\beta$  value  $M^*(t_{tm})$  fall into the interval:

$$I_\beta = (M^*(t_{tm}) - \varepsilon_\beta; M^*(t_{tm}) + \varepsilon_\beta). \quad (6)$$

In solving the tasks of processing statistical recommended value  $\beta$  choose from a range [0.9; 0.999]. Then the confidence interval for  $M^*(t_{tm})$  is:

$$I_\beta = (2.23; 8.18). \quad (7)$$

In the evaluation of the efficiency of decision-making in the appointment action fighters in helicopters determined that the likelihood of a decision by the time that will ensure its implementation and the possibility of issuing appropriate orders to subordinates capabilities, is according to the expression  $P_{op}(T_{req}) = 1 - e^{-\lambda t_{tm}}$ .

The audit showed that the experimental data are consistent with the hypothesis that a random variable  $T_{req}$  has an exponential distribution law.

Find the value of  $\chi^2$ :

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^N (p_i^* - p_i)^2 / p_i \approx 0,129.$$

The number of degrees of freedom  $r$  in this case is the number of values of the random variable minus the number of overlapping connections  $r = 7 - 2 = 5$ . Finds  $r = 5$  and  $\chi^2 \approx 0,129$ ,  $p = 0.95$ .

Because  $p = 0.95 > 0.01$ , the hypothesis of exponential distribution law of a random variable does not contradict the experimental data. The analysis indicates that for a combat mission takes to the length

of time  $t_{tm}$ , which is at the disposal of the person who makes the decision for the analysis of the air environment and making appropriate recommendations to satisfy demand  $t_{tm} \leq 10$  min. As the ratio of (1.1) to satisfy this requirement the person who makes the decision should have available information on speed targets  $V_{\text{н}}$  and to receive information about the availability of helicopters for advanced units of radio troops on a range  $D_{\text{обн.}}$ , which provides the implemented boundary for the decision on the remote control  $R_{VS}^P$ . As shown in [1, 9], precision measuring of coordinates and parameters to be no worse than the corresponding precision measuring these parameters on the radar command and control systems within the range of sight. As follows from the ratio (2), the boundary of the decision making on the control panel is realized, considering that in the implementation of the automated decision-making system for the presence of the target on the control panel of the compound, parts, units of radio troops, it can be considered equal to the distance of detection of helicopters by the advanced units of radio troops, that is  $R_{VS}^P \approx D_{det}$ . In turn, using equation (1), (2) and (3) easy to show that

$$D_{det} \approx t_{tm} \cdot V_C + R_{VS}^P. \quad (8)$$

According to [1-6, 9] analysis of the fighter aircraft to repel air strikes showed that the range boundary decision on the use of aircraft must meet requirement  $R_{VS}^P \geq 50$  km. Given that modern helicopters speed it satisfies  $V_C \sim 240-270$  km/h (Mi-28N, Mi-35M, Mi-8, Ka-226, Ka-27PS) and  $V_C \sim 300-320$  km/h (Mi-24, Mi-35M, Ka-52, Ka-50), using (8), we find that when  $t_{tm} \sim 10$  min., the range of detection of helicopters by advanced units of radio troops must meet the requirements  $D_{upd} \geq 100$  km.

## Conclusions

It is shown that one of the key conditions for the organization and the successful interception of enemy helicopters are grounded and timely decisions on management of fighter aircraft on the remote control of Air Force tactical level. Uncertainty and dynamism of the airspace, time constraints, significant amounts of information and uncertainty that characterize the actions of enemy helicopters that are clearly uncertain and contradictory, causing growth requirements for the feasibility and the efficiency of decision-making on the Air Force control panel of the tactical level. One of the directions of fulfilling such requirements is automation of the processes of management of fighter aviation at the stage of combat operations.

## REFERENCES

1. Karlov, V.D., Nos, A.I. Pichugin, I.M. and Kurtsev, T.M. (2017), "Features of the location of helicopters over the sea, taking into account the main propeller", *Newest technologies - for the protection of air space, sciences. conf. HUPS*, April 12-13, 2017, abstracts, Kharkiv, p. 446.
2. Sadati, N. and Faghihi, A.H. (2006), "Neural Networks in Identification of Helicopters Using Passive Sensors", *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, SMC'06*, Taipei, Taiwan, 8-11 Oct. 2006, DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSMC.2006.384350>.

3. Haghshenas, H. and Nayebi, M.M. (2010), "A novel method to detect rotor blades echo", *IEEE Radar Conference 2010*, Washington, DC, USA, 10-14 May 2010, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5494412/>
4. Tikkinen, J., Hiltunen, K., Martikainen, K. and Isohookana, M. (2012), "Helicopter detection capability of passive coherent location (PCL) radar", *9th European Radar Conference (EuRAD)*, 2012, Amsterdam, Netherlands, 31 Oct.-2 Nov. 2012. available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6450717/>
5. Vorobev, E.N. (2018), "Helicopter recognition in DVB-T2 passive bistatic radar", *IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ELConRus)*, 2018, Moscow, Russia, 29 Jan.-1 Feb.
6. Tikkinen, J., Hiltunen, K. and Martikainen, K. (2013), *Utilization of long coherent integration time in helicopter recognition by passive coherent location radar*, Nuremberg, Germany, 9-11 Oct. 2013. available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/668916/>
7. NDPG (2012), "Acquisition of Next-generation Fighter Aircraft", *Development of the Dynamic Defense Force*, pp. 151–157, available at: [http://www.mod.go.jp/e/publ/w\\_paper/pdf/2012/26\\_Part2\\_Chapter3\\_Sec5.pdf](http://www.mod.go.jp/e/publ/w_paper/pdf/2012/26_Part2_Chapter3_Sec5.pdf)
8. Dimitriadis, G. (2017), *Fighter aircraft design: Aerospace Design Project 2017-2018*, available at: <http://www.ltas-cm3.ulg.ac.be/AERO0023-1/ConceptionAeroFighter.pdf>
9. Strutzinsky O.V., Karlov, V.D., Artemenko, A.M. and Pichugin I.M. (2017), "Optimization of measurement of range to target with its radar within the tropospheric waveguide above the sea", *Control, Navigation and Communication Systems*, No. 5 (45), pp. 18–21.
10. Yermoshin, M.O. and Feday, V.M. (2004), *Fighting in the air*, HUPS, Kharkiv, 220 p.
11. Klimov, S.B. (2005), "Role and Place of the Air Forces in the Common System of the Use of the Armed Forces of Ukraine", *Science and Defense*, No. 1, pp. 23–26.
12. Amin Salih M. and Potrus M.Y. (2015), "A Method for Compensation of Tcp Throughput Degrading During Movement Of Mobile Node", *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*, Vol. 27, No 6, pp. 59–68.
13. Saravana, Balaji B., Karthikeyan, N.K. and Raj Kumar, R.S., (2018), "Fuzzy service conceptual ontology system for cloud service recommendation", *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 69, pp. 435–446, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2016.09.013>.
14. Saravana, Balaji B., Mohamed, Uvaze Ahamed, Eswaran C. and Kannan R., (2019), "Prediction-based Lossless Image Compression", *Lecture Notes in Computational Vision and Biomechanics* (Springer), Vol. 30, No 1, pp.1749 – 17961, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00665-5\\_161](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00665-5_161)
15. Saravanan, S., Hailu, M., Gouse, G.M., Lavanya, M. and Vijaysai, R. (2019), "Optimized Secure Scan Flip Flop to Thwart Side Channel Attack in Crypto-Chip", *International Conference on Advances of Science and Technology*, ICAST 2018. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, vol 274, Springer, Cham, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15357-1\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15357-1_34)
16. Dhivakar, B., Saravanan, S.V., Sivaram, M. and Krishnan R.A. (2012), "Statistical Score Calculation of Information Retrieval Systems using Data Fusion Technique", *Computer Science and Engineering*, Vol. 2, Issue 5, pp.43-45, DOI: <http://doi.org/10.5923/j.computer.20120205.01>
17. Sivaram, M., Batri, K., Amin Salih, Mohammed and Porkodi V. (2019), "Exploiting the Local Optima in Genetic Algorithm using Tabu Search", *Indian Journal of Science and Technology*, Volume 12, Issue 1, DOI: <http://doi.org/10.17485/ijst/2019/v12i1/139577>
18. Sivaram, M., Yuvaraj, D., Amin Salih, Mohammed, Porkodi, V. and Manikandan V. (2018), "The Real Problem Through a Selection Making an Algorithm that Minimizes the Computational Complexity", *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, Vol. 8, iss. 2, 2018, pp. 95-100.
19. Kovalenko, A. and Kuchuk H. (2018), "Methods for synthesis of informational and technical structures of critical application object's control system", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 1, pp. 22–27, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
20. Sviridov, A., Kovalenko, A. and Kuchuk, H. (2018), "The pass-through capacity redevelopment method of net critical section based on improvement ON/OFF models of traffic", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 2, pp. 139–144, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
21. Kuchuk, G., Nechausov, S. and Kharchenko, V. (2015), "Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store", *International Conference on Information and Digital Technologies, Zilina*, pp. 266-271, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DT.2015.7222982>
22. Ruban, I., Kuchuk, H. and Kovalenko A. (2017), "Redistribution of base stations load in mobile communication networks", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No 1 (1), P. 75–81, DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>
23. Kuchuk, G., Kovalenko, A., Komari, I.E., Svyrydov, A. and Kharchenko V.. (2019), "Improving big data centers energy efficiency: Traffic based model and method", *Studies in Systems, Decision and Control*, vol 171, Kharchenko, V., Kondratenko, Y., Kacprzyk, J. (Eds.), Springer Nature Switzerland AG, pp. 161–183.
24. Kovalenko, A.A. and Kuchuk, G.A. (2018), "The current state and trends of the development of computer systems of objects of critical application", *Systems of control, navigation and communication*, PNTU, Poltava, No. 1 (47), pp. 110–113. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.110>
25. Lukashuk, E.V., Petrushenko, N.N., Karlov, V.D., Lukovsky, O.Ya. and Kvitkin, K.P. (2009), "A Model Representation of Tropospheric Radio-Wave Breeders Over the Sea", *Armament and military equipment systems*, HUPS, Kharkiv, № 1 (17), pp. 99–102.
26. Gorodonov, V.P., Drobakha, G.A., Yermoshin, M.O., Smirnov, Ye.B. and Tkachenko, V.I. (2004), *Modeling of Combat Action of Air Defense Forces (Air Force) and Information Management of their Control Processes*, KhVU, Kharkiv, 409 p.

Received (Надійшла) 11.02.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 25.04.2019

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Артеменко Артур Миколайович** – кандидат технічних наук, начальник Головного управління Генерального штабу Збройних Сил України, Київ, Україна;

**Artur Artemenko** – Candidate of Technical Sciences, Chief of the General Directorate, General Staff of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine;

e-mail: [artemenko.arther@gmail.com](mailto:artemenko.arther@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7716-0406>

**Струцінський Олег Васильович** – командир в/ч 2533, Дніпро, Україна;

**Oleh Strutsinskiy** – commander of military unit 2533, Dnipro Ukraine;

e-mail: [sxidpvk@ukr.net](mailto:sxidpvk@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6175-7678>

**Лукашук Олена Вячеславівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики та радіоелектроніки, Харківський національний університет Повітряних Сил, Харків, Україна;

**Olena Lukashuk** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics and Radio Electronics, Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [dlyavac@ukr.net](mailto:dlyavac@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8721-2433>

**Бесова Оксана Василівна** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник наукового центру Повітряних Сил, Харківський національний університет Повітряних Сил, Харків, Україна;

**Oksana Biesova** – Candidate of Technical Sciences, Senior Research of the Air Force Scientific Center, Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [bytko75@ukr.net](mailto:bytko75@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7744-1339>

### Особливості локації вертольотів у приморських районах

А. М. Артеменко, О. В. Струцінський, О. В. Лукашук, О. В. Бесова

**Анотація. Мета статті.** Розглянути метод, за допомогою якого розраховується необхідна дальність виявлення вертольота, яка може служити орієнтиром для винищувача знищеного гелікоптера. Вважається, що забезпечено виявлення вертолітної радіотехніки, що забезпечує роботу командного пункту. **Результати.** У статті проаналізована тенденція вдосконалення вертолітної техніки за останні роки. Відмічена зростаюча можливість використання вертольота, для вирішення завдань на полі бою, що ставить вертолітну техніку в один ряд разом із засобами нападу, з використанням літакової техніки. Зроблений висновок про те, що при боротьбі з вертольотами важливим питанням є розрахунок необхідного часу на прийняття рішення по їх застосуванню на командному пункті протиповітряної оборони. У статті, на прикладі роботи автоматизованої системи прийняття рішення на командному пункті аеродромів бригади тактичної авіації розглянута можливість використання запропонованої методики та проведені розрахунки виявлення дальності, що забезпечує прийняття рішення особою, яка приймає рішення, бригади тактичної авіації. Показано, що одним з ключових умов організації та успішного перехоплення вертольотів противника є обґрунтовані і своєчасні рішення по управлінню винищувачами на дистанційному управлінні рівня ВВС. Невизначеність і динамічність повітряного простору, часові обмеження, значний обсяг інформації і невизначеність, що характеризують дії вертольотів противника, які явно невизначені і суперечливі, що обумовлює зростання вимог до здійсненості та ефективності прийняття рішень на панелі управління ВПС. Одним з напрямків виконання таких вимог є автоматизація процесів управління винищувальної авіації на етапі бойових дій.

**Ключові слова:** радіолокаційний канал; командний пункт; радіолокаційна станція виявлення; маловисотна ціль; когерентність сигналів; винищувальна авіація; пункт управління.

### Особенности локации вертолетов в приморских районах

А. Н. Артеменко, О. В. Струцинский, Е. В. Лукашук, О. В. Бесова

**Аннотация. Цель статьи.** Рассмотреть метод, с помощью которого рассчитывается требуемая дальность обнаружения вертолета, которая может служить ориентиром для истребителя уничтоженного вертолета. Считается, что обеспечено обнаружение вертолетной радиотехники, обеспечивающей работу командного пункта. **Результаты.** В статье проанализирована тенденция совершенствования вертолетной техники за последние годы. Отмечена возрастающая возможность использования вертолета для решения задач на поле боя, ставит вертолетную технику в один ряд вместе со средствами нападения с использованием самолетной техники. Сделан вывод о том, что при борьбе с вертолетами важным вопросом является расчет необходимого времени на принятие решения по их применению на командном пункте ПВО. В статье на примере работы автоматизированной системы принятия решения в командном пункте аэродромов бригады тактической авиации рассмотрена возможность использования предложенной методики. Проведены расчеты выявления дальности, обеспечивающей принятие решения лицом, принимающим решение, для бригады тактической авиации. Показано, что одним из ключевых условий организации и успешного перехвата вертолетов противника являются обоснованные и своевременные решения по управлению истребителями на дистанционном управлении тактического уровня ВВС. Неопределенность и динамичность воздушного пространства, временные ограничения, значительный объем информации и неопределенность, которые характеризуют действия вертолетов противника, которые явно неопределенны и противоречивы, что обуславливает рост требований к осуществимости и эффективности принятия решений на панели управления ВВС. Одним из направлений выполнения таких требований является автоматизация процессов управления истребительной авиацией на этапе боевых действий.

**Ключевые слова:** радиолокационный канал; командный пункт; радиолокационная станция обнаружения; маловысотная цель; когерентность сигналів; истребительная авиация; пункт управления.

P. Berdnik

Kharkiv National University named after V.N. Karazin, Kharkiv, Ukraine

## **BILINGUAL APPROACH TO FOREIGN STUDENTS MATH TEACHING IN THE KHARKIV NATIONAL UNIVERSITY NAMED AFTER V.N. KARAZIN**

**Abstract.** The article discusses the peculiarities of teaching mathematics for foreign students who use English as a language intermediary in bilingual education at the preparatory department of the Kharkiv National University named after V.N. Karazin. It is noted that the key feature of educational material on mathematics, as information, is its network structure, formed by semantic-logical links. There are options for the distribution of decisions of control tasks. The process of preliminary assessment of foreign students, the training program and the logic of its creation are analyzed. The process of organizing bilingual education of foreign students at the faculty and its coordination between teachers is described. A statistical analysis of the composition of students, the initial level of their training is presented and the most effective training strategy is justified using the capabilities of university teachers. The process of creating a program for the discipline "Mathematics" is considered, taking into account the fact that students have a different initial level of knowledge in mathematics. It was noted that the use of a bilingual approach to learning and interdisciplinary cooperation allows foreign students to better understand the content of the discipline; get more opportunities to clarify difficult moments; expand opportunities for joint work on developing collaborative solutions; Feel comfortable when working with a mathematical device. It was concluded that interdisciplinary interaction in the learning process, in which students receive both professional development and improvement of their foreign language skills, deserves a positive assessment and can be recommended for use in the development of the educational environment.

**Keywords:** bilingual education; mathematics; English for special purposes; foreign students; teacher.

### **Formulation of the problem**

In recent years, to increase the efficiency of teaching foreign students, approach based on bilingual education increasingly used. This approach is the subject of discussion in the professional society of different higher education institutions teachers of preparatory faculties. This approach is closely linked and coordinated with the interdisciplinary approach to teaching disciplines and subject-integrated learning, which contributes to a deeper learning of academic disciplines and contributes to increasing the chances of high-quality education of foreign students in tertiary education institutions both in and out of the host country and especially when it comes to learning English for special purposes. Particular attention is also required to study in English for further study in higher education in European countries. The language of specialty is also the most important aspect of teaching Ukrainian as a foreign language in non-philological institutions of higher education [1].

The teaching of a specialty language is multifaceted. In the first place, it is impossible without working on a special terminology [2]. Such work is based on linguistic analysis of different levels units: terminological phrases, words, elements-terms. The basis for the analysis of different levels units is development of a minimum list of terms of a separate discipline. Solving this problem requires the development of a dictionary on the preparation subject. To ensure better preparation, the dictionary should be developed for most native for students languages.

The training and preparation of foreign students at the initial stage of their preparation has obvious signs of bilingual education [3]. This paper describes the experience of bilingual education in math at the preparatory faculty of foreign students at the Karazin Kharkiv National University. The educational process

and the assessment of the academic achievements of foreign students are carried out by teachers of special disciplines, in this case, math, in close cooperation with the teachers of the Ukrainian language as a foreign language.

### **Analysis of recent research and publications**

The question of bilingual education is widely presented in the methodological literature. Along with the term "bilingual education", the words "bilingualism", "linguistic immersion" or even "bilingual linguistic immersion" are used. The attention of researchers attracted university programs for foreign students studying in a specialty in terms of language immersion, most often it is about English and people who study it. (ELL, English Language Learners) Today, the "theory of languages for special purposes" continues its development (languages for special purposes), the formation of which preceded the work of T. Saviore [2, P. 295-301]. Bilingual education of math for foreign students involves the simultaneous use of English and the Ukrainian in the context of math and continues to be the subject of pedagogical research.

The most popular topic of research is the weight of each of the partner languages. Some researchers argue that students show higher results on one of the partner languages that they use more [3-6]. Of course, the teaching of discipline studied in the bilingual regime, should take into account the characteristics of basic student training and the possible individualization of the training program. As a rule, one of the language partners is English. The share of the use of this language depends on how proficient it is in the student's region of residence [7]. In the practice of the department the most frequent ratio of languages is 50/50, although it can reach up to 70 percent or more. The choice of a learning model and the need to use the English language component depends on the characteristics of the student

contingent over the years of the recruitment. In some cases, when the proportion of English-speaking students is low, studies are conducted exclusively in the language of the host country. Although recent years more and more demand is learning exclusively in English.

