



Національний технічний університет  
“Харківський політехнічний інститут”

National Technical University  
“Kharkiv Polytechnic Institute”



# Сучасні інформаційні системи

Том 4, № 1

Щоквартальний  
науково-технічний журнал

Заснований у березні 2017 року

У журналі публікуються результати дослідень 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 редакції:**

kuchuk56@ukr.net

**Інформаційний сайт:**

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

Затверджений до друку Вченою Радою Національного технічного університету  
“Харківський політехнічний інститут” (протокол від 28 лютого 2020 року № 2).

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

Включений до “Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть  
публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук”  
до категорії Б – наказом Міністерства освіти і науки України від 07.05.2019 № 612 (додаток 7, п. 33)

Харків • 2020

## Редакційна колегія

### Головний редактор:

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

### Заступник головного редактора:

СЕМЕНОВ Сергій Геннадійович  
(д-р техн. наук, проф., 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., Жилина, Словаччина);  
КАРПІНСЬКИЙ Микола Петрович  
(д-р техн. наук, проф., Бельсько-Бяла, Польща);  
КОВАЛЕНКО Андрій Анатолійович  
(д-р техн. наук, проф., Харків, Україна);  
КОСТЕНКО Павло Юрійович  
(д-р техн. наук, проф., Харків, Україна);  
КУЧУК Георгій Анатолійович  
(д-р техн. наук, проф., Харків, Україна);  
ЛИТВИН 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, проф., Харків, Україна);  
МОХАММЕД Амін Саліх  
(д-р наук, доц., Ербіль, Ірак);  
ОСТАПОВ Сергій Едуардович  
(д-р фіз.-мат. наук, проф., Чернівці, Україна);  
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 Балайі 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);  
СТЕЦЬКО Юрій  
(канд. фіз.-мат. наук, Тампа, Флоріда, США);  
СУЧКОВ Григорій Михайлович  
(д-р техн. наук, проф., Харків, Україна);  
УШЕНКО Юрій Олександрович  
(д-р фіз.-мат. наук, проф., Чернівці, Україна);  
ФІЛАТОВА Ганна Євгенівна  
(д-р техн. наук, проф., Харків, Україна);  
ХАРЧЕНКО Вячеслав Сергійович  
(д-р техн. наук, проф., Харків, Україна);  
ШВАЧИЧ Геннадій Григорович  
(д-р техн. наук, проф., Дніпро, Україна);  
ШИШАЦЬКИЙ Андрій Володимирович  
(канд. техн. наук, Київ, Україна);

### Відповідальний секретар:

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

### Технічний секретар:

ГРЕБЕНІЮК Дарина Сергіївна  
(магістр комп. інж., Харків, Україна).

## Editorial board

### Editor-in-Chief:

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

### Associate editor:

Serhii SEMENOV  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., 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-Biała, Poland);  
Andrii KOVALENKO  
(Dr. Sc. (Tech.), 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 MAMUZIC  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Zagreb, Croatia);  
Ruslan MYGUSHCHENKO  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);  
Amin Salih MOHAMMED  
(Dr. (Comp. Eng.), Ass. Prof., Erbil, Iraq);  
Serhii OSTAPOV  
(Dr. Sc. (Ph-Math.), Prof., Chernivtsi, Ukraine);  
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);  
Aleksandr SERKOV  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);  
Alexey SMIRNOV  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kropyvnytskyi, Ukraine);  
Jonas STONKUNAS  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Vilnius