A number of instructors in our country and abroad note the low level of preparations in math, growing number of immigrants who also have problems with the language of the country of residence (English in this case), since at home they communicate exclusively in native language. Researchers come to the conclusion that math is much less than other disciplines, depends on the language of communication. More important are the methods of studying mathematics in the country of origin students (English school, Chinese school, school of French colonies) [8-9]. However, bilingual education for foreign students in math consistently contributes to the mastering of their mathematical sections in solving practical, achievable and individually oriented tasks [10-14].

Bilingual education attracts the attention of researchers first of all because it allows to better organize the study of profile disciplines and compensates for the lack of knowledge of one language at the expense of the second, which in the end gives students a wide choice of sources of information and learning methods.

Unfortunately, the students' knowledge of English, Ukrainian and mathematics is not homogeneous. Some students have sufficient English language proficiency, but their knowledge of mathematics is not sufficient. The other part of the students have a good knowledge of the language of the host country, but either poorly trained in math or do not speak English. There are those who are well trained in math, but do not know either English or Ukrainian.

Thus, the issue of the formation of a methodology for teaching math to provide the necessary competences for students for further study in institutions of higher education of Ukraine remains unresolved. Open, also, remains the issue of creating an educational environment for the organization of high-quality training in math.

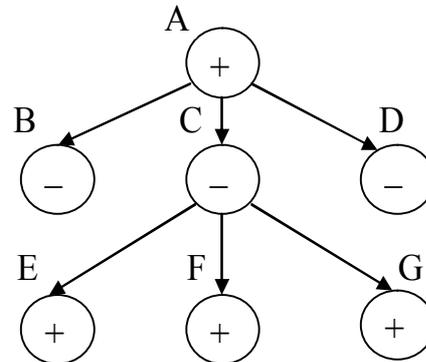
Therefore, **the purpose of the article** is to develop a methodology for studying mathematics by foreign students on the basis of a bilingual approach using modern educational environments.

**Presenting main material**

Practical experience shows that it is math causes the greatest studying difficulties with students.

A key feature of educational material in mathematics, as information, is its network structure, formed by semantic-logical links.

Fig. 1 shows the distribution options for the solutions of control tasks where +/- – True / incorrect solution of the control task; A, B, C, D, E, F, G – control tasks.



**Fig. 1.** Options for the distribution of solutions control tasks

In fig. 1 control task A is more complex, complex in relation to control tasks B, C and D. In other words, the solution to task A is based on the ability to successfully solve problems B, C and D, confirmed by the established relationships between them. The distribution of the solutions of control tasks in the case of  $A \rightarrow B, C, D$  clearly illustrates the contradiction that arises when the more complex problem is solved “correctly”, but the tasks on which the solution of the more complex ones is based are solved “incorrectly”.

At the same time, the level of mathematical preparation of entrants from different countries is extremely heterogeneous, first of all, due to differences in the content of programs of national secondary schools.

On the first practical lesson in math, diagnostic testing is usually performed to determine the initial level of mathematical preparation of students. The results of such testing, where those who are tested can get as many as 12 points, are presented in Table 1 and, in our opinion, are characteristic.

*Table 1 – Level of mathematical preparation of foreign students*

Marks	Number of students (people)	%
10-12	8	15%
7-9	9	17%
4-6	11	21%
0-3	24 (13) *	47% (25%) *
Together:	52	100%

Note: \* – in brackets given number of students with zero initial level of training.

The need to equalize this imbalance in order for foreign students to develop syllabus curricula together with Ukrainian first year students, explains the emergence of preparatory faculties in higher educational institutions of Ukraine that host foreign students.

The given statistical data is the basis for the choice of methodical techniques and teaching technologies in the described educational process. [5, P. 52-56].

Principles of selecting the content of practical classes in math at the preparatory faculty for foreign students are conditioned by the need to eliminate a significant difference in the initial level of training in mathematics, to reduce the gap between the strong and weak students, to introduce the students to the problems of increased complexity.

The first section of the course begins with the introduction of basic mathematical terms: figures and numbers, mathematical signs, arithmetic operations, specifies the notion of natural, integer, rational and real numbers. Then introduced the concepts that are necessary for the study of physics, chemistry, namely: percentages, proportions, trigonometric functions.

The second section is devoted to numerical and algebraic expressions, identical transformations of rational and irrational expressions, solving equations and inequalities. Typically, the initial level of listeners allows you to process such a large amount of didactic units in a rather short time.

In the next section, the concept of function is introduced without exact mathematical definition. The following basic concepts are considered such as zeros of functions, signs of fidelity, growth / decrease and extremums of a function, the largest and smallest function of a function on the interval, elementary functions and their graphs.

The tasks performed in this section do not foresee the use of the derivative, the definition corresponds to the level of secondary school.

The final sections of the course are most important for the study of university courses in higher math. This is differential and integral calculus, which are key to the first year of the university regardless of the direction of preparation.

It is important to prepare listeners for the perception of a large amount of oral information during the lecture, to teach them not only to solve, but also to correctly explain the decision of tasks in practical classes [7, P. 158-166]

When working on streamlining the mathematical terminology database both in Ukrainian and in English, the teacher of mathematics should eliminate the difference in the level of training, while it is especially important to give the features of teaching mathematics at the national school of science and to help weaker students to prepare for the first year of undergraduate studies.

The problem of inadequate language proficiency in learning is greatly hampering the learning process. The bilingual approach allows solving emerging terminological problems, achieving better understanding and accelerating the achievement of the desired level of training of non-homogeneous according to the level of

training and the countries of origin of the groups of listeners.

For foreign students who do not have the subject matter competence, the Ukrainian language is part of the educational process – the main means of acquiring a specialty. Since in the hierarchy of motives for studying foreign students the Ukrainian language is dominated by educational and professional activities, it is absolutely obvious that the language of the specialty becomes the dominant language, which becomes the language of teaching a foreign student at a university, enabling him to study subjects in the specialty, passing tests and examinations.

From the foregoing, it follows that along with the general (ethnic) language, foreign students must learn a language for special purposes that corresponds to their professional interests. At the same time, studying the language in the amount necessary for understanding the artistic text (20% of the academic time) occurs simultaneously with the study of journalistic and scientific language (80% of the academic time). [2, P. 295-301]

Let's return to the teaching experience of the Ukrainian language, which have mathematical character at the preparatory faculty and is a typical example of learning a foreign language for further education. The purpose of this initial course is to create a terminology base that would allow continuing to undergraduate studies in higher mathematics and special disciplines with a sufficient share of the practical solution of mathematical problems and the application of mathematical methods during the study of computer science. During this training students must learn:

- read and understand the symbolic record of mathematical expressions in Ukrainian;
- to understand oral and written information of mathematical subjects;
- to remove the main and secondary information from mathematical audio texts, to be able to write it down symbolically and to interpret it orally;
- to participate in dialogues with a teacher and fellow students, as well as make small monologues on mathematical topics;
- voice their actions during mathematical calculations, solving problems, describe changes in the process of obtaining intermediate results.

It should be noted that part of the graduates of the preparatory faculty enter into other universities, but nevertheless most of them become students of numerous faculties of the Karazin university. Those of you who speak English well become students of specialties taught in English. The programs of studying these specialties include the natural and mathematical disciplines that are taught in English. However, in the case of lexical difficulties, the bilingual approach is used, and the Ukrainian language is used as the partner language, which increases the efficiency of mastering the disciplines.

The process of studying the language of a specialty precludes a combination of occupations in the specialty, and is of a preventive nature, with the ultimate goal of forming foreign students fluent competence, sufficient

for reading texts of textbooks on professional disciplines, listening to lectures of teachers, participating in seminars, performing tasks on special subjects in oral and written form.

The situation is complicated by the fact that the formation of the subject competence is divided. For the linguistic competence "responsible" teacher-philologist, and for the subject – the teacher "subject". This distinction has already become traditional, and much effort is spent on the coordination of teaching activities of teachers, the establishment of interpersonal relations, imitation.

Every teacher of math, who uses the bilingual approach, knows the great role of English in learning foreigners math. This is precisely the area where interdisciplinary cooperation and even team work is needed, which has recently become more popular in the work of specialists in professional linguistic education. The department implements the approach of developing bilingual textbooks, and in some cases three or more – linguistic approach. Where individual elements of the text and individual concepts are translated and presented in the native language of foreign students.

However, for many math teachers, the combination of teaching math with a bilingual approach is a problem, since not all of them have English at the right level. In order to provide training for foreign students at the university, courses for the study of English and advanced training courses for teachers were created. Also, at the Faculty of Foreign Students Preparation, inter-departmental and methodical meetings are held where the approaches to bilingual training of students are discussed and agreed upon.

### Conclusions

Application of a bilingual approach to learning and interdisciplinary cooperation allows foreign students:

- better understand the content of the discipline;
- get more opportunities to refine the difficult moments;

- to expand the opportunities for teamwork to develop collaborative solutions;

- feel comfortable when working with a mathematical device.

Among the benefits of bilingual education should be academic successes of students; more confident use in learning activities and for personal communication of English; the best prospects for career growth; possibility to participate in international events; participation in professionally-oriented testing for obtaining international certificates. At the further stages of learning, the free use of the math apparatus in English will allow students to more effectively analyze specific business situations and make decisions verified by calculations.

The study does not leave doubt that bilingual education is a product of close cooperation between teachers of basic disciplines of the university, in particular mathematicians, and teachers of Ukrainian and foreign languages. As practical experience shows, in the study of foreign math students, the teacher feels the difficulties of both educational and corporate discipline, namely:

- the presence of a language barrier;
- the difference between educational systems and the organization of educational activities;
- difference in methodology of teaching math.

Thus, the use of the bilingual approach to the organization of the educational process in the study of math provides a harmonization between content-integrated learning, and the personal abilities of foreign students. Bilingual education turned out to be the most suitable and effective method for preparing foreign students with different levels of math and different communication languages. Interdisciplinary interaction in the learning process in which students receive both professional development and improve their knowledge of a foreign language deserves a positive assessment and can be recommended for use in the development of the educational environment.

### REFERENCES

1. Ministry of education and science (2013), *Deeds of the nutritional organization of the recruitment and training (internship) of the earth and that without the help of the Ministry of Education and Science of Ukraine*, Penalty dated 01.11.2013 No. 1541.
2. Savory, T.H. (1968), *The act of translation*, Jonathan Cape, London, 190 p.
3. Moschkovich, J. (2002), "A situated and sociocultural perspective on bilingual mathematics learners", *Mathematical thinking and learning*, No. 4(2-3), pp. 189–212.
4. Clarkson, P.C. (1992), "Language and mathematics: A comparison of bilingual and monolingual students of mathematics", *Educational Studies in Mathematics*, No. 23(4), pp. 417–429.
5. Davidson, N. (1990), *Cooperative Learning in Mathematics: A Handbook for Teachers*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Addison-Wesley Innovative Division, 2725 Sand Hill Rd., Menlo Park, CA 94025.
6. Gomez, L., Freeman, D. and Freeman, Y. (2005), "Dual Language Education: A promising 50-50 model", *Bilingual Research Journal*, Vol. 29, no. 1, pp. 145–164.
7. Moschkovich, J. (2007), "Using two languages when learning mathematics", *Educational studies in Mathematics*, No. 64(2), pp. 121–144.
8. Lindholm, Leary K. and Howard, E. (2008), "Language development and academic achievement in two-way immersion programs", TW Fortune & DJ Tedick (Eds.), *Pathways to Multilingualism: Evolving Perspectives on Immersion Education*, Oxford, UK, Blackwell, pp. 177–200.
9. Robertson, K. (2009), *Math instruction for English language learners*, Retrieved April, 21, available at: <https://rzywa.ga/math-instruction-for-english.pdf>
10. Setati, M. (2008), "Access to mathematics versus access to the language of power: The struggle in multilingual mathematics classrooms", *South African Journal of Education*, No. 28 (1), pp. 103–116.

11. Moschkovich, J. (2012), "Mathematics, the Common Core, and language: Recommendations for mathematics instruction for ELs aligned with the Common Core", *Commissioned papers on language and literacy issues in the Common Core State Standards and Next Generation Science Standards*, Stanford University, Stanford, CA 94305-3096, No. 94, pp. 17–30.
12. Donets, V., Kuchuk, N. and Shmatkov, S. (2018), "Development of software of e-learning information system synthesis modeling process", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No 2, pp. 117–121, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.20>
13. Zykov, I., Kuchuk, N. and Shmatkov, S. (2018), "Synthesis of architecture of the computer transaction management system e-learning", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 3, pp. 60–66, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>
14. Berdnik, P.G. (2018), "Interactive Augmentation of Learning Environment for International Students", *Opción*, Vol. 34, pp. 1378-1399.

Received (Надійшла) 29.03.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.05.2019

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Бердник Поліна Геннадіївна** – кандидат технічних наук, старший викладач, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна;

**Polina Berdnik** – Candidate of Technical Sciences, Senior Instructor, Kharkiv National University named after V.N. Karazin, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [bpqpm@gmail.com](mailto:bpqpm@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4022-5664>

#### Білінгвальний підхід до іноземного навчання іноземних студентів у Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна

П. Г. Бердник

**Анотація.** У статті розглядаються особливості викладання математики для іноземних студентів, які використовують англійську мову в якості мовного посередника у двомовній освіті на підготовчому факультеті Харківського національного університету імені Василя Назаровича Каразіна. Відзначено, що ключовою особливістю навчального матеріалу з математики, як інформації, є його мережева структура, утворена семантико-логічними зв'язками. Наведено варіанти розподілу рішень контрольних завдань. Аналізується процес попередньої оцінки іноземних студентів, програма навчання і логіка її створення. Описано процес організації двомовного навчання іноземних студентів на факультеті і його координації між викладачами. Представлений статистичний аналіз складу студентів, початкового рівня їх підготовки і обґрунтована найбільш ефективна стратегія навчання з використанням можливостей викладачів університету. Розглядається процес створення програми з дисципліни «Математика» з урахуванням того, що у студентів різний початковий рівень знань з математики. Відзначено, що застосування двомовного підходу до навчання і міждисциплінарної співпраці дозволяє іноземним студентам краще зрозуміти зміст дисципліни; отримати більше можливостей для уточнення складних моментів; розширити можливості для спільної роботи по розробці спільних рішень; відчувати себе комфортно при роботі з математичним апаратом. Зроблено висновки, що міждисциплінарний взаємодія в процесі навчання, в якому студенти отримують як розвиток, так і вдосконалення своїх знань іноземної мови, заслуговує на позитивну оцінку і може бути рекомендовано для використання в розвитку освітнього середовища.

**Ключові слова:** двомовна освіта; математика; англійська мова для спеціальних цілей; іноземні студенти; викладач.

#### Билингвальный подход к иностранному обучению иностранных студентов в Харьковском национальном университете имени В. Н. Каразина

П. Г. Бердник

**Аннотация.** В статье рассматриваются особенности преподавания математики для иностранных студентов, использующих английский язык в качестве языкового посредника в двуязычном образовании на подготовительном факультете Харьковского национального университета имени Василя Назаровича Каразина. Отмечено, что ключевой особенностью учебного материала по математике, как информации, является его сетевая структура, образованная семантико-логическими связями. Приведены варианты распределения решений контрольных заданий. Анализируется процесс предварительной оценки иностранных студентов, программа обучения и логика ее создания. Описан процесс организации двуязычного обучения иностранных студентов на факультете и его координации между преподавателями. Представлен статистический анализ состава студентов, начального уровня их подготовки и обоснована наиболее эффективная стратегия обучения с использованием возможностей преподавателей университета. Рассматривается процесс создания программы по дисциплине «Математика» с учетом того, что у студентов разный начальный уровень знаний по математике. Отмечено, что применение двуязычного подхода к обучению и междисциплинарному сотрудничеству позволяет иностранным студентам лучше понять содержание дисциплины; получить больше возможностей для уточнения сложных моментов; расширить возможности для совместной работы по разработке совместных решений; чувствовать себя комфортно при работе с математическим аппаратом. Сделаны выводы, что междисциплинарное взаимодействие в процессе обучения, в котором студенты получают как профессиональное развитие, так и совершенствование своих знаний иностранного языка, заслуживает положительной оценки и может быть рекомендовано для использования в развитии образовательной среды.

**Ключевые слова:** двуязычное образование; математика; английский язык для специальных целей; иностранные студенты; преподаватель.

V. Knyazev, A. Serkov, V. Breslavets, I. Yakovenko

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

## ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF SEMICONDUCTOR DEVICES EXPOSED TO TRANSITION RADIATION

**Abstract.** The **subject** of the paper is an analysis and a physical model of the occurrence of reversible failures in semiconductor diodes (when current-voltage characteristics of the devices are influenced by electromagnetic radiation (EMR)). The model is based on the mechanism with which the energy of currents induced by external EMR is converted into the energy of natural electromagnetic oscillations of solid-state components of radio units (transition radiation effect). The **aim** of the paper is to justify experimental studies on the basis of the proposed physical model of reversible failures (occurrence of negative resistance sections in current-voltage curve of semiconductor diodes). We determined external electromagnetic radiation and semiconductor device parameter ranges with which this physical model can be applied. We conducted some experiments to study the influence of pulsed electromagnetic radiation on the current-voltage characteristics of direct current diode sections. The experiments justified the presence of areas with negative differential resistance characteristic for the natural oscillation generation mode (an increase in forward current when the voltage drops). Our **objectives** are to perform experimental study of interactions between the currents induced by external EMR and electrostatic oscillations of a semiconductor structure. Such interactions results from conversion of energy of moving charges (induced currents) into energy of electromagnetic oscillations under conditions of transition radiation when the particle flux goes along the normal to a semiconductor structure boundary. The **methods** used are analytical methods, i.e. solving Maxwell's equations and medium equations in the framework of the hydrodynamic approach. The following **results** were obtained. Experimental studies of behavior of semiconductor components of electrical radio units exposed to strong pulsed electromagnetic fields have been carried out. The nature of changes in the performance of semiconductor components has been studied. It has been shown that the impact of pulsed electromagnetic radiation is accompanied by currents in the conductive elements of the units. We define here a certain type of reversible failures of semiconductor radio units. Failures of this type occur due to interaction between the external radiation induced currents and own fields of radio equipment components. Such failures occurs in presence of transition radiation (when the current is directed along the normal to the boundary of the unit). We argue that such interactions lead to energy losses in induced currents due to excitation of natural oscillations in the units, i.e. the units enters an oscillation generation mode, which is characterized by a change in the current-voltage characteristics of radio devices. With the results of comparative analysis of the experimental and calculated data obtained in this work, it is possible to use the proposed physical model of reversible failures and calculated derived relationships to determine criteria of occurrence and quantitative characteristics of reversible failures in semiconductor diodes exposed to pulsed electromagnetic radiation (occurrence of S-shaped sections of direct current). **Conclusion.** The results obtained can be used to assess electromagnetic compatibility of active electronic devices (millimeter/submillimeter amplifiers, generators and transducers of electromagnetic oscillations) exposed to external pulsed electromagnetic fields. A comparative analysis of quantitative estimates of reversible failures of semiconductor devices depending on the spatial configuration of the affecting field (the induced current is normal to the structure boundary) allows us to solve the problem of optimizing the degree of distortion in the operating characteristics of these devices.

**Keywords:** electromagnetic radiation; semiconductor structures; surface oscillations; charged particles; decrement of oscillations.

### Introduction

The whole variety of failures that occur in electronic equipment resulting from the impact of external factors is divided into categories: reversible and irreversible [1-3]. Irreversible failures lead to complete cease of equipment functioning. They occur when the changes in equipment internal parameters of the go beyond the permissible limits (when exposed to external electromagnetic radiation (EMI), irreversible failures usually occur due to thermal breakdown of components). Reversible failures are characterized by a temporary interrupt in functioning leading to a distortion in the output characteristics.

Available theoretical and experimental results of studies of the EMR impact on electrical radio equipment (ERE) mainly relate to irreversible failures [2]. At the same time, there are still many open questions as to what degree interaction between induced EMR currents and natural electromagnetic oscillations occurring directly in ERE components, may affect the performance of the ERE.

Meanwhile, interactions of this kind actually determine the degree of deviation of the output characteristics from the normal values and the possibility of recovery of component normal functioning, i.e. reversibility criteria for the failures.

Here we propose and verify a physical model of reversible failure occurrence in semiconductor diodes (from impact of electromagnetic-radiation-induced currents on current-voltage characteristics of the devices). This model is based on the mechanism converting the energy of currents induced by external EMR into the energy of natural electromagnetic oscillations of solid-state components of radio equipment (transition radiation effect). We also describe our experimental studies of the impact the pulsed electromagnetic radiation has on the current-voltage characteristics of direct current sections of diodes. The results of the comparative analysis of the experimental and calculated data obtained in this work make it possible to use the proposed physical model of reversible failures and the calculated ratios obtained on its basis to determine the criteria for occurrence of reversible failures as well as their quantitative characteristics.

### Task solution

**Problem formulation.** In [5], a model is proposed for converting the energy of currents induced by external EMR into the energy of natural electromagnetic oscillations of solid-state components of the ERE, which leads to the occurrence of reversible failures in the latter (temporary alterations in their performance).

The possibility of this energy conversion is determined by the effect of transition radiation. This effect takes place when the induced current (the direction vector of the affecting EMR electric field strength) is perpendicular to the boundaries of the semiconductor device (in particular, diode) and manifests itself in the following [4].

When a charge moves in a material medium, the produced electromagnetic field is determined not only by the magnitude of the charge and its speed, but also by the dielectric properties of the medium. If these properties change when a charge with a constant speed crosses the interface between the media (semiconductor structure), the field created by the charge changes, the field partially separates from the particle and the separated portion can be radiated into space. The resulting radiation received the name of transition radiation. As a result, the electromagnetic-radiation-induced particle flux passage through a semiconductor structure leads to continuous process that converts the energy of the charges into the energy of natural oscillations of the field. The structure switches to oscillation generation.

Thus, the electronic system loses some of its energy, i.e. an increase in current is accompanied by drop in voltage, which leads to negative resistance sections in the current-voltage curve. This mode (of generation and instable oscillation) is characteristic for exponential increase in the amplitude of the natural oscillations of the structure ( $\approx \exp(+\gamma t)$ ), where  $\gamma$  is the instability increment.

The results of beam instability studies (determination of instability increment) obtained in [5] let us to estimate the radiation energy of natural oscillations and to obtain the calculated relationships between the parameters of the impacting pulsed field, the semiconductor device parameters and the degree of deviation of device I-V curve within the direct current section.

The radiation power  $\Delta P_{rad}$  of natural oscillations of a semiconductor device exposed to an external field (in the presence of induced current) can be defined as particle flux translational motion energy loss (kinetic energy) during the passage of a particle flux through the surface wave field localization region.

$$\Delta P_{rad} = \Delta W_{kin} / \Delta t, \quad (1)$$

where  $\Delta W_{kin} = (mv^2/2) \cdot (n_{ob}V)$ ;  $mv^2/2$  is the kinetic energy of a particle of the beam induced by an external impulse;  $n_{ob}, v, e, m$  are respectively concentration, drift velocity, charge and mass of the beam electrons,  $V$  is the volume occupied by the induced current (the volume of the solid-state structure). In the beam

instability mode, the drift velocity  $v \approx v_0 \exp(+\gamma t)$ , therefore:

$$\Delta P_{rad} \approx mv_0^2 \gamma (n_{ob}V) \quad (2)$$

where  $\gamma \approx (\omega_b^2 / \omega_1^2) \cdot \tau^{-1}$  is the increment of the beam instability of the surface oscillations of a structure within the semiconductor device having natural frequency  $\omega_1$  (a surface polariton) [6];  $\omega_b = \sqrt{4\pi e^2 n_{ob} / m}$  is the plasma frequency of the electrons of the flux induced by the external electromagnetic radiation;  $\tau$  is the time the charge drifts through the oscillation localization region.

Thus, the energy  $\Delta W_{rad}$  radiated during  $\Delta t_{rad}$  – the time of exposure to an external EMR voltage pulse – is determined by the following equation:

$$\begin{aligned} \Delta W_{rad} &= \Delta P_{rad} \Delta t_{rad} = \\ &= mv_0^2 \gamma (\omega_b^2 / \omega_1^2) \cdot \tau^{-1} (n_{ob}V) \Delta t_{rad}. \end{aligned} \quad (3)$$

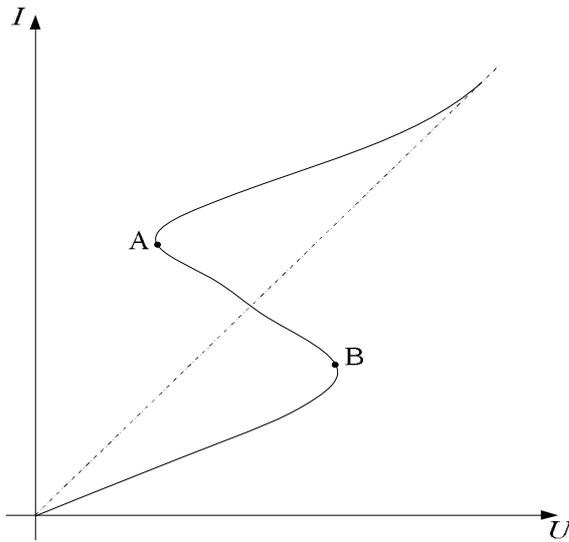
The parameters determining the value of  $\Delta W_{rad}$  can be estimated using the existing experimental relations between the characteristics of the currents induced in the structures under study [7–10] (i.e. concentration  $n_b$ , drift velocity  $v_0$  and Langmuir frequency  $\omega_b$  of the induced current electrons) and the parameters of the external pulsed electric field (amplitude  $E_0$  and duration  $\Delta t_{imp}$ ). Own frequencies

$\omega_1$  are determined by the parameters of the structure of the semiconductor device under study (carrier concentration, dielectric permittivity and dimensions). For high frequency and pulsed semiconductor diodes studied here, the frequencies  $\omega_1$  falls within the submillimeter range.

With relation (3), it is possible to estimate the energy losses the currents induced by external EMR experience due excitation natural oscillations of metal-semiconductor-dielectric structures constituting semiconductor diodes. It is obvious that the generation mode in semiconductor devices leads to the occurrence of S-shaped direct current sections with negative differential resistance on the I-V curves for the device [11] because negative resistance characterizes the amount of energy the solid-state electronic system losses with radiation - (Fig. 1, section A–B) i.e.

$$dR = \frac{dU}{dI} < 0; \quad dU < 0; \quad dI > 0.$$

Thus, due to the exposure to external electromagnetic radiation, an increase in the forward current is accompanied by a decrease in the voltage on the diode. The presence of a negative resistance region on the I-V curve characterizes the possibility that a kind of reversible failure occurred (temporary change in current-voltage characteristics) resulted from the transformation of the induced current energy into oscillation energy, which is radiated into the environment.



**Fig. 1.** I-V curve of the diode (direct current) (A–B is a distortion of the current-voltage characteristic due to exposure to EMR)

As a result, the energy loss of the induced current during the exposure to a voltage pulse  $\Delta t_{imp}$  in the experiment can be estimated by the following equation:

$$\Delta W_{rad} = \Delta P_{rad} \Delta t_{rad} = I_{rad} U_{rad} \Delta t_{rad} \quad (4)$$

where  $I_{rad}$  is the magnitude of the direct current of the diode in the section A–B (Fig. 1);  $U_{rad}$  is the voltage in the section A–B (Fig.1) during the exposure to external EMR.

**Objective:**

1. Experimental assessment of the degree of distortion of the current-voltage characteristics of semiconductor diodes exposed to external electromagnetic radiation.
2. Determination of the presence of negative resistance direct current sections, depending on the parameters of the diode and external EMR.
3. A comparative analysis of the calculated data obtained on the basis of the physical model and experimentally obtained data (Figure 1.)

**The object of the study** is the current-voltage characteristics of the following semiconductor devices exposed to pulsed electromagnetic radiation: a 2D922B planar silicon diode diode with Schottky barrier and a KD409A silicon epitaxial diode. These units are used in high-speed impulse devices for converting alternating voltage. Electrical characteristics and parameters of the diodes are provided in Table 1.

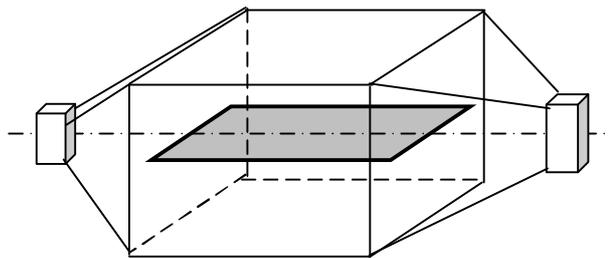
**The scheme of the experiment and its results.** Experimental studies of pulsed electromagnetic field impact on function of semiconductor devices have been carried out using Reference Standard of Ukraine for pulsed electric and magnetic fields (REMP Standard) developed at Molniya Research and Design Institute, NTU “KhPI” [6].

The experimental equipment consisted of a high-voltage pulsed power supply (HVPPS) being discharged to a field-forming system (FS) in the form of a symmetric closed stripline (SL) (Fig. 2).

**Table 1 – The Electrical Parameters of the Diodes and the Requirements to the REMP Parameters**

Characteristics			2D922B	KD409A
Electrical parameters	Direct reverse current, mA	T <sub>1</sub> =25°C	0,5 (U <sub>rev</sub> =10V)	same at U <sub>rev</sub> =24B
		T <sub>2</sub> =100°C	10 (U <sub>rev</sub> =10V)	
	Total capacity, pf		1,0 (U <sub>rev</sub> =0)	2,0 (U <sub>rev</sub> =15V)
	Inductance, nH		1,0	4,0
Performance Limitations	Constant reverse voltage, V		10	24
	Direct forward current, mA	T <sub>1</sub> =35°C	10	15
		T <sub>2</sub> =100°C		25
	Pulsed forward current, mA <i>t<sub>tr</sub></i> ≤ 10mcs, Q ≥ 10	T <sub>1</sub> =25°C	20	500
		T <sub>2</sub> =100°C		250
Ambient temperature, °C		-60° C to +100° C		

Parameter	Magnitude
1. Electric field strength, kV/m	from 10 <sup>-3</sup> to 200
2. Magnetic field strength, A/m	from 0,1 to 530
3. The duration of the pulse, ns, max.	1
4. Pulse duration at 0,5, mcs, max.	100
5. Working volume dimensions (length×width×height), mm, min.:	500×500×150



**Fig. 2.** Symmetric closed SL

The HVPPS generates discrete high voltage pulses with temporal parameters provided in Table 1, the amplitudes of these pulses to ensure generation of necessary levels of *E* and *H* fields taking into account FS transformation.

The main requirement to FS is to generate *E* and *H* fields with uniform structure, certain directions of field vectors and amplitudes that can be easily calculated from geometrical sizes of FS. Guidelines of the stripline type are the most suitable to this requirement.

A flat TEM-type electromagnetic wave propagates along the SL and has a definite direction of the vectors of *E* and *H* fields in any transverse section of the SL (Fig. 3). The SL dimensions determine the dimensions of the working volume where the test object is located (the connection circuit of a semiconductor diode). In this case, the dimensions of the SL are chosen in such a way that the wave impedance of the SL be 50 Ω.

During the experimental studies of EMR impact on the performance of semiconductor diodes, we used an SL-24 strip line with a height of 24 cm working with nanosecond pulses, since the mechanisms of external electromagnetic field influence studied here are implemented in this time range.

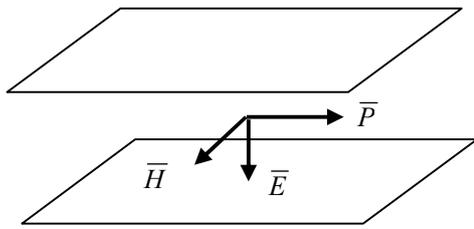


Fig. 3. The SL electromagnetic field vector directions.

In the experiments, one of the indicated diodes was sequentially connected to a direct current source and resistances, one of which ( $R_1$ ) allowed the current of the diode ( $I$ ) to be changed, and the other ( $R_2 = 50\Omega$ ) provided matching mode with a cable connection to an oscilloscope (recorder) (Fig. 4).

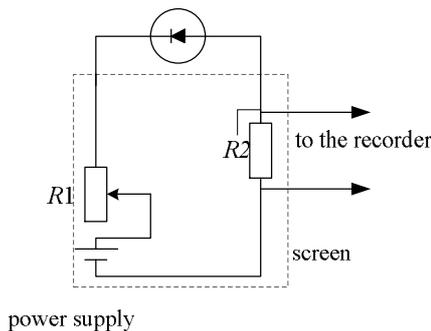


Fig. 4. The scheme of the experiment

The circuit, with the exception of the diode, was placed in a shielded volume and was taken out of the field-formation system (FFS). The object being exposed to a pulsed electromagnetic field (diode) was itself located between the plates of the stripline (Fig. 5). Fig. 5 shows the variants of the arrangement of the diode relative to the acting external field.

In the course of the experiment, we studied the influence of a pulsed electromagnetic field on current-voltage characteristic of the diode when the intensity vector of the external electric field is directed parallel to the direct current of the diode (this case corresponds to Cherenkov radiation mechanism), Fig. 6.

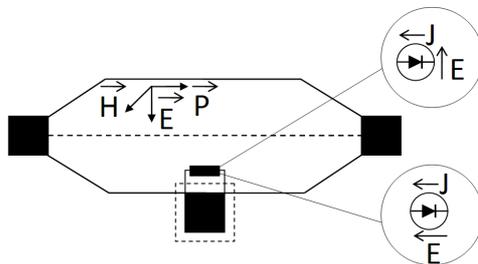


Fig. 5. Variants of the test object location within the field formation system

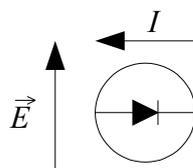


Fig. 6. The vector directions of the direct current diode and the external field under transition radiation

The direct forward current of diode  $I$  increased from 5 to 30 mA. The temporal parameters of a field strength pulse generated in the SL system:

- front duration - 0.5 ns;
- field strength pulse duration ( $\Delta t_{imp}$ ) - 500 ns.

During the experiment, we studied the effect of a pulsed electromagnetic field with field strength amplitudes  $E = 10, 20$  and  $30 \text{ kV/m}$  on the level of the resulting voltage pulse ( $U$ ) at the test object (diode).

Each step of increase in the current of the diode with an interval  $\Delta I = 5 \text{ mA}$  was accompanied by the impact of an EMR pulse in the field formation system.

The evolution of the amplitude of the voltage pulse ( $U$ ) at the diodes depending on the step-by-step change in the forward current ( $I$ ) with simultaneous exposure to an external EMR was recorded with an oscilloscope.

Thus, we obtained the ratios of the voltage pulse  $U$  amplitude to the level of direct current at diode  $I$  for each of the indicated levels of the applied EMR ( $E = 10, 20$  and  $30 \text{ kV/m}$ ) and determined the shapes of the corresponding sections of the I-V curve.

The ratios of the voltage pulse amplitudes to the levels of direct current at the diodes are provided in Table 2. The data obtained shows that with increase in the current a decrease in the amplitude of the voltage pulse is observed, which corresponds to the I-V curve section with negative resistance of oscillation generation region (section A–B in Fig. 1).

The indicated diode types were chosen for the experimental studies because the working range of their parameters (current and voltage within the direct bias section) with electric field strength pulse duration in order of several hundred ns and the pulse amplitude about 10–30 kV/m determines the range of the radiation energy of natural electromagnetic oscillations of the semiconductor structures of the device components to be  $10^{-7}$ – $10^{-9}$  J. The radiation energy determined on the basis of the proposed physical model of reversible failures of semiconductor devices falls within the same range.

Table 2 – Evolution of the voltage pulse amplitude  $U$  (mV) of KD409A epitaxial silicon diode and 2D922B silicon planar direct current diode with Schottky barrier as a function of  $I$  (mA)

KD409A Direct current diode I(mA)	Voltage pulse amplitude U(m V)		
	E=10 kV/m	E=20 kV/m	E=30 kV/m
5	950	1450	1650
10	930	1430	1620
15	910	1400	1600
20	840	1390	1580
25	800	1350	1450
30	740	1290	1410
2D922B Direct current diode I(mA)	Voltage pulse amplitude U(m V)		
	E=10 kV/m	E=20 kV/m	E=30 kV/m
5	1550	2950	3200
10	1520	2910	3150
15	1490	2870	3090
20	1450	2800	2950
25	1440	2760	2940
30	1410	2700	2820

The analysis of the current-voltage characteristics obtained experimentally indicates the presence of sections with negative differential resistance similar to the calculated direct current section of the physical model of reversible semiconductor device failures (section A–B in Fig. 1) because under the experimental conditions the increase in direct current was accompanied by a decrease in the total (including the external influence) voltage at the diode.

In this case, the deviation character of the current-voltage characteristic obtained during the experiment did not depend on the pulse amplitude of the impacting voltage.

This mode of growth of radiation energy of electromagnetic oscillations of semiconductor devices due to the energy of induced currents is, in our opinion, determined by the mechanisms of beam instabilities.

### Analysis

Let us present a comparative analysis of the values of radiation energy of natural oscillations of semiconductor diodes 2D922B and KD409A obtained experimentally and quantitative estimates of the magnitude of the radiation energy obtained by calculation based on the physical model of reversible failures of semiconductor devices proposed here.

It was found experimentally that an increase in the forward current of diode 2D922B within the range  $\Delta I \approx 5 - 30 \text{ mA}$  (the amplitude of the impulse of the acting voltage falls within  $E_0 \approx 10 - 30 \text{ kV/m}$ ) leads to a drop in the amplitude of the voltage pulse at the diode within  $\Delta U \approx 1550 - 2800 \text{ mV}$ . This means that a section with negative resistance appear on the I-V curve of the diode (section A–B in Fig. 1.)

When the pulse duration  $\Delta t_{imp} \approx 500 \text{ ns}$ , the range of radiation energy determined using equation (4)  $\Delta W_{rad} \approx 0,6 \cdot 10^{-9} - 1,2 \cdot 10^{-8} \text{ J}$ .

For KD409A diode, with similar parameters of the acting pulse and in the same direct current ranges, the drop in the voltage amplitude at the diode is within  $\Delta U \approx 950 - 1400 \text{ mV}$ , and the radiation energy is  $\Delta W_{rad} \approx 0,3 \cdot 10^{-9} - 0,8 \cdot 10^{-8} \text{ J}$ .

Let us determine now the energy losses of charged particle fluxes induced by external pulsed radiation, occurring due to the excitation of natural oscillations of solid-state structures, using the physical model of reversible failures proposed here (equation (3)).

The parameter levels that determine  $\Delta W_{rad}$  can be estimated using the existing experimental dependencies relating the induced current magnitude in silicon structures constituting the objects under study (diodes) [7] to the levels of external electric field strengths  $E_0$  (i.e., the concentration of electrons of the induced current (Langmuir frequency of electrons of the induced current  $\omega_b^2 = 4\pi e^2 n_b / m$ ) and drift speed  $v_0$ )).

When changing the parameters of the acting pulse, similar to that used in the experiment ( $E_0 \approx 10 - 30 \text{ kV/m}$ ,  $\Delta t_{imp} \approx 500 \text{ ns}$ ) for the studied

silicon diodes 2D922B and KD409A the values of the parameters falls within the following ranges:

$$n_b \approx 10^{10} - 10^{12} \text{ cm}^{-3}, \quad v_0 \approx 10^6 - 10^7 \frac{\text{cm}}{\text{s}},$$

$$\omega_b \approx 10^9 \text{ s}^{-1}.$$

The natural frequencies (surface polaritons) of the  $\omega_1$  structures constituting the diodes are determined from the magnitudes of the Langmuir oscillations  $\omega_0 = \sqrt{4\pi e^2 n_0 / m}$ , i.e. electron concentration  $n_0$  in semiconductor component constituting the diodes:

$$\omega_1 \approx \omega_0 \approx 10^{10} - 10^{11} \text{ s}^{-1} [7].$$

While the value of  $\Delta W_{rad}$  is  $10^{-7} - 10^{-9} \text{ J}$  according to (3).

The comparative analysis of the experimental and calculated data shows that the transition radiation energy for the studied semiconductor devices (diodes) is determined by one order of magnitude  $\Delta W_{rad} \approx 10^{-7} - 10^{-9} \text{ J}$  with a general tendency of increase in the radiation energy depending on the physical parameters of the component materials and characteristics (amplitude increase) of the applied voltage pulse.

### Conclusions

1. We have justified the experimental procedure for studying a physical model proposed in [5] and describing the occurrence of reversible failures (the effects the current induced by electromagnetic radiation has on current-voltage characteristics of semiconductor devices). We have also determine the ranges of external electromagnetic radiation parameter values at which this physical model can be applied (electric field strength amplitude  $E < 100 \text{ kV/m}$  and pulse duration

$$\Delta t_{imp} \approx 10^2 - 10^3 \text{ ns}).$$

2. The experimental studies were performed to determine the impact pulsed electromagnetic radiation (with electric field strength amplitude  $E \approx 10 - 30 \text{ kV/m}$  and pulse duration  $\Delta t_{imp} \approx 500 \text{ ns}$ ) has on the current-voltage characteristics of direct current sections of diodes (namely 2D922B silicon planar diode with a Schottky barrier and KD409A silicon epitaxial diode). They revealed the presence of negative differential resistance sections in the curve, characterizing the mode of generation of natural oscillations in these devices (increase in direct current accompanying the voltage drops)

The results of a comparative analysis of the experimental and the calculated data obtained here make it possible to use the proposed physical model of reversible failures and the calculated relationships derived from it to determine the criteria for the occurrence of reversible failures in semiconductor diodes exposed to pulsed electromagnetic radiation (the occurrence of S-shaped sections of direct current curve) and quantitative characteristics of such failures.

## REFERENCES

1. Beletsky, N.N., Svetlichny, V.M., Halameida, D.D. and Yakovenko, V.M. (1991), *Electromagnetic phenomena of the microwave range in inhomogeneous semiconductor structures*, Naukova Dumka, Kyiv, 216 p.
2. Zi C. (1984), *Physics of semiconductor devices*, Mir, Moscow, 456 p.
3. Mikhailov, M.I., Razumov, L.D. and Sokolov, S.A. (1979), *Electromagnetic effects on communication facilities*, Radio and communication, Moscow, 225 p.
4. Steele, M. and Vyural, B. (1973), *Wave interaction in a solid-state plasma*, Atomizdat, Moscow, 312 p.
5. Myrova, L.O. and Chepizhenko, A.Z. (1988), *Ensuring the durability of communication equipment to ionizing electromagnetic radiation*, Radio and communication, Moscow, 235 p.
6. Kravchenko, V.I., Yakovenko, V.I., Yakovenko, I.V. and Losev, F.V. (2009), "Influence of third-party electromagnetic radiation on the waveguide characteristics of semiconductor components of electrical radio products", *Bulletin of NTU "KPI"*, No. 11, pp. 62–69.
7. Kravchenko, V.I., Yakovenko, I.V. and Losev, F.V. (2012), "Excitation of electromagnetic oscillations in 2-D electronic structures by currents induced by external radiation", *Bulletin of NTU "KPI"*, No. 21, pp. 154–161.
8. Kravchenko, V.I., Yakovenko, I.V. and Losev, F.V. (2012), "Generation of electromagnetic oscillations of a semiconductor structure under conditions of third-party electromagnetic effects", *Bulletin of NTU "KPI"*, No. 21, pp. 161–169.
9. Kravchenko, V.I., Yakovenko, I.V. and Losev, F.V. (2013), "The influence of the flow of charged particles. Induced by external electromagnetic radiation, on the waveguide characteristics of semiconductor components of electrical radio products", *Bulletin of NTU "KPI"*, No. 27, pp. 83–89.
10. Kravchenko, V.I., Yakovenko, I.V. and Losev, F.V. (2013), "Attenuation of surface oscillations of semiconductor structures of electrical radio products under the influence of external electromagnetic radiation", *Bulletin of NTU "KPI"*, No. 27, pp. 96–103.
11. Kravchenko, V.I., Yakovenko, I.V. and Losev, F.V. (2013), "Kinetic mechanisms of interaction of surface vibrations with conduction electrons of semiconductor structures under the influence of external electromagnetic radiation", *Bulletin of NTU "KPI"*, No. 27, pp. 103–111.

Received (Надійшла) 10.04.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.05.2019

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Князєв Володимир Володимирович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник науково-дослідного відділу «Електромагнітна сумісність та безпека» науково-дослідного і проектно-конструкторського інституту «Молнія», Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

**Volodymyr Knyazev** – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of Scientific and Technical Information "Electromagnetic compatibility and safety" NDPKI "Molniya", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [knyzevvv@ukr.net](mailto:knyzevvv@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7119-7790>

**Серков Олександр Анатолійович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри систем інформації, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

**Aleksandr Serkov** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Information Systems Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [saa@kpi.kharkov.ua](mailto:saa@kpi.kharkov.ua); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6446-5523>

**Бреславець Віталій Сергійович** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри систем інформації, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

**Vitaliy Breslavets** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Information Systems Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [bresl23@ukr.net](mailto:bresl23@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9954-159X>

**Яковенко Ігор Володимирович** – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри систем інформації, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

**Igor Yakovenko** – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Professor of Information Systems Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [yakovenko60iv@ukr.net](mailto:yakovenko60iv@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0963-4347>

**Електромагнітна сумісність напівпровідникових приладів в умовах перехідного випромінювання**

В. В. Князєв, О. А. Серков, В. С. Бреславець, І. В. Яковенко

**Анотація.** Предметом вивчення є аналіз процесів і фізична модель виникнення оборотних відмов напівпровідникових діодів (впливу наведених електромагнітним випромінюванням (ЕМВ) струмів на вольт-амперні характеристики приладів). Дана модель базується на механізмі перетворення енергії наведених зовнішнім ЕМІ струмів в енергію власних електромагнітних коливань твердотільних комплектуючих радіовиробів (ефекті перехідного випромінювання). **Мета** - обґрунтування постановки експериментальних досліджень на базі запропонованої фізичної моделі оборотних відмов (появи областей вольт-амперних характеристик напівпровідникових діодів з негативним опором). Визначено області параметрів зовнішнього електромагнітного випромінювання і напівпровідникових приладів при яких реалізується дана фізична модель. Проведено експериментальні дослідження впливу імпульсного електромагнітного випромінювання на вольт - амперні характеристики ділянок прямого струму діодів. Вони показали наявність ділянок з негативним диференціальним опором, що характеризують режим генерації власних коливань (збільшення прямого струму при падінні напруги). **Завдання:** експериментальні дослідження взаємодії наведених

зовнішнім ЕМІ струмів з електростатичними коливаннями напівпровідникової структури, заснована на реалізації перетворення енергії рухомих зарядів (наведених струмів) в енергію електромагнітних коливань в умовах перехідного випромінювання, коли потік частинок рухається по нормалі до межі напівпровідникової структури. Використовували методи: аналітичні методи рішення рівнянь Максвелла і рівнянь середовища в рамках гідродинамічного підходу. Отримані наступні **результати**: Проведено експериментальні дослідження функціонування напівпровідникових комплектуючих електрорадіовиробів в умовах впливу сильних імпульсних електромагнітних полів. Вивчено характер змін працездатності напівпровідникових комплектуючих елементної бази технічних засобів. Показано, що вплив імпульсного електромагнітного випромінювання супроводжується виникненням струмів в провідних елементах виробів. Визначено один з типів оборотних відмов напівпровідникової елементної бази електрорадіовиробів, заснований на взаємодії струмів, наведених зовнішнім випромінюванням, з власними полями структур, комплектуючих виробів. Подібні відмови реалізуються в умовах перехідного випромінювання (струм спрямований по нормалі до межі структури). Показано, що дана взаємодія проводить до енергетичних втрат наведених струмів на збудження власних коливань структури, тобто появи режиму генерації коливань, який характеризується зміною вольт - амперних характеристик радіовиробів. Результати порівняльного аналізу, отриманих в даній роботі експериментальних і розрахункових даних, дозволяють використовувати запропоновану фізичну модель оборотних відмов і отримані на її основі розрахункові співвідношення для визначення критеріїв виникнення і кількісних характеристик оборотних відмов напівпровідникових діодів в умовах впливу імпульсного електромагнітного випромінювання. (Появі S-подібних ділянок прямого струму). **Висновки**. Результати, отримані в роботі, можуть бути використані при оцінці електромагнітної сумісності активних радіоелектронних приладів (підсилювачів, генераторів і перетворювачів електромагнітних коливань міліметрового та субміліметрового діапазонів) в умовах впливу зовнішніх імпульсних електромагнітних полів. Проведений в роботі порівняльний аналіз кількісних оцінок оборотних відмов напівпровідникових приладів в залежності від просторової конфігурації впливає поля (наведений струм нормальний кордоні структури) дозволяє вирішувати задачі оптимізації ступеня спотворення робочих характеристик даних приладів.

**Ключові слова:** електромагнітне випромінювання; напівпровідникової структури; поверхневі коливання; заряджені частинки; декремент коливань.

#### Электромагнитная совместимость полупроводниковых приборов в условиях переходного излучения

В. В. Князев, А. А. Серков, В. С. Бреславец, И. В. Яковенко

**Аннотация.** Предметом изучения является анализ процессов и физическая модель возникновения обратимых отказов полупроводниковых диодов (влияния наведенных электромагнитным излучением (ЭМИ) токов на вольт-амперные характеристики приборов). Данная модель базируется на механизме преобразования энергии наведенных внешним ЭМИ токов в энергию собственных электромагнитных колебаний твердотельных комплекующих радиоизделий (эффекте переходного излучения). **Цель** - обоснование постановки экспериментальных исследований на базе предложенной физической модели обратимых отказов (появления областей вольт-амперных характеристик полупроводниковых диодов с отрицательным сопротивлением). Определены области параметров внешнего электромагнитного излучения и полупроводниковых приборов при которых реализуется данная физическая модель. Проведены экспериментальные исследования влияния импульсного электромагнитного излучения на вольт - амперные характеристики участков прямого тока диодов. Они показали наличие участков с отрицательным дифференциальным сопротивлением, характеризующие режим генерации собственных колебаний (увеличение прямого тока при падении напряжения). **Задача:** экспериментальные исследования взаимодействия наведенных внешним ЭМИ токов с электростатическими колебаниями полупроводниковой структуры, основанная на реализации преобразования энергии движущихся зарядов (наведенных токов) в энергию электромагнитных колебаний в условиях переходного излучения, когда поток частиц движется по нормали к границе полупроводниковой структуры. Используются **методы:** аналитические методы решения уравнений Максвелла и уравнений среды в рамках гидродинамического подхода. Получены следующие **результаты:** Проведены экспериментальные исследования функционирования полупроводниковых комплекующих электрорадиоизделий в условиях воздействия сильных импульсных электромагнитных полей. Изучен характер изменений работоспособности полупроводниковых комплекующих элементной базы технических средств. Показано, что влияние импульсного электромагнитного излучения сопровождается возникновением токов в проводящих элементах изделий. Определен один из типов обратимых отказов полупроводниковой элементной базы электрорадиоизделий, основанный на взаимодействии токов, наведенных внешним излучением, с собственными полями структур, комплекующих изделие. Подобные отказы реализуются в условиях переходного излучения (ток направлен по нормали к границе структуры). Показано, что данное взаимодействие приводит к энергетическим потерям наведенных токов на возбуждение собственных колебаний структуры, т.е. появлению режима генерации колебаний, который характеризуется изменением вольт - амперных характеристик радиоизделий. Результаты сравнительного анализа, полученных в настоящей работе экспериментальных и расчетных данных, позволяют использовать предложенную физическую модель обратимых отказов и полученные на её основе расчетные соотношения для определения критериев возникновения и количественных характеристик обратимых отказов полупроводниковых диодов в условиях воздействия импульсного электромагнитного излучения. (появлению S -образных участков прямого тока). **Выводы.** Результаты, полученные в работе, могут быть использованы при оценке электромагнитной совместимости активных радиоэлектронных приборов (усилителей, генераторов и преобразователей электромагнитных колебаний миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов) в условиях воздействия внешних импульсных электромагнитных полей. Проведенный в работе сравнительный анализ количественных оценок обратимых отказов полупроводниковых приборов в зависимости от пространственной конфигурации воздействующего поля (наведенный ток нормален границе структуры) позволяет решать задачи оптимизации степени искажения рабочих характеристик данных приборов.

**Ключевые слова:** электромагнитное излучение; полупроводниковые структуры; поверхностные колебания; заряженные частицы; декремент колебаний.

Н. Г. Кучук<sup>1</sup>, С. Ю. Гавриленко<sup>1</sup>, Н. В. Лукова-Чуйко<sup>2</sup>, В. В. Собчук<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

<sup>2</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

<sup>3</sup> Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк, Україна

## ПЕРЕРОЗПОДІЛ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ У ГІПЕРКОНВЕРГЕНТНІЙ СИСТЕМІ

При вирішенні завдань управління структурою системи віртуальних каналів зв'язку (СВКЗ) виникає завдання оптимального розподілу навантаження з метою забезпечення необхідної якості обслуговування її абонентів. **Предметом дослідження** є структура системи віртуальних каналів зв'язку. **Мета дослідження** – розроблення методу оперативної реконфігурації системи віртуальних каналів зв'язку, що забезпечить зниження середньої величини затримки у мережі на гіперконвергентній платформі в порівнянні зі статичним розподілом. **Результати.** Для вирішення завдання оперативної реконфігурації СВКЗ при зміні ситуації на мережі використано мінімаксий критерій. Оптимізаційна задача сформульована таким чином: знаходження такого розподілу пропускних здатностей віртуальних каналів зв'язку для нової структури СВКЗ, тобто визначення вектора пропускних здатностей віртуальних каналів зв'язку, при якому мінімізується максимальне значення коефіцієнта використання фізичного каналу зв'язку в мережі. Запропонований алгоритм розв'язання поставленої задачі оптимізації. **Висновки.** Оперативна реконфігурація системи віртуальних каналів зв'язку, що мінімізує максимальне значення коефіцієнта використання фізичних каналів зв'язку, при зміні навантаження СВКЗ в процесі її експлуатації, призводить до зниження середньої величини затримки. Перевагами запропонованого алгоритму в порівнянні з існуючими є забезпечення перерозподілу пропускної здатності ресурсів мережі цілочисельними блоками і врахуванням можливостей гіперконвергентної платформи та фізичних каналів зв'язку, на базі яких будується мережа віртуальних каналів зв'язку.

**Ключові слова:** віртуальний канал зв'язку, гіперконвергентна система, пропускна здатність, інформаційний потік.

### Вступ

**Аналіз проблеми та наукових публікацій.** Як відомо, на сьогодні все більше підприємств, фірм та навчальних закладів при організації корпоративних мереж віддають перевагу конвергентним і гіперконвергентним платформам [1, 2]. Інфраструктура, що створена на конвергентній платформі, передбачає об'єднання пам'яті, обчислювальних і мережних ресурсів у пул, заздалегідь сконфігурованих для роботи в дата-центрі [3], при гіперконвергентній інфраструктурі обчислювальні потужності, сховища, сервери, мережі об'єднуються в одне ціле за допомогою програмних засобів, а управління ними відбувається через загальну консоль адміністрування [4, 5]. Основні переваги гіперконвергентної системи – суттєве зниження витрат на адміністрування системи, можливість збільшення обчислювальних ресурсів системи без переналадження програмних та апаратних засобів. Але централізоване управління потребує більш складних процедур управління ресурсами системи. Зокрема виникає питання оперативної реконфігурації системи віртуальних каналів зв'язку, тобто зміни її структури [6].

При вирішенні завдань управління структурою системи віртуальних каналів зв'язку (СВКЗ) виникає завдання оптимального розподілу навантаження з метою забезпечення необхідної якості обслуговування її абонентів. Приводами для виконання функцій управління оперативною реконфігурацією СВКЗ може служити така ситуація, при якій за середній час передачі повідомлення по мережі не забезпечується необхідна пропускна здатність, якість обслуговування абонентів, ефективність використання ресурсів мережі тощо.

На сьогодні розроблені і широко використовуються досить багато методів визначення оптимального за обраними критеріями вектора пропускних здатностей віртуальних каналів зв'язку: точні методи, запропоновані в роботах [7–11]; наближені, що дозволяють отримувати локальні оптимальні рішення [12–14]; чисельні і евристичні методи, що враховують специфіку базової мережі [15, 16]. Перераховані методи для оптимізації обсягу ресурсів при управлінні СВКЗ не в повній мірі враховують дискретний характер мережних ресурсів і можливості системи фізичних каналів зв'язку, на якій реалізується СВКЗ. Також низка припущень, зроблених у публікаціях [17–24], присвячених оптимізації пропускних здатностей мереж передачі даних, спрощують інтерпретацію результатів, але доволі часто не відповідає реальним умовам функціонування мережі. Особливо це помітно при аналізі гіперконвергентних систем [2]. Отже, необхідно розробити метод оперативної реконфігурації системи віртуальних каналів зв'язку, який буде враховувати особливості гіперконвергентних систем.

**Постановка завдання.** Метою статті є розроблення методу оперативної реконфігурації системи віртуальних каналів зв'язку, що забезпечить зниження середньої величини затримки у мережі на гіперконвергентній платформі в порівнянні зі статичним розподілом.

### 1. Результати теоретичних досліджень

Нехай центр управління гіперконвергентною мережею формує інформаційні потоки між  $N_z$  вузлами, використовуючи  $L$  каналів зв'язку. Повідомлення, що передаються між кожною парою суміжних вузлів, утворюють інформаційний потік. Топо-

логія мережі і характеристики потоків, що надходять на обслуговування, відомі. Для передачі кожного потоку задається деяка множина маршрутів – кандидатів), з якої для передачі потоку формується один віртуальний канал, тобто використовується тільки один шлях. Також припустимо, що ємність накопичувача в транзитних вузлах мережі необмежена; а процес надходження повідомлень в мережу має пуассонівський розподіл. Затримка поширення повідомлень каналами зв'язку незначна і при обробці в транзитних вузлах повідомлення не затримується. Кожний  $\ell$ -й канал зв'язку має пропускну здатність  $C_\ell$ ,  $\ell = \overline{1, L}$  і описується однолінійною системою масового обслуговування М/М/1. На кожен канал зв'язку надходить пуассонівський потік повідомлень інтенсивністю  $\lambda(\ell)$ ,  $\ell = \overline{1, L}$ :

$$\lambda(\ell) = \sum_{r \in \{n_\ell\}} \lambda_r, \quad (1)$$

де  $\lambda_r$  – інтенсивність  $r$ -го потоку ( $r = \overline{1, R}$ ,  $\{n_\ell\}$  – множина потоків, що використовують  $\ell$ -й канал зв'язку,  $R$  – кількість потоків, що передаються мережею, при цьому довжини повідомлень має експоненційний розподіл, а очікувана довжина повідомлень визначається як  $1/\mu$

Затримку на каналі зв'язку  $D(\ell)$  і ймовірність використання лінії зв'язку  $P_\ell$  можливо визначити таким чином [19]:

$$D(\ell) = \frac{1}{\mu C_\ell - \lambda(\ell)} = \frac{1}{\mu C_\ell (1 - P_\ell)}; \quad (2)$$

$$P_\ell = \frac{\lambda(\ell)}{\mu C_\ell}, \quad \ell = \overline{1, L}.$$

Наскрізна затримка між кожною парою взаємодіючих каналів зв'язку визначається як зважена сума очікуваних затримок на каналі зв'язку. Середню величину затримки повідомлення  $T$  в мережі можна визначити як [19, 21]:

$$T = \sum_{\ell=1}^L \frac{\lambda(\ell)}{\gamma} \cdot D(\ell) = \sum_{\ell=1}^L \frac{\lambda(\ell)}{\gamma} \cdot \frac{1}{\mu C_\ell - \lambda(\ell)} \quad (3)$$

$$\text{або} \quad T = \sum_{\ell=1}^L \frac{\lambda(\ell)}{\gamma} \cdot \frac{1}{\mu C_\ell (1 - P_\ell)} = \frac{1}{\gamma} \sum_{\ell=1}^L \frac{P_\ell}{1 - P_\ell}, \quad (4)$$

де  $\gamma = \sum_{r=1}^R \lambda_r$  – сумарний потік, що надходить в мережу на обслуговування.

Для вирішення завдання зміни пропускних здатностей віртуальних каналів зв'язку за рахунок реконфігурації СВКЗ можна використовувати підхід, розроблений в [22]. Він полягає в наступному. Мережа зв'язку представляється у вигляді сукупності вузлів СВКЗ  $\{Z_i\}$ ,  $i = \overline{1, N}$ , де  $N$  – кількість вузлів СВКЗ. На кожному вузлі СВКЗ може бути утворений локальний ресурс певної пропускної здатності  $C_i = C_{Z_i}$ ,  $i = \overline{1, N}$ .

З кожного вузла СВКЗ  $\{Z_i\}$ ,  $i = \overline{1, N}$  може виходити  $g_i$  напрямків (магістралей) і входити  $h_i$  на

прямків зв'язку, за якими розподіляється пропускну здатність  $C_{Z_i}$ . Тому розмірність кросового комутатора на вузлі кросової комутації складає  $\eta \cdot \eta$ , де  $\eta$  – кількість каналів зв'язку відповідного комутатора,

$$\eta = \sum_{i=1}^N g_i = \sum_{i=1}^N h_i \quad (5)$$

Розподіл ємностей  $C_{Z_i}$  по каналах зв'язку СВКЗ можна визначити матрицею

$$\|n_{ij}\|, \quad j = \overline{1, N_i}, \quad (6)$$

де  $n_{ij}$  – пропускну здатність каналу зв'язку  $(i, j)$  між вузлами  $Z_i$  і  $Z_j$ .

Для забезпечення максимальної пропускної здатності СВКЗ при зміні ситуації на мережі необхідно перерозподілити ємності  $C_{Z_i}$  так, щоб були виконані такі умови:

$$\sum_{j=1}^N n_{ij} = g_i Q_i = C_{Z_i}; \quad \sum_{i=1}^N n_{ij} = h_j Q_j = C_{Z_j}, \quad (7)$$

де  $Q_i$  ( $Q_j$ ) – пропускну здатність вихідного (вхідного) напрямки вузла  $Z_i$  ( $Z_j$ ).

Вимоги (7) можна задовольнити, якщо знайти таку квадратну матрицю

$$M = \|m_{ij}\|, \quad i, j = \overline{1, \eta}, \quad (8)$$

щоб були виконані такі умови:

$$\sum_{i \in A_k} \sum_{j \in B_\ell} m_{ij} = n_{k\ell}; \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^{\eta} m_{ij} = Q_i; \quad \sum_{i=1}^{\eta} m_{ij} = Q_j, \quad (10)$$

де  $m_{ij}$  – ціле невід'ємне число;  $A_k$  – множина вихідних напрямків з вузла  $Z_k$ ;  $B_\ell$  – множина напрямків, що входять у вузол  $Z_\ell$ .

Для знаходження матриці  $M$  введемо допоміжну булеву матрицю

$$\Omega = \|\omega_{ij}\|, \quad i, j = \overline{1, \eta}, \quad (11)$$

яка визначає стан кросуючого комутатора таким чином: елементи матриці  $\Omega$  приймають значення 0 або 1,  $\omega_{ij} = 1$ , якщо напрямком, що виходить з вузла  $Z_i$ , кросується з напрямком, що входять у вузол  $Z_j$ ; в кожному рядку (стовпці) цієї матриці тільки один елемент буде дорівнює одиниці, решта – нулю. Тоді розподіл ємностей  $C_{Z_i}$  по лініях зв'язку, що задовольняє умовам (7), (9), (10), визначається деяким набором булевих матриць:

$$M = \Omega_1 + \Omega_2 + \dots + \Omega_{C/m}, \quad (12)$$

де  $m$  – мінімальний розмір каналного блоку.

Для вирішення завдання оперативної оптимальної реконфігурації СВКЗ при зміні ситуації на

мережі використовуємо мінімаксий критерій. Таким чином, розглянута задача буде полягати в знаходженні такого розподілу пропускних здатностей віртуальних каналів зв'язку для нової структури СВКЗ (визначення вектора пропускних здатностей віртуальних каналів зв'язку  $\|n_{ij}\|, j=1, N_i$ , при якому мінімізується максимальне значення коефіцієнта використання фізичного каналу зв'язку в мережі). З урахуванням вищевикладеного запишемо оптимізаційну задачу на базі мінімаксного критерію:

$$\min_{i, \gamma=1, N} \max \{P_{i,j}\}. \quad (13)$$

при таких обмеженнях:

$$\sum_{j=1}^N n_{i,j} = C_{Zi}; \quad \sum_{i=1}^N n_{i,j} = C_{Zj}. \quad (14)$$

При цьому повинні виконуватися такі умови:

1) заданий вектор потоків, що надходять в мережу  $\lambda_r, r = \overline{1, R}$ , де  $R$  – кількість пар вузлів в мережі, між якими циркулюють інформаційні потоки;

2) заданий план розподілу потоків в мережі.

Величина  $P_{i,j}$  в (13) визначається як

$$P_{i,j} = \frac{\lambda(i, j)}{\mu \cdot n_{i,j}},$$

де  $\lambda(i, j)$  – сумарний потік віртуального каналу зв'язку, що з'єднує вузли  $Z_i$  і  $Z_j$ , створований всіма потоками, що використовують даний канал зв'язку відповідно до заданого плану розподілу потоків, а  $n_{i,j}$  – пропускна здатність даної лінії зв'язку.

Якщо оптимальний план за даним критерієм розподілу потоків не заданий, то можливо скористатися методом, наведеним у [23], що забезпечує вибір одного шляху з деякої множини маршрутів для обслуговування кожного потоку, при якому мінімізується максимальне значення коефіцієнта використання каналу зв'язку СВКЗ.

## 2. Алгоритм та результати експериментальних досліджень

Для зменшення складності алгоритму та спрощення експерименту введемо таке обмеження: всі пропускні здатності дорівнюють  $C, C_{Zi} = C$ .

Алгоритм розв'язання задачі оптимізації включає такі операції:

1. Визначити значення  $\lambda(i, j), i, j = \overline{1, N}$  відповідно до обмежень (14) та наведених умов 1 та 2.

2. Задати початкові значення вектора  $\{n_{i,j}^0\}; i, j = \overline{1, N}$ . В якості початкового значення можна використовувати величину

$$n_{i,j}^0 = \{[\lambda(i, j) / m] + 1\} m, \quad (15)$$

де  $m$  – розмір мінімального блоку обміну інформацією в мережі ( $m, [ ]$  – цілі невід'ємні величини).

3. Підготувати допоміжну булеву матрицю  $\Omega = \|\omega_{ij}\|, i, j = \overline{1, N}$ .

4. Обчислити значення коефіцієнта використання лінії зв'язку в мережі

$$P_{k,\ell} = f\{\lambda(k, \ell), n_{k,\ell}\}, \quad k, \ell = \overline{1, N}. \quad (16)$$

5. Із множини пар індексів, що визначають канали зв'язку, вибрати пару  $(p, q)$ , що відповідає максимальному значенню  $P_{p,q}$ , вибраному із множини  $P_{k,\ell}, k, \ell = \overline{1, N}$ . Значення відповідного елемента  $\omega_{pq}$  в матриці  $\Omega$  збільшити на 1 і перейти до пункту 6, якщо при виконанні цієї операції в кожному рядку і в кожному стовпці матриці  $\Omega$  буде не більше одного елемента, що дорівнює одиниці; в іншому випадку перейти до пункту 3.

6. Обчислити нові значення за формулою:

$$n_{p,q}^t = n_{p,q}^{t-1} + \omega_{pq}^t \cdot m. \quad (17)$$

7. Перевірити виконання обмеження (16): а) якщо ця умова не виконується, то перейти до пункту 4; б) якщо умова виконується, то закінчити обчислення.

Замість цільової функції (13) при пошуку оптимального розподілу можна використовувати такі співвідношення:

$$C_{\text{lozm}} = \frac{\lambda(\ell)}{\mu} + C_{\Sigma}(1 - P_{\ell}) \sqrt{\frac{\lambda(\ell)}{\mu}} / \sum_{j=1, j \neq \ell}^L \lambda_j; \quad (18)$$

$$P_{\text{cp}} C_{\Sigma} = \sum_{\ell=1}^L \lambda(\ell) / \mu, \quad (19)$$

де  $C_{\text{lozm}}$  – зміна пропускних здатностей каналів зв'язку за законом квадратного кореня.

Оперативна реконфігурація системи віртуальних каналів зв'язку, що мінімізує максимальне значення коефіцієнта використання фізичних каналів зв'язку, при зміні навантаження СВКЗ в процесі її експлуатації, призводить до зниження середньої величини затримки  $T$ .

На рис. 1 представлена залежність середньої величини затримки від навантаження мережі (за умови, що  $\sum_{\ell=1}^L C_{\ell} = C_1 = \text{const}$ ).

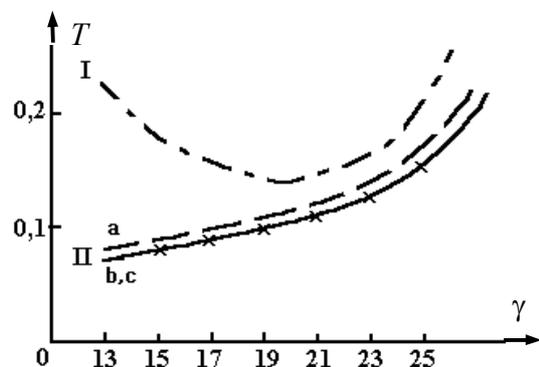


Рис. 1. Залежність середньої величини затримки від навантаження мережі,  $C_1 = 36$  Мб/с;

I – статичний розподіл пропускної здатності;

II – зміна пропускної здатності при зміні навантаження: а – пропорційно  $\lambda(\ell)$ ;

б – за наведеним алгоритмом із цільовою функцією (20)

с – за наведеним алгоритмом із цільовою функцією (15)

Як видно з рис. 1, перерозподіл ресурсів мережі при зміні її навантаження забезпечує зниження середньої величини затримки на мережі в порівнянні зі статичним розподілом.

Крім того, забезпечується більш рівномірний розподіл затримки по каналах зв'язку.

В цьому випадку міра рівномірності розподілу затримки  $F$ , що визначається відповідно до [19] як

$$F = \frac{1}{T^2} \sum_{\ell=1}^L \frac{\lambda(\lambda)}{\gamma} \{D(\ell) - T\}^2, \quad (21)$$

приблизно дорівнює нулю.

Крім того, розподіл пропускної здатності за мінімальним критерієм (15) близький до розподілу за законом квадратного кореня.

### Висновок

Запропонований метод оперативної реконфігурації системи віртуальних каналів зв'язку, який

забезпечує зниження середньої величини затримки у мережі на гіперконвергентній платформі в порівнянні зі статичним розподілом. Розроблений алгоритм реалізації даного методу. Оперативна реконфігурація системи віртуальних каналів зв'язку, що мінімізує максимальне значення коефіцієнта використання фізичних каналів зв'язку, при зміні навантаження СВКЗ в процесі її експлуатації, призводить до зниження середньої величини затримки. Перевагами запропонованого алгоритму в порівнянні з існуючими є забезпечення перерозподілу пропускної здатності ресурсів мережі цілочисельними блоками і врахування можливостей гіперконвергентної платформи та фізичних каналів зв'язку, на базі яких будується мережа віртуальних каналів зв'язку.

**Напрямок подальших досліджень** – реалізація запропонованого алгоритму зі зняттям обмежень за пропускною здатністю окремих каналів у гіперконвергентному середовищі.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шматков С. І. Модель інформаційної структури гіперконвергентної системи підтримки електронних обчислювальних ресурсів університетської e-learning / С. І. Шматков, Н. Г. Кучук, В. В. Донець // Системи управління, навігації та зв'язку : науковий журнал. – Полтава : ПНТУ, 2018. – Вип. 2 (48). – С. 97-100.
2. Merlac V. Resources Distribution Method of University e-learning on the Hyperconvergent platform / V. Merlac, S. Smatkov, N. Kuchuk, A. Nechausov // Conf. Proc. of 2018 IEEE 9<sup>th</sup> International Conference on Dependable Systems, Service and Technologies. DESSERT'2018. Ukraine, Kyiv, May 24-27, 2018. – P. 136-140. – URL: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409114>
3. Donets V., Kuchuk N., Shmatkov S. Development of software of e-learning information system synthesis modeling process. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 117–121. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.20>.
4. Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 3. С. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>.
5. Kuchuk N. Method for calculating of R-learning traffic peakedness / N. Kuchuk; O. Mozhaiev, M. Mozhaiev; H. Kuchuk // 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017. – 2017. – P. 359 – 362. URL: <http://dx.doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246416>.
6. Кучук Г.А. Метод оценки характеристик АТМ-трафика / Г.А. Кучук // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті, – 2003. – № 6. – С. 44–48.
7. Кучук Г. А., Можаяв О. О., Воробйов О. В. Метод агрегування фрактального трафіка. *Радіоелектронні та комп'ютерні системи*. 2006. № 6 (18). С. 181–188.
8. Saravana, Balaji B., Karthikeyan, N.K. and Raj Kumar, R.S., (2018), "Fuzzy service conceptual ontology system for cloud service recommendation", *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 69, pp. 435–446.
9. Коваленко А. А. Подходы к синтезу технической структуры компьютерной системы, образующей систему управления объектом критического применения / А.А. Коваленко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2014. – № 1(38). – С. 116-119.
10. Кучук Г. А. Фрактальный гауссовский шум в трафиковых трассах / Г.А. Кучук // Системи обробки інформації. – 2004. – № 3(31). – С. 91-100.
11. Коваленко А. А. Оптимальное управление трафиком мультисервисной сети на основе методов последовательного улучшения решений / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 3(47). – С. 59-63.
12. Amin Salih M., Potrus M.Y. A Method for Compensation of TCP Throughput Degrading During Movement Of Mobile Node. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2015. Vol. 27, No 6. P. 59–68.
13. Коваленко А. А. Подходы к синтезу информационной структуры системы управления объектом критического применения / А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. – 2014. – № 1(117). – С. 180-184.
14. Dhivakar B., Saravanan S.V., Sivaram M., Krishnan R.A. Statistical Score Calculation of Information Retrieval Systems using Data Fusion Technique". *Computer Science and Engineering*. 2012. Vol. 2, Issue 5. pp.43-45.
15. Sivaram, M., Batri, K., Amin Salih, Mohammed and Porkodi V. (2019), "Exploiting the Local Optima in Genetic Algorithm using Tabu Search", *Indian Journal of Science and Technology*, Volume 12, Issue 1.
16. Kuchuk G., Nechausov S., Kharchenko, V. Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store. *International Conference on Information and Digital Technologies*. 2015. P. 266-271.
17. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – No 1 (1) – P. 75-81.
18. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113.
19. Кучук Г. А. Модель процесса эволюции топологической структуры компьютерной сети системы управления объектом критического применения / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, А.А. Янковский // Системи обробки інформації. – 2014. – № 7(123). – С. 93-96.
20. Кучук Г. А. Метод параметрического управления передачей данных для модификации транспортных протоколов беспроводных сетей / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. – 2011. – № 8(98). – С. 211-218.

21. Кучук Г.А. Метод мінімізації середньої затримки пакетів у віртуальних з'єднаннях мережі підтримки хмарного сервісу / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, Н.В. Лукова-Чуйко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2017. – Вип. 2(42). – С. 117-120.
22. Sivaram, M., Yuvaraj, D., Amin Salih, Mohammed, Porkodi, V. and Manikandan V. (2018), “The Real Problem Through a Selection Making an Algorithm that Minimizes the Computational Complexity”, *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, Vol. 8, iss. 2, 2018, pp. 95-100.
23. Коваленко А. А., Кучук Г. А. Методи синтезу інформаційної та технічної структур системи управління об'єктом критичного застосування. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 1. С. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
24. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускну здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>

## REFERENCES

1. Shmatkov S.I., Kuchuk, N.G. and Donets V.V. (2018), “Model of information structure of the hyperconvergent system of support of electronic computing resources of university e-learning”, *Control systems, navigation and communication*, PNTU, Poltava, No. 2 (48), pp. 97-100.
2. Merlac, V., Smatkov, S., Kuchuk, N. and Nechausov A. (2018), “Resources Distribution Method of University e-learning on the Hypercovergent platform”, *Conf. Proc. of 2018 IEEE 9<sup>th</sup> International Conference on Dependable Systems, Service and Technologies. DESSERT'2018*, Ukraine, Kyiv, May 24-27, pp. 136-140, – DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409114>
3. Donets, V., Kuchuk, N. and Shmatkov, S. (2018), “Development of software of e-learning information system synthesis modeling process”, *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No 2, pp. 117–121, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.20>.
4. Zikov, I.S., Kuchuk, N.H. and Shmatkov S.I. (2018), “Synthesis of architecture of the computer transaction management system e-learning”, *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 3, pp. 60-66, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>.
5. Kuchuk, N., Mozhaiev, O., Mozhaiev, M. and Kuchuk, H. (2017), “Method for calculating of R-learning traffic peakedness”, *4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017*, pp. 359–362. URL : <http://dx.doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246416>.
6. Kuchuk, G.A. (2003), "Method of estimation of characteristics of ATM traffic", *Information and control systems in the railway transport*, No. 6, pp. 44–48.
7. Kuchuk G.A., Mozhaev, O.O. and Vorobyov O.V. (2006), “The method of aggregation of fractal traffic”, *Radio electronic and computer system*, No. 6 (18), pp. 181-188.
8. Saravana, Balaji B., Karthikeyan, N.K. and Raj Kumar, R.S., (2018), “Fuzzy service conceptual ontology system for cloud service recommendation”, *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 69, pp. 435–446.
9. Kovalenko, A. A. (2014), “Approaches to the synthesis of the technical structure of a computer system forming the control system of an object of critical application”, *Collection of scientific works of Kharkiv National University of Air Forces*, No. 1 (38), pp. 116-119.
10. Kuchuk, G. A. (2004), “Fractal Gaussian noise in traffic routes”, *Information Processing Systems*, No. 3 (31), pp. 91-100.
11. Kovalenko, A.A. and Kuchuk, G.A. (2016), “Optimal traffic control of a multiservice network based on the methods of sequential improvement of solutions”, *Systems of armament and military equipment*, No. 3 (47), pp. 59-63.
12. Amin Salih M. and Potrus M.Y. (2015), “A Method for Compensation of Tcp Throughput Degrading During Movement Of Mobile Node”, *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*, Vol. 27, No 6, pp. 59–68.
13. Kovalenko, A.A. (2014), “Approaches to the synthesis of the information structure of the system for managing an object of critical application”, *Information Processing Systems*, No. 1 (117), pp. 180-184.
14. Dhivakar B., Saravanan S.V., Sivaram M., Krishnan R.A. Statistical Score Calculation of Information Retrieval Systems using Data Fusion Technique”. *Computer Science and Engineering*, Vol. 2, Issue 5, pp. 43-45.
15. Sivaram, M., Batri, K., Amin Salih, Mohammed and Porkodi V. (2019), “Exploiting the Local Optima in Genetic Algorithm using Tabu Search”, *Indian Journal of Science and Technology*, Volume 12, Issue 1.
16. Kuchuk, G., Nechausov, S. and Kharchenko, V. (2015), “Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store”, *International Conference on Information and Digital Technologies, Zilina*, pp. 266-271.
17. Ruban, I., Kuchuk, H. and Kovalenko A. (2017), “Redistribution of base stations load in mobile communication networks”, *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No 1 (1), P. 75–81.
18. Kovalenko, A.A. and Kuchuk, G.A. (2018), “The current state and trends of the development of computer systems of objects of critical application”, *Systems of control, navigation and communication*, PNTU, Poltava, No. 1 (47), pp. 110–113.
19. Kuchuk, G.A., Kovalenko, A.A. and Yankovsky A.A. (2014), “Model of the process of evolution of the topological structure of the computer network of a control system for an object of critical application”, *Information Processing Systems*, No. 7 (123), pp. 93-96.
20. Kuchuk G.A., Mohammad A.S. and Kovalenko, A.A. (2011), “The parametric data transmission control method for modifying the transport protocols of wireless networks ”, *Information Processing Systems*, No. 8 (98), pp. 211-218.
21. Kuchuk, G.A., Kovalenko, A.A. and Lukova-Chujiko, N.V. (2017), “A method for minimizing the average latency of packets in the virtual connections of the cloud service support network”, *Control, navigation and communication systems*, PNTU, Poltava, No. 2 (42),- pp. 117–120.
22. Sivaram, M., Yuvaraj, D., Amin Salih, Mohammed, Porkodi, V. and Manikandan V. (2018), “The Real Problem Through a Selection Making an Algorithm that Minimizes the Computational Complexity”, *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, Vol. 8, iss. 2, 2018, pp. 95-100.
23. Kovalenko, A. and Kuchuk H. (2018), “Methods for synthesis of informational and technical structures of critical application object’s control system”, *Advanced Information Systems*, 2018, Vol. 2, No. 1, pp. 22–27, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>

24. Sviridov, A., Kovalenko, A. and Kuchuk, H. (2018), "The pass-through capacity redevelopment method of net critical section based on improvement ON/OFF models of traffic", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 2, pp. 139–144, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>

Received (Надійшла) 16.04.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.05.2019

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

- Кучук Ніна Георгіївна** – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки та програмування, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;  
**Nina Kuchuk** – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Computer Science and Programming Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;  
 e-mail: [nina\\_kuchuk@ukr.net](mailto:nina_kuchuk@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0784-1465>
- Гавриленко Світлана Юрївна** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри обчислювальної техніки та програмування, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;  
**Svitlana Gavrylenko** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Computer Science and Programming Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;  
 e-mail: [gavrilenko08@gmail.com](mailto:gavrilenko08@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5093-0420>
- Собчук Валентин Володимирович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри диференціальних рівнянь і математичної фізики Східноєвропейський національний університет ім. Лесі Українки, Луцьк, Україна;  
**Valentin Sobchuk** – Candidate of Physical And Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Differential Equations And Math. Physics Department, Lesya Ukrainka Eastern European National University, Lutsk, Ukraine;  
 e-mail: [v.sobchuk@gmail.com](mailto:v.sobchuk@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4002-8206>
- Лукова-Чуйко Наталія Вікторівна** – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та захисту інформації, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна;  
**Nataliya Lukova-Chuiko** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Cybersecurity and Information Protection Department, Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv, Ukraine;  
 e-mail: [ukova@ukr.net](mailto:ukova@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3224-4061>

#### Перераспределение информационных потоков в гиперконвергентной системе

Н. Г. Кучук, С. Ю. Гавриленко, Н. В. Лукова-Чуйко, В. В. Собчук

В статье рассматриваются задачи управления структурой системы виртуальных каналов связи (СВКС). При этом возникает задача оптимального распределения нагрузки. Ее цель – обеспечение требуемого качества обслуживания абонентов. **Предметом исследования** является структура системы виртуальных каналов связи. **Цель исследования** – разработка метода оперативной реконфигурации системы виртуальных каналов связи. Метод обеспечит снижение средней величины задержки в сети на гиперконвергентной платформе. Сравнение будет проводится со статическим распределением. **Результаты.** Задача оперативной реконфигурации СВКС решается при изменении ситуации в сети. Для ее решения использован минимаксный критерий. В статье сформулирована оптимизационная задача. Рассматривается множество структур СВКС. В задаче находится распределение пропускных способностей виртуальных каналов связи. Для каждой структуры СВКС определяется вектор пропускных способностей виртуальных каналов связи. Выбирается тот вектор, при котором минимизируется максимальное значение коэффициента использования физического канала связи в сети. Предложен алгоритм решения поставленной задачи оптимизации. **Выводы.** Оперативная реконфигурация системы виртуальных каналов связи минимизирует максимальное значение коэффициента использования физических каналов связи. Перераспределение рассматривается при изменении нагрузки СВКС в процессе ее эксплуатации. Предложенная реконфигурация приводит к снижению средней величины задержки. Преимуществом предложенного алгоритма по сравнению с существующими является обеспечение перераспределения пропускной способности ресурсов сети целочисленными блоками. Кроме того, учитываются возможности гиперконвергентной платформы и физических каналов связи, на базе которых строится сеть виртуальных каналов связи.

**Ключевые слова:** виртуальный канал связи; гиперконвергентная система; пропускная способность; информационный поток.

#### Redistribution of information flows in a hyperconvergent system

N. Kuchuk, S. Gavrylenko, N. Lukova-Chuiko, V. Sobchuk

When solving the tasks of managing the structure of the virtual communication channels (SQPC), the problem arises the optimal load distribution in order to provide the necessary quality of service to its subscribers. **The subject of the research** is the structure of the system of virtual communication channels. **The purpose of the research** is to develop a method of operational reconfiguration of the system of virtual communication channels, which will ensure a decrease in the average value of network latency on the hyperconverting platform in comparison with the static distribution. **Results.** Minimax criterion was used to solve the problem of operational reconfiguration of the SQC when the situation on the network was changed. The optimization problem is formulated as follows: finding such a distribution of bandwidth of the virtual communication channels for the new structure of the QMS, that is, determining the vector of the throughput capabilities of the virtual communication channels, which minimizes the maximum value of the coefficient of use of the physical channel in the network. The proposed algorithm for solving the optimization problem is proposed. **Conclusions.** The operative reconfiguration of the virtual communication channels system, which minimizes the maximum value of the coefficient of use of physical communication channels, when changing the load of the SQUAZ during its operation, leads to a decrease in the average delay value. The advantages of the proposed algorithm in comparison with the existing ones are to ensure the redistribution of the bandwidth of the network resources by integer units and taking into account the possibilities of the hyperconverting platform and physical channels of communication, on the basis of which a network of virtual communication channels is built.

**Keywords:** virtual communication channel; hyperconverting system; bandwidth; information flow.

M. Radomska<sup>1</sup>, Yu. Kartash<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Aviation University, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>LLC “Logistics”, Kyiv, Ukraine

## THE COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF THE KYIV CITY PUBLIC TRANSPORT MODERNIZATION

**Abstract.** The **subject matter** of the study is the comparison of alternatives for the renovation of public transport in Kyiv. The aim of the article is to define the most economically and environmentally efficient direction of public transport modernization under the conditions of Kyiv city. The following **tasks** are solved in the article: the problems of public transport management and development in major cities are analyzed, the possible approaches to public transport modernization under various conditions are considered, the methods for comparative analysis chosen and alternatives are formulated and described, the analysis of proposed alternatives is conducted and the best option is characterized in terms of its potential to reduce impacts on the urban environment, the economic parameters of the chosen alternative are compared with the other options. The following **methods** are applied – system analysis, matrix method, SWOT-analysis, PESTLE-analysis. The following **results** are obtained: the analysis of the impacts of transport system on the urban environment has demonstrated the urgent need for renovation of the vehicles and possibly their substitution with those based on new technological principles and power sources. The consideration approaches used by various countries has proved the absence of single strategy, as it must account specific traits of economic and urban planning situation in cities. The Ukrainian researches are also seen to have different opinions about the most efficient development of public transport. The characteristics of the Kyiv public transport and its problems have been given. Based on the aggregated information the list of potential alternatives to the existing public vehicles has been developed. The suggested alternatives have been studied according to a range of parameters with the help of matrix method. The most efficient option has been further investigated by means of the SWOT and PESTLE analysis to highlight its advantages and disadvantages. **Conclusions.** Each alternative has the right to be implemented and used for public transport in Kiev, its choice depends only on the available costs and the necessary time periods. The conducted research shows that under current conditions electric buses as a substitution option need moderate investments and will soon provide environmental and economic benefits.

**Keywords:** public transport; environment pollution; natural resources conservation; alternatives assessment.

### Introduction

With more of the world's population living in urban areas, cities today face urgent and complex development challenges, as the largest agglomerations are now home to more than 10 million people. In order to manage the growing complexity of urban structure and provide the needs of all city inhabitants, managers and authorities have to balance economic priorities with degrading quality of environment, which interfere with the sustainable development targets.

Urban transportation systems significantly affect urban environment condition and standards of life and, through consequent air pollution and greenhouse gases, emissions impact the wider regional and global environments. These impacts can be mitigated by optimization of transport network to minimize travel times and congestion, reduce GHG emissions and local air pollutants. Another efficient approach to sustainability and environmental safety of urban transport is substitution of vehicles with modern and more environmentally friendly. This can have measurable positive impacts and externalities, but it is applicable only to public transport, which needs careful planning and substantiation to be affordable and technically feasible.

### Problem formulation

The issues of public transport development are widely discussed by scholars and practitioners, politicians and non-governmental organizations. An important element of the process is assessment of

environmental impacts transport and traffic related health effects. Thus, proves of the interaction between urban transport emissions and respiratory, circulatory and other health disorders among various groups of population can be found in the studies by Laumbach R.J. et al, Zhang K., Batterman S., Furie G.L. and Desai M.M., Evans G.W. These works rise the question of extremely needed modernization of transport, but give little ideas about the way to perform this task.

In Ukraine the works by Gutarevich Yu.F., Pavlychenko A.V., Siletsky A.E., Klebanova N.S., Kireeva I.S. et al also show a strong connection between the functioning of transport and environment degradation and health threats, as well as give general recommendations to the possible directions of work on the way to sustainable transport. However, the real technological options for the improvement of the situation are given in the works by Chernyshov O. and Dzymak M.A. [1, 2]. Legenky G.M., Mateichyk V.P., Zubyk S.V. develop some management and decision making approaches to the optimization of urban transport flow without its differentiation [3–5].

Still most of the challenge of public transport optimization remains an opened problem and provided with more set questions, than given answers. Developed countries and those with transitional economies are trying various options, including bus rapid transit, personal rapid transit systems, “mexicable”, Olli self-driving mini bus, etc. [6]. Some scientists, believe, that efforts should be invested in the development of rail transport [7] or solely electric transport [8]. Others

consider the substitution of vehicles engines with more powerful and efficient as a major way to public transport modernization, providing the substantiation of the best choices in terms of meeting emission standards, noise control and fuel efficiency [9].

Thus, **the aim of the given research** is the comparative assessment of possible alternatives for technical modernization of Kyiv public transport, considering a wide variety of potential projects.

### Methods and materials

One of the most convenient methods to analyze a wide set of data about alternatives of project activity is the method of matrices.

A matrix is a table that is used to identify the interaction between project activities or different projects themselves, which are displayed along one axis, and environmental, economic and social characteristics, which are displayed along the other axis. Using the table, factor-activity interactions can be marked at the intersections either by ticks to highlight the presence of interdependence, symbols to identify impact type (such as direct, indirect, cumulative) or numbers to show impact severity or other features related to the nature of the project.

For the purpose of the given study the following parameters of the projects are to be considered:

- F1 = degree of achieving overall objective;
- F2 = economic efficiency of the project;
- F3 = social concerns in the project area;
- F4 = negative impacts on the environment;
- F5 = positive impacts on the environment;
- F6 = human health threats for local population;
- F7 = technical feasibility.

Each parameter is scored for each project in points from 0 to 3, where 0 represents the least favorable value of the parameter. The sum of points stands for the total score of the project with the maximal being the indicator of the best choice.

Another suitable method to characterize any kind of project in terms of its benefits and drawbacks is SWOT-analysis. It is used in strategic planning, and involves formulation of project characteristics in four categories: Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats. The purpose of this analysis is to identify its internal forces to maximize the use of external capabilities and identify the weaknesses of the object, which can complicate the problems associated with external threats.

The PEST analysis (political, economic, socio-cultural and technological) describes a framework of macro-environmental factors used in the environmental scanning component of strategic management. It is part of an external analysis when conducting a strategic analysis, and gives an overview of the different macro-environmental factors to be taken into consideration. It is a strategic tool for understanding development trends, potential and direction for operations.

### Results and discussions

#### 1. State and characteristics of the transport system in the Kyiv city. Kyiv has a developed transport

infrastructure, which consists of highways, railways, waterways and bridges; road transport, subway, tram, trolley bus routes are developed here. The dominant role in public transport belongs to busses of various capacity (58% of transportation), trolleybus (26%) and trams (11%). The major problems of public transport in the city are technical condition and planning. Thus, the work of public transport in the city is not balanced: city faces long traffic jams; there is a strip for public transport, but it is occupied by cars; public transport is unattractive, because it is late as a result. Careful planning and efficient system of fines and penalties can solve these problems. While the bad technical condition and big age of vehicles is by far more serious issue, as it is the direct reason for environment pollution and waste of energy carriers.

It should be also noted that the bulk of medium and high-capacity buses are equipped with diesel engines. According to the stated technical data, the bus fleet meets obsolete environmental norms of Euro-2 and Euro-3, while Euro-5 standards are in force in Ukraine since 2016.

So, we have chosen a range of alternatives to solve the problem of public transport modernization:

A1 - Replacement of the vehicle Bogdan A-092 with new models (Bogdan A092.02 in comparing with Bogdan A302-12);

A2 - Replacement of buses with internal combustion engine by electric busses;

A3 - Replacement of buses with internal combustion engine by trolley buses;

A4 - Replacement of buses with ICE and diesel fuel with bunkers on liquefied / compressed gas;

A5 - Use of buses, whose emissions correspond to the environmental standards Euro-5 to Euro-6;

A6 - Implementation of high-speed bus transport system (BRT) for short route.

Each of these alternatives has been fully analyzed with application of the above-mentioned methods. It was important to account the level to which an alternative meets the targets of reducing natural resources consumption and environment pollution. The last issue is measured with the volume of emissions, noise pollution and required construction works. When it is applicable the calculation of emissions was attributed to the bus route number 211.

The technical and technological requirements, necessary transformation of the existing infrastructure (construction of rails, power lines, etc.), time and money investments have been also given a high priority in the analysis of the alternatives.

**2. Comparative analysis of alternatives.** The results of evaluation using matrix method are given in Table 1. The last column of the table contains total score for each alternative and the final choice of the best alternative is done based on it.

Having described each alternative, its advantages and disadvantages, we see that A2 - replacement of buses' internal combustion engine with the electric engine – is the most perspective. This alternative will be efficient after the first months of its implementation and does not overuse costs, which is very important.

Table 1 – Results of comparative evaluation

Alternatives	Factors							Total score
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	
A1	2	2	3	2	2	1	2	14
A2	3	3	2	3	3	1	2	17
A3	2	2	3	3	2	2	1	15
A4	0	1	2	0	1	1	2	7
A5	2	2	3	2	3	2	1	15
A6	2	2	3	2	2	1	1	14

The second leading alternative №5 is the introduction of vehicles, meeting the highest Euro-6 standards.

It will be very positive and efficient for the environment, but it will draw uncertainties about how to deal with vehicles that still use Euro 2 and Euro 3 standards.

Also the second place is shared by the alternative №3 – the use of trolley buses instead of city buses – Bogdan-A092. But this alternative requires a lot of investment in the grid to create all the routes. Also the travel time of the route may increase, and the trolleybus itself will not be maneuverable on the road.

Alternative number 1 and number 6 have their own advantages and disadvantages, which were stronger than the benefits. Significant investment will not allow these alternatives to become the most effective.

The worst result was of alternative №4 – replacement of buses with ICE and diesel fuel by liquefied/compressed gas. This alternative will not bring much positive changes for the environment and will be of little economic efficiency.

The general summarized Table 2 shows main perspectives of implementing these projects. In order to present the relative efficiency of the considered alternatives their economic and environmental parameters have been compared with a so called “zero alternative” – the existing most common type of buses, used in Kyiv, in percents (Fig. 1).

Table 2 – Environmental and economic parameters for proposed alternatives

Alternative	Total emissions, t/year *	Environmental problems solved	Cost of implementation, UAH*	Payback period, months	Technical complexity
A1	0,595	emissions reduction	605000	3,4	Medium
A2	0	noise reduction; pollution reduction	24490	>1	Low
A3	0	noise reduction; pollution reduction	6 mln	29	High
A4	0,202	emissions reduction	50000	>1	Medium
A5	0,571	emissions reduction	10000	>1	High
A6	0	noise reduction; pollution reduction	~20 mln	112	High

\*Based on 1 vehicle

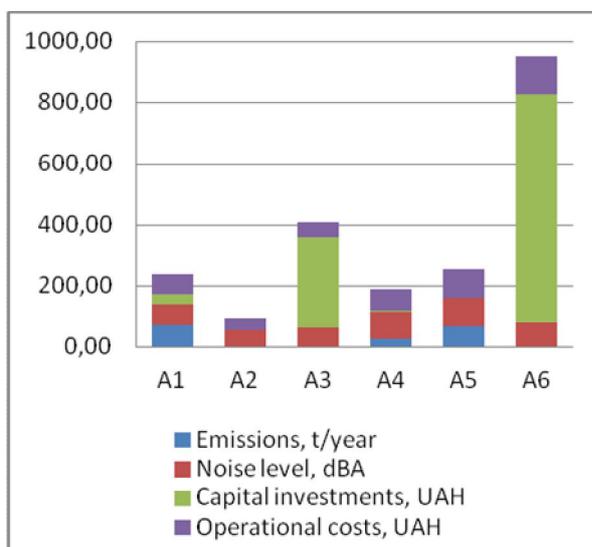


Fig. 1. Percentage ratio of the proposed options characteristics and the vehicles used

### 3. Environmental and economic assessment of the proposed alternative of modernization for bus routes

The assessment of the environmental and economic efficiency of projects is an integral part of the assessment of the effectiveness of the project as a whole, clearly showing the purpose of this project and the time frame for its achievement.

To clearly represent all advantages and disadvantages of Alternative №2 the SWOT-analysis and PESTLE-analysis have been conducted. Such these methods help show any risks or positives for Alternative implementation.

So, the strengths of the project are:

- decrease of emissions;
- noise reduction on the roads;
- increase revenue by reducing fuel costs;
- reduced fare;
- expansion of the enterprise, through the acquisition of new machines.

Weaknesses of the project, which must be addressed at the planning stage :

- lack of full charging stations for vehicles;
- insufficient number of nationally produced batteries;
- lack of national incentive policies for alternative modes of transport;
- high requirements for the operation of electrical equipment, sensitivity to undercharging;
- insufficient maintenance and personnel skills in the use of the electric motor
- temperature sensitivity.

External factors of the market form the following threats to the alternative:

- increasing market competitiveness;
- electromagnetic radiation for staff;
- growing prices of electricity;
- lack of policies and legislation for recycling, recovery and re-use of the electric motor, which will lead to a new type of pollutants.

However, under given realities of Ukraine implementation of such project creates a range of valuable external opportunities for other branches of economy:

- increased demand for passenger transport services;
- growing demand for transport models of national production;
- emergence of new investment projects for electric vehicles.

Thus, based on the analysis of this alternative, we see that the weak sides and shortcomings of this project have a place to be. But at the same time, the qualitative positive parameters remain more impressive and promising.

The knowledge about obstacles and weak sides enables their mitigation or even transformation into positive.

PEST analysis is a simple yet important tool that will help understand the overall picture of the political, economic, socio-cultural and technological environment for implementing A2.

In our case the PESTLE-analysis has shown that in order to achieve all the goals of the project, it is necessary not only to have enough financial provision, but also to have the support at the national and regional levels, social support from media and improved education to information of population.

### Conclusions

1. The analysis of available publications shows that urban transport is a source of major environmental problems and human health threat. Yet, it remains an important element of high living standards.

2. Despite the wide variety of research in the field of transport impacts mitigation, applied technical solutions for transport modernization are not available.

3. Six potential alternatives of Kyiv public transport modernization have been identified and analyzed. Environmental and economic efficiency of the project is an indicator characterizing the ratio of the overall economic benefits and losses from the project, including external environmental effects, and the associated social and economic consequences affecting the interests of the population and future generations as a result of the project.

4. Replacement of buses with internal combustion engine by electric buses has turned out to be the most effective due to low economic costs, short implementation period and operational feasibility.

5. The SWOT and PESTLE analysis for the chosen alternative showed that the main obstacles for its implementation will be the lack of programs in the National Policy, insufficient quality production of electric motors by national manufacturers, lack of market competition.

In total, each alternative has the right to be implemented and used for public transport in Kiev; its choice depends only on the available costs and the necessary time periods.

The lack of additional investment funds limits the introduction of promising alternative projects for the modernization of bus routes.

### REFERENCES

1. Chernyshov, O. (2016), *Influence of transport on the ecology of the city. Analysis and Strategies for Ukraine*, City Reforms, Kharkiv, 24 p.
2. Dzumak, M.A. and Kravchuk, G.I. (2011), "Eco-technology methods of noise reduction of anthropogenic origin in Vinnitsa", *Collection of scientific works of Vinnitsa National Agrarian University. Series Technical Sciences*, No. 8, pp. 100–108.
3. Lehenky, G.M., Redziuk, A.M., Belous, A.M., Gutarevich, Yu.F. and Mateichik, V.P. (2000), "Basic directions of development of an environmentally acceptable transport system in Ukraine and ways of their implementation", *Motorway of Ukraine*, No. 3, pp. 24–26.
4. Schöbel, A. (2006), *Optimization in Public Transportation* Springer, Boston, 274 p., DOI: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-36643-2>
5. Zubik, S.V. (2013), "Transport noise of the city and ways of its decrease", *Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine*, No. 23, pp. 126–131.
6. Hidalgo, D. and Carrig, A. (2010), *Modernizing public transportation. Lessons learned from major bus improvements in Latin America and Asia*, World Resources Institute, Washington, 44 p.
7. Jean-Paul, Rodrigue (2017), *The Geography of Transport Systems*, Routledge, New York, 440 p.
8. Gnedin, K.V. (2007), "Problems and Prospects of Urban Electric Transport Development", *Bulletin of the Chernihiv State Technical University*, No. 1 (15), pp. 184–187.
9. Mateichik V., Khrutba V., Zyuzyun V. and Samoilenko, I. (2012), "Analysis of environmental and social risks in transport systems development projects", *Systemy i srodki transportu samochodowego / Seria TRANSPORT*, Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Lukasiewicza, Rzeszow, No. 3, pp. 105–112.

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Радомська Маргарита Мирославівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Національний авіаційний університет, Київ, Україна;

**Margaryta Radomska** – Candidate of Technical Sciences Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ecology, National Aviation University, Kyiv, Ukraine;

e-mail: [m.m.radomskaya@gmail.com](mailto:m.m.radomskaya@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8096-0313>

**Карташ Юлія Геннадіївна** - начальник відділу, товариство з обмеженою відповідальністю «Логістика», Київ, Україна

**Kartash Yulia** - Head of Department, LLC "Logistics", Kyiv, Ukraine

e-mail: [kartashy@ukr.net](mailto:kartashy@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6507-0398>

**Порівняльний аналіз еколого-економічної ефективності модернізації  
громадського транспорту міста Києва**

М. М. Радомська, Ю. Г. Карташ

**Анотація.** Предметом дослідження є порівняння альтернатив оновлення громадського транспорту в Києві. Метою статті є визначення найбільш економічно та екологічно ефективного напрямку модернізації громадського транспорту в умовах міста Києва. У статті вирішуються наступні завдання: аналіз проблем управління та розвитку громадського транспорту у великих містах, розгляд можливих підходів до модернізації громадського транспорту за різних умов, вибір методів порівняльного аналізу та формулювання альтернатив, аналіз запропонованих альтернатив, характеристика потенціального зменшення впливу на міське середовище за рахунок обраного варіанту, порівняння економічних параметрів обраної альтернативи з іншими варіантами. Застосовуються такі методи - системний аналіз, матричний метод, SWOT-аналіз, PESTLE-аналіз. Отримані наступні результати: аналіз впливу транспортної системи на міське середовище продемонстрував нагальну необхідність у оновленні транспортних засобів і, можливо, їх заміни тими, що базуються на нових технологічних принципах і джерелах енергії. Розглянуті підходи різних країн до вирішення даного завдання довели відсутність єдиної стратегії, оскільки вона повинна враховувати особливості економічної та містобудівної ситуації. Українські дослідники також мають різні думки щодо найбільш ефективного шляху розвитку громадського транспорту. Наведено характеристики громадського транспорту м. Києва та його проблем. На основі агрегованої інформації було розроблено перелік потенційних альтернатив до існуючої структури громадського транспорту. Запропоновані альтернативи були досліджені за діапазоном параметрів за допомогою матричного методу. Найбільш ефективний варіант був додатково вивчений за допомогою SWOT та PESTLE аналізу, щоб висвітлити його переваги та недоліки. **Висновки.** Кожна альтернатива має право реалізуватися і використовуватись для громадського транспорту в Києві, її вибір залежить тільки від наявних коштів і необхідного часу. Проведені дослідження показують, що в сучасних умовах електричні автобуси як варіант заміщення потребують помірних інвестицій і швидко принесуть екологічні та економічні вигоди.

**Ключові слова:** громадський транспорт; забруднення навколишнього середовища; збереження природних ресурсів; оцінка альтернатив.

**Сравнительный анализ эколого-экономической эффективности модернизации  
общественного транспорта города Киева**

М. М. Радомская, Ю. Г. Карташ

**Аннотация.** Предметом исследования является сравнение альтернатив обновления общественного транспорта в Киеве. Целью статьи является определение наиболее экономически и экологически эффективного направления модернизации общественного транспорта в условиях города Киева. В статье решаются следующие задачи: анализ проблем управления и развития общественного транспорта в крупных городах, рассмотрение возможных подходов к модернизации общественного транспорта в различных условиях, выбор методов сравнительного анализа и формулировка альтернатив, анализ предложенных альтернатив, характеристика потенциального уменьшения воздействия на городскую среду за счет избранного варианта, сравнение экономических параметров выбранной альтернативы с другими вариантами. Применяются такие методы - системный анализ, матричный метод, SWOT-анализ, PESTLE-анализ. Получены следующие результаты: анализ влияния транспортной системы на городскую среду продемонстрировал настоятельную необходимость в обновлении транспортных средств и, возможно, их замены такими, которые основаны на новых технологических принципах и источниках энергии. Рассмотрение подходов различных стран к решению данной задачи доказало отсутствие единой стратегии, поскольку она должна учитывать особенности экономической и градостроительной ситуации. Украинские исследователи также имеют разные мнения касательно наиболее эффективного пути развития общественного транспорта. Приведены характеристики и проблемы общественного транспорта г. Киева. На основе собранной информации был разработан перечень потенциальных альтернатив существующей структуры общественного транспорта. Предложенные альтернативы были исследованы по диапазону параметров с помощью матричного метода. Наиболее эффективный вариант был дополнительно изучен с помощью SWOT и PESTLE анализа, чтобы выделить его преимущества и недостатки. **Выводы.** Каждая альтернатива имеет право реализовываться и использоваться для общественного транспорта в Киеве, ее выбор зависит только от имеющихся средств и необходимого времени. Проведенные исследования показывают, что в современных условиях электрические автобусы как вариант замещения требуют умеренных инвестиций и быстро принесут экологические и экономические выгоды.

**Ключевые слова:** общественный транспорт; загрязнение окружающей среды; сбережение природных ресурсов; оценка альтернатив.

Yu. Sverhunova, M. Shtompel, V. Lysechko, I. Kovtun

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine

## QUASIORTHOGONAL FREQUENCY ACCESS ON SUBCARRIER FREQUENCIES

**Abstract.** In the article, it is described the principles of implementing the method based on quasiorthogonal frequency access on subcarrier frequencies. The key element of quasiorthogonal frequency access on subcarrier frequencies is the using of the individual distribution of frequency subcarriers in different frequency plans of the ensemble in the general frequency band, which allows increasing the subscriber capacity of the radio system significantly. It was developed an algorithm for the formation of the ensemble, taking into account the different values of the width of the subchannels in the corresponding frequency plans. It was graphically represented the form of frequency plans with different bandwidths and the dependence of the maximum emissions of the mutual correlation function of frequency plans, taking into account the number of subcarriers and the width of subchannels. For realization the statistical analysis, it was constructe an imitation model of the radio channel, it were graphically represented the results of statistical analysis of the interrelationship properties of frequency plans, and investigated the correlation properties of complex signals based on QOFDM. Using the quasiorthogonal access on subcarrier frequencies allows increasing the subscriber capacity of the communication system and the rate of information transmission due to the nonlinear distribution of the subcarrier frequencies.

**Keywords:** quasi-orthogonal frequency access on subcarrier frequency; spectral hole; frequency collisions; bandwidth; frequency plan; an ensemble; the subscriber capacity.

### Introduction

**Formulation of the problem.** The possibility of reusing the frequency resource under the low efficiency of its exploitation is a major advantage of cognitive radio systems, unlike current systems [1–3]. This can be achieved through the using of intelligent algorithms of training the cognitive radio systems. The introduction and operation of such systems raises the question of solving the problem of the implementation of the joint using of spectral holes by many users of the cognitive radio network [1, 4]. At simultaneous transmission of information by secondary users in the same free band of frequencies, the probability of occurrence of the phenomenon of so-called frequency collisions appears. In turn, this phenomenon can lead to the same before the appearance of a high level of internally systemic interference [5, 6].

To solve the existing problem, it was proposed to use the developed method based on quasiorthogonal frequency-division multiplexing (QOFDM).

**Literature analysis.** The existing orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) method can significantly increase the bandwidth of the wireless communication system [7]. However, with the dynamic change in the load in cognitive radio networks, the phenomenon of frequency collisions is possible, that is, the simultaneous occupation by different subscribers of the same frequency band that can cause an increase in the level of intra-system interference [1, 5].

An analysis of literary sources has shown that the topic of combating frequency collisions in cognitive radio systems is not sufficiently researched, therefore, the need to solve the problem of counteraction and prevention of such phenomena [8–14].

**The aim of the article.** The aim of the article is the detailed development of the method based on quasiorthogonal frequency access on subcarrier frequencies, which solves the problem of sharing many users of the cognitive radio system of the same frequency band. Solving this problem will significantly

reduce the probability of occurrence of frequency collisions and will increase the subscriber capacity of the cognitive radio system.

Also, the aim of the article is to develop an algorithm for the formation of the ensemble, taking into account the different values of the width of subchannels in the corresponding frequency plans, developing a simulation model of the system of signals based on the QOFDM method and conducting research on the interrelation properties of the formed frequency plans based on quasiorthogonal access on subcarrier frequencies.

### The basic material

It was proposed the method of quasiorthogonal frequency access on subcarrier frequencies based on the using of the individual distribution of the subcarriers for each frequency plan in the common band of frequencies. This method allows increasing the subscriber capacity of the cognitive radio system due to the parallel using of different subscribers of the same network of different variants of the distribution of high frequencies.

The ensemble of QOFDM signals consists of  $K$  number of frequency planes transmitted in the same frequency band  $\Delta F$ . In this case, each frequency plan has an individual set of frequency subcarriers  $n$ , the distance between which  $\Delta f$  is equidistant, but each frequency plan has its own spacing value between the subcarrier frequencies, different from the spacing values in other frequency plans of the ensemble.

An analytical expression that describes quasiorthogonal frequency multiplexing of channels on subcarrier frequencies represents an improved OFDM signal formation equation and looks like this [15]:

$$S_i(\Delta f_i) = \operatorname{Re} \left\{ e^{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot \Delta f_i} \cdot \sum_{k=-\Delta F/2}^{\Delta F/2} C_k \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f(\Delta f_i - T_S)} \right\}, \quad (1)$$

where  $\Delta f_i$  – spacing interval frequency plan,  $\operatorname{Re}$  – real part of a complex number;  $f_0$  – zero sublime frequencies;

$\Delta F$  – band of frequencies;  $C_k$  – comprehensive presentation symbol QAM;  $T_s$  – the period of the signal.

Forming an ensemble algorithm [15] that is shown in Fig. 1 that consists of a sequence of such operations:

1. Determination of baseline data: the distance between subcarrier frequencies, frequency band; the number of subcarrier frequencies on the adjusted frequency band  $\Delta F$ .

2. Formation. of all frequency plans in the ensemble with the adjusted parameters.

The distance between subcarrier frequencies for subcarrier frequencies for each frequency plan is calculated as the ratio of the frequency band  $\Delta F$ , which takes the linear signal to the number of subcarrier frequencies in each frequency plan. The interval between subcarrier frequencies is calculated by the equation (2):

$$\Delta f_i = \Delta F / n_i, \text{ Hz} \quad (2)$$

The distance between subcarrier frequencies for each frequency plan will be individual and will depend on the number of subcarrier frequencies in a specific frequency plan. The main difference between OFDM and QOFDM signals is that each QOFDM frequency plan is separately formed by the OFDM technology. That is, the interval between subcarrier frequencies is the same within this frequency plan. But in QOFDM there is a whole ensemble of signals, that is, a set of OFDM frequency planes that differ in different intervals distance between subcarrier frequencies. Herewith, the frequency band  $\Delta F$  will be the same for the entire ensemble of signals.

3. Pairwise comparison of frequency plans for finding the positions that coincide.

4. Determination of the number of subcarrier frequency positions that coincide in each frequency plan.

By pairwise comparison of frequency plans with each other, the number of positions of frequency subcarriers that coincide in each frequency plan of the ensemble is determined. In this case, by comparing two frequency plans with each other, there will be no more than one frequency position that coincides.

$K$  – the number of frequency plans in the ensemble,  $d_{ij}$  - the number of subcarrier frequency positions that coincided when comparing  $i$ -th frequency plan with  $j$ -th frequency plan.

5. Provided that if the number of positions of the subcarrier frequencies that coincided when the comparison of the  $i$ -th frequency plan with the  $j$ -th frequency plan will be more than or equal to the number of frequency plans in the ensemble ( $d_{ij} \geq K$ ), there will be removal from the ensemble the  $i$ -th frequency plane. This will be the same frequency plan when compared with which there were most of the coincidences. After that again there is a pairwise comparison of frequency plans.

6. Provided that if the number of the subcarrier frequencies positions that coincided when compared the  $i$ -th frequency plan with the  $j$ -th frequency plan will be less than the number of frequency plans in the ensemble ( $d_{ij} < K$ ), the  $i$ -th frequency plan will be added to the ensemble.

7. Frequency plan is added to the ensemble.

8. The ensemble is accepted for further synthesis of signals.

Selected frequency plans form an ensemble that is accepted for further synthesis of signals.

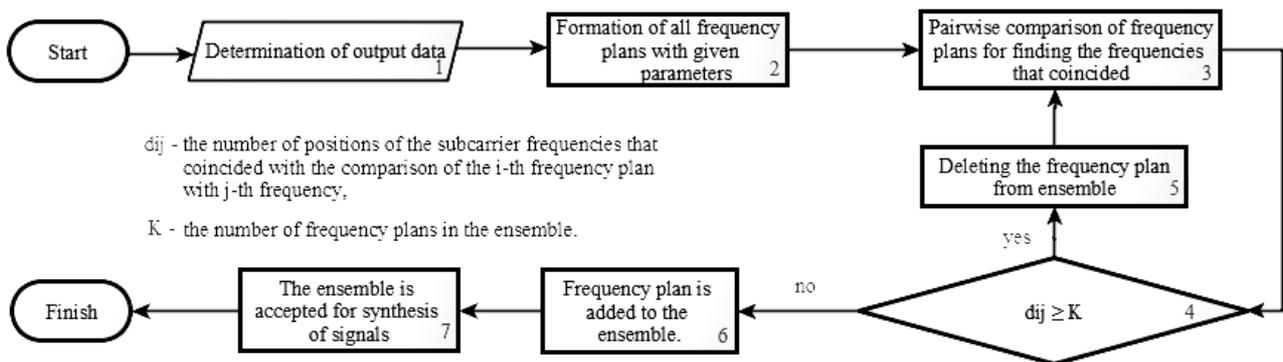


Fig. 1. The algorithm of forming the ensemble of signals

For illustrating the robustness of the proposed method, an example is presented in which four frequency plans with different amounts of subcarrier frequencies are presented, that is:

$$n_1 = 23, n_2 = 101, n_3 = 187, n_4 = 259.$$

All frequency plans are transmitted in the same frequency band

$$\Delta F = 20 \text{ MHz}.$$

Based on the given parameters, it can be possible to calculate the intervals between the positions of the subcarrier frequencies in the frequency domain for each plan, using the equation (2).

The positions of the subcarrier frequencies that coincided with the comparison of the first and second, first and third, first and fourth signals are indicated by violet rectangles, as shown in Fig. 2.

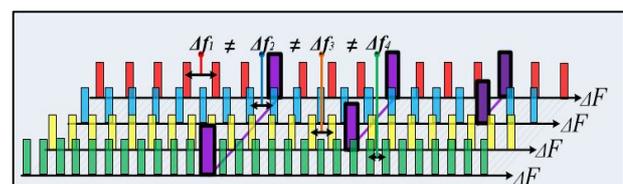
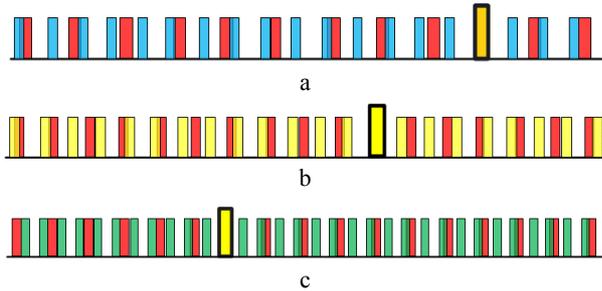


Fig. 2. Subcarrier frequencies distribution scheme for QOFDM

Fig. 3 shows the subcarrier frequencies positions that coincided when compared the frequency plans pairwise with each other. The positions that coincide are marked by yellow rectangles.



**Fig. 3.** The subcarrier frequencies positions that coincided when compared pairwise with each other: a – 1- st and 2-nd frequency plans, b – 1- st and 3-rd frequency plans, c – 1- st and 4-th frequency plans

Results of simulation of four frequency plans are listed in Table 1.

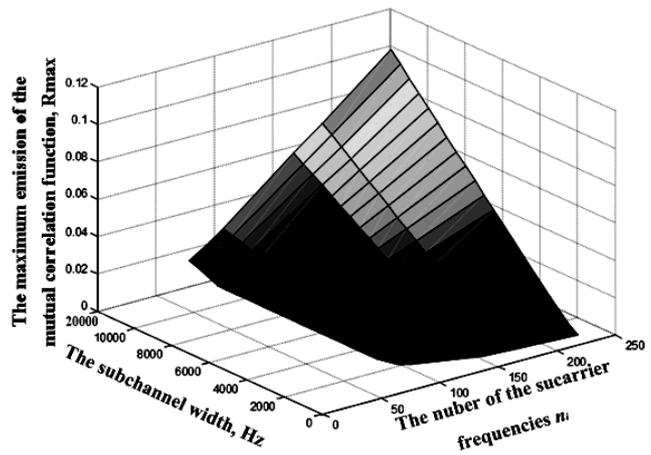
**Table 1 – The results of the subcarrier frequencies distribution in the ensemble from the four frequency plans**

Parameter Value		Amount			
		$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$
The width of the frequency band, Hz		$2010^6$	$20 \cdot 10^6$	$20 \cdot 10^6$	$20 \cdot 10^6$
The number of sub-carrier frequencies $n_i$		23	101	187	259
The interval between subcarrier frequencies, Hz	Min	859570	188020	96950	67220
	Max	869470	192790	106850	77120
The subchannel width, Hz	Min	100	100	100	100
	Max	15000	15000	15000	15000

In order to evaluate the possibilities of using the frequency resource under the condition of using quasiorthogonal access on subcarrier frequencies, it is necessary to research the degree of influence of systemic interferences when changing the bandwidth of subchannels between different frequency plans. A model of the channel was constructed, in which for the 4 values of the number of subchannels the degree of mutual correlation between them changed. The degree of similarity of frequency plans was estimated by calculating the function of mutual correlation [9–14]. The mathematical mechanism is implemented on the basis of correlation analysis.

The dependence of the maximum emissions of side lobes of the mutual correlation function of frequency plans at different values of the width of the subchannel bands and the number of subcarrier frequencies in frequency plans is shown in Fig. 4.

Fig. 4 shows with the changing of the subchannel width and the number of subcarrier frequencies in the frequency plan  $K_i$ , the value of the level of mutual correlation between frequency plans increases, but does not exceed the permissible value for the two compared processes  $B_{ij} = 5 / K_i$ . [5].



**Fig. 4.** The dependence of the maximum emissions of the mutual correlation function of frequency plans at different values of the width of the subchannel bands and the number of subcarrier frequencies

In order to optimize the frequency plan formation mechanism, it is necessary to evaluate the statistical characteristics of the signal parameters on the basis of QOFDM. It was performed a statistical analysis of the correlation properties of the complex signals generated on the basis of quasiorthogonal access on subcarrier frequencies. The research results of the properties of such signals allow optimizing the process of selecting the signal parameters that increase the volume of ensemble signals at low interaction in the frequency domain.

It was used a classical method for evaluating statistical characteristics, described in [4] in order to evaluate the statistical characteristics of the correlation properties of the ensemble of the complex signals formed on the basis of QOFDM.

Calculation of the mathematical expectation (ME) of maximum emission of side lobes of the mutual correlation functions  $[\max R_{ij}]$  of two comparable frequency plans  $i$  and  $j$  [15–17]:

$$m[\max B_{ij}] = \sum_{k=1}^N |\max B_{ij}(k)| / N, \quad (3)$$

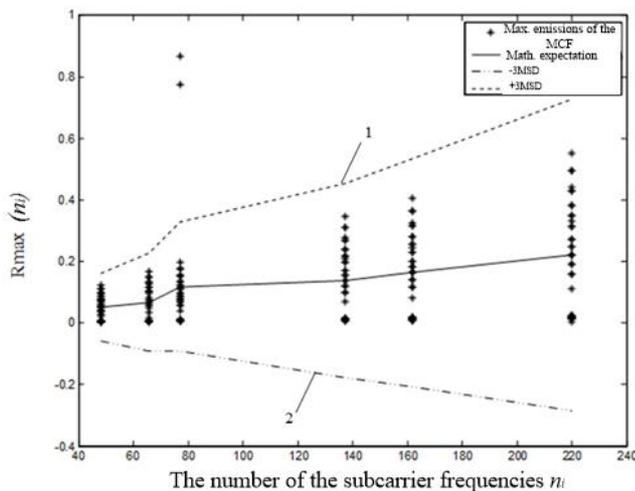
where  $N$  – the number of interacting signals pairs;  $\max B_{ij}$  – the maximum emissions of side lobes of the mutual correlation function.

Calculation of mean-square deviations (MSD) of maximum emissions of side lobes of the mutual correlation function  $\sigma_{\max}$  of two comparable frequency plans  $i$  and  $j$  [15–17]:

$$\sigma_{\max B_{ij}} = \sqrt{\sum_{k=1}^N (|\max B_{ij}(k)| - m[\max B_{ij}])^2 / N}. \quad (4)$$

The research results are presented in Fig. 5.

It is seen from Figure 5 with increasing the width of the band of subchannels in each frequency plan the level of mutual correlation of frequency plans deteriorates, however, the values of maximum emission of side lobes of the mutual correlation function remain within the confidence interval and slightly different from the condition of the minimum similarity of the frequency plans [5].



**Fig. 5.** Results of statistical analysis of intercorrelation properties of frequency plans

$$B_{ij} = (1 \div 5) / \sqrt{N_i N_j}. \quad (5)$$

Thus, even with increasing bandwidth to the limit value inherent in the IEEE 802.20 protocol, i.e. 15 kHz, the degree of mutual correlation of frequency plans will be satisfactory. In the future, it is necessary to evaluate the characteristics on the basis of QOFDM when using

different modulation formats in difficult obstacle conditions.

## Conclusions

In the article, it was developed in details a method based on quasiorthogonal frequency access on subcarrier frequencies that solves the problem of common using by many users of cognitive radio systems of the same frequency band. Solving this problem can significantly reduce the number of frequency collisions and increase the subscriber capacity of the cognitive radio system.

It was developed an algorithm for the formation of the ensemble, taking into account the different values of the width of the subchannels in the corresponding frequency plans.

It was developed the simulation model of the signal system based on the QOFDM method.

It was performed the research of the correlation properties of the generated frequency plans based on quasiorthogonal access on subcarrier frequencies. Due to the nonlinear distribution of subcarrier frequencies in different frequency plans of one ensemble of signals, the subscriber capacity significantly increases, while there is a probability of a slight deterioration in the quality of the information transmission.

## REFERENCES

- Lysechko, V.P., Kornilova, S.Yu. and Ukhova, Ye.A. (2012), "Investigation of Frequency Resource Distribution Methods in Cognitive Radio Networks", *Collection of Scientific Papers of Kharkiv University of Air Forces*, No. 1 (31), pp. 137-145.
- Mitola, J. and Maguire, G.Q. (1999), "Cognitive Radio : Making Software Radios More Personal", *IEEE Pers. Commun.*, vol. 6, no. 4, Aug. 1999, pp. 173-185.
- Shimkiv, M.V., Lysechko, V.P., Progonny, O.M. and Gumenyuk, A.V. (2013), "Method of monitoring spectrum on the basis of digital harmonized filtering", *Bulletin of the National Technical University. Engineering and Electrophysics of High Voltages*, NTU "KhPI", No. 60 (1033), pp. 127-135.
- Lysechko, V.P. (2005), "The method of forming ensembles of complex signals based on sequences with minimal energy interaction", *Armament and military equipment systems*, No. 1 (1), pp. 65-68.
- Amin Salih M. and Potrus M.Y. (2015), "A Method for Compensation of Tcp Throughput Degrading During Movement Of Mobile Node", *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*, Vol. 27, No 6, pp. 59-68.
- Cherneva, G. and Dimkina, E. (2011), "An Invariance of the Performance of Noise-Resistance of Spread Spectrum Signals", *Proceedings of the 9th International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 5, No. 2, Poland, pp. 183-186.
- Dhivakar, B., Saravanan, S.V., Sivaram, M. and Krishnan R.A. (2012), "Statistical Score Calculation of Information Retrieval Systems using Data Fusion Technique", *Computer Science and Engineering*, Vol. 2, Issue 5, pp.43-45, doi: <http://doi.org/10.5923/j.computer.20120205.01>
- Lysechko, V.P. and Kharchenko, V.N. (2004), "The method of dealing with intra-system radio interference", *Collection of scientific papers of the KhVU, KhVU*, No. 2(30), Kharkiv, pp. 232-237.
- Kuchuk, G., Nechausov, S. and Kharchenko, V. (2015), "Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store", *International Conference on Information and Digital Technologies*, Zilina, pp. 266-271, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DT.2015.7222982>
- Ruban, I., Kuchuk, H. and Kovalenko A. (2017), "Redistribution of base stations load in mobile communication networks", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No 1 (1), P. 75-81, doi : <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>
- Sivaram, M., Yuvaraj, D., Amin Salih, Mohammed, Porkodi, V. and Manikandan V. (2018), "The Real Problem Through a Selection Making an Algorithm that Minimizes the Computational Complexity", *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, Vol. 8, iss. 2, pp. 95-100.
- Kovalenko, A. and Kuchuk H. (2018), "Methods for synthesis of informational and technical structures of critical application object's control system", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 1, pp. 22-27, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
- Sviridov, A., Kovalenko, A. and Kuchuk, H. (2018), "The pass-through capacity redevelopment method of net critical section based on improvement ON/OFF models of traffic", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 2, pp. 139-144, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
- Kuchuk, G., Kovalenko, A., Komari, I.E., Svyrydov, A. and Kharchenko, V. (2019), "Improving big data centers energy efficiency: Traffic based model and method", *Studies in Systems, Decision and Control*, vol 171, Springer Nature Switzerland AG, pp. 161-183, DOI: [http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4\\_8](http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8)

15. Svergunova, Yu.O., Lysechko, V.P. and Easy, D.O. (2015), "Method of Quasiorthogonal Frequency Multiplexing at Higher Frequencies", *Information and Control Systems for Rail Transport*, No. 2 (111), pp. 75–79.
16. Lysechko, V.P., Stepanenko, Yu.G., Sopronyuk, I.I. and Bruzzgina, N.O. (2010), "Investigation of the spectrum analysis methods in cognitive radio networks", *Collection of scientific works of the Kharkiv University of Air Forces*, No. 3 (25), pp. 137–145.
17. Amin Salih, M., Yuvaraj, D., Sivaram, M. and Porkodi, V. (2018), "Detection And Removal Of Black Hole Attack In Mobile Ad Hoc Networks Using Grp Protocol", *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, Vol. 9, No 6, pp. 1–6, DOI: <http://dx.doi.org/10.26483/ijarcs.v9i6.6335>

Received (Надійшла) 18.05.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.06.2019

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Свергунова Юлія Олександрівна** – аспірант кафедри «Транспортний зв'язок», Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна;

**Yuliia Sverhunova** – Postgraduate student, Department of Transport Communications, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [sverhunovayuliia@gmail.com](mailto:sverhunovayuliia@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8096-0313>

**Штомпель Микола Анатолійович** – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Транспортний зв'язок», Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна;

**Mykola Shtompel** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief of Department of Transport Communications, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [shtompel.mykola@kart.edu.ua](mailto:shtompel.mykola@kart.edu.ua); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3132-8335>

**Лисечко Володимир Петрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Транспортний зв'язок», Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна;

**Volodymyr Lysechko** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Transport Communications, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [lysechkov@ukr.net](mailto:lysechkov@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1520-9515>

**Ковтун Ірина Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Транспортний зв'язок», Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна;

**Iryna Kovtun** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Transport Communications, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [iryna\\_kovtun@ukr.net](mailto:iryna_kovtun@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0740-0539>

#### Квазиортогональний частотний доступ на піднесних частотах

Ю. О. Свергунова, М. А. Штомпель, В. П. Лисечко, І. В. Ковтун

В статті представлено принципи реалізації методу на основі квазиортогонального частотного доступу на піднесних частотах. Ключовим елементом квазиортогонального частотного доступу на піднесних частотах є використання індивідуального розподілу частотних піднесних в різних частотних планах ансамблю в загальній смузі частот, яке дозволяє значно збільшити абонентську ємність радіосистеми. Було розроблено алгоритм формування ансамблю із врахуванням різного значення ширини підканалів у відповідних частотних планах. Графічно представлено вигляд частотних планів при різній ширині смуги частот та залежності максимальних викидів функції взаємної кореляції частотних планів із врахуванням кількості піднесних та ширини підканалів. Для здійснення статистичного аналізу було побудовано імітаційну модель радіоканалу, графічно представлені результати статистичного аналізу взаємкореляційних властивостей частотних планів, досліджено кореляційні властивості складних сигналів на основі QOFDM. При застосуванні квазиортогонального доступу на піднесних частотах збільшиться абонентська ємність системи зв'язку та швидкість передачі інформації завдяки нелінійному розподілу піднесних частот.

**Ключові слова:** квазиортогональний частотний доступ на піднесних частотах; спектральні діри; частотні колізії; смуга частот; частотний план; ансамбль; абонентська ємність.

#### Квазиортогональный частотный доступ на поднесущих частотах

Ю. А. Свергунова, М. А. Штомпель, В. П. Лисечко, И. В. Ковтун

В статье представлены принципы реализации метода на основе квазиортогональных частотного доступа на поднесущих частотах. Ключевым элементом квазиортогональных частотного доступа на поднесущих частотах является использование индивидуального распределения частотных поднесущих в различных частотных планах ансамбля в общей полосе частот, которое позволяет значительно увеличить абонентскую емкость радиосистемы. Был разработан алгоритм формирования ансамбля с учетом разного значения ширины подканалов в соответствующих частотных планах. Графически представлены вид частотных планов при различной ширине полосы частот и зависимости максимальных выбросов функции взаимной корреляции частотных планов с учетом количества поднесущих и ширины подканалов. Для осуществления статистического анализа было построено имитационную модель радиоканала, графически представлены результаты статистического анализа взаимокорреляционных свойств частотных планов, исследованы корреляционные свойства сложных сигналов на основе QOFDM. При применении квазиортогональных доступа на поднесущих частотах увеличится абонентская емкость системы связи и скорость передачи информации, благодаря нелинейной распределения поднесущих частот.

**Ключевые слова:** квазиортогональный частотный доступ на поднесущих частотах; спектральные дыры; частотные коллизии; полоса частот; частотный план; ансамбль; абонентская емкость.

**АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК**

Артеменко А. М. (Artur Artemenko) .....	99	Лютов В. В. (Victor Lyutov) .....	69
Байрамов А. А. (Azad Agalar ogli Bayramov) .....	10	Мавлуд Х. А. (Hiwa Abdulkarim Mawlood).....	86
Берднік П. Г. (Polina Berdnik) .....	104	Малик О. С. (Oleg Malyk) .....	80
Бєсова О. В. (Oksana Biesova).....	99	Мандрікова Л. В. (Ludmila Mandrikova) .....	5
Бреславець В. С. (Vitaliy Breslavets) .....	109	Морозова О. І. (Olga Morozova) .....	60
Ванг Наннан (Wang Nannan) .....	22	Мохаммед А. С. (Amin Salih Mohammed).....	86
Вартанян В. М. (Vasily Vartanyan).....	64	Насібов Я. А. (Yashar Ali Ogly Nasibov).....	10
Василишин В. І. (Volodymyr Vasylyshyn) .....	69	Пікуль Р. В. (Rostislav Pikul) .....	80
Гавриленко С. Ю. (Svitlana Gavrylenko) .....	116	Поліщук Ю. Я. (Yuliia Polishchuk).....	91
Гашимов Е. Г. (Elshan Giyas oğlu Hashimov). .....	10	Постернакова В. А. (Veronika Posternakova)....	5
Герман Е. Є. (Eduard German ) .....	14	Пустовойтов П. Є. (Pavel Pustovoitov).....	22
Гнатюк С. О. (Sergiy Gnatyuk) .....	91	Радомська М. М. (Margaryta Radomska) .....	122
Гордійчук В. В. (Valerii Hordiichuk).....	28	Ромащенко Н. В. (Nataliia Romashchenko).....	73
Горішний В. І. (Volodymyr Horishni) .....	35	Сабзєв Е. Н. (Elhan Nariman oglu Sabziev)....	10
Деменкова С. Д. (Svetlana Demenkova) .....	14	Саравана Балаїї Б. (B. Saravana Balaji).....	86
Дубницький В. Ю. (Valeriy Dubnitskiy) .....	52	Свергунова Ю. О. (Yuliia Sverhunova).....	127
Євсєєв С. П. (Serhii Yevseiev) .....	73	Серков О. А. (Aleksandr Serkov) .....	22, 109
Жук П. В. (Pavlo Zhuk).....	80	Сидоренко В. М. (Viktoriia Sydorenko).....	91
Зубрицька Г. Г. (Halyna Zubrytska) .....	52	Симович Т. С. (Tetyana Symovych).....	5
Калантаєвська С. В. (Svitlana Kalantaievska) .....	80	Собчук В. В. (Valentin Sobchuk) .....	116
Карташ Ю. Г. (Yulia Kartash) .....	122	Співак І. Я. (Iryna Spivak) .....	35
Князєв В. В. (Volodymyr Knyazev).....	109	Струцінський О. В. (Oleh Strutsinskiy) .....	99
Ковтун І. В. (Iryna Kovtun) .....	127	Токарев В. В. (Volodymyr Tokariev) .....	22
Комін Д. С. (Dmytro Komin).....	69	Тюрніков М. М. (Mykhailo Tiurnikov) .....	80
Красовська І. Г. (Inessa Krasovska) .....	5	Хижняк І. А. (Irina Khizhnyak).....	40
Крепич С. Я. (Svitlana Krepych) .....	35	Ходирєв О. І. (Alexander Khodyrev).....	52
Кучук Н. Г. (Nina Kuchuk).....	116	Чалий С. Ф. (Serhii Chalysi).....	47
Лазуренко Б. О. (Bohdan Lazurenko) .....	22	Чурюмов Г. І. (Gennady Churyumov) .....	22
Лешинська І. О. (Irina Leshchynska) .....	47	Шишацький А. В. (Andrii Shyshatskyi) .....	80
Лешинський В. О. (Volodymyr Leshchynskiy) .....	47	Шматко О. В. (Oleksandr Shmatko) .....	73
Лисаченко І. Г. (Igor Lysachenko).....	14	Штейнбрехер Д. О. (Daria Shteinbrekher).....	64
Лисечко В. П. (Volodymyr Lysechko).....	127	Штомпель М. А. (Mykola Shtompel).....	127
Лукашук О. В. (Olena Lukashuk) .....	99	Шутинський О. Г. (Oleksii Shutynskiy).....	14
Лукова-Чуйко Н. В. (Nataliya Lukova-Chuiko).....	116	Яковенко І. В. (Igor Yakovenko).....	22, 109

Наукове видання

**Сучасні  
інформаційні системи****Advanced  
Information Systems**

Науковий журнал

Том 3, № 2

Відповідальний за випуск *С. Г. Семенов*Технічний редактор *Д. С. Гребенюк*Комп'ютерна верстка *Н. Г. Кучук*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 22522-12422Р від 13.01.2017 р.

Підписано до друку 06.07.2019 Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 21,0. Тираж 120 прим. Зам. 706-19

Адреса редакції: Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"  
Кафедра ОТП, вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків, Україна, тел. 707-61-65Віддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.  
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.  
Запис № 24800000000106167 від 08.01.2009.

61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34

e-mail: [bookfabrik@mail.ua](mailto:bookfabrik@mail.ua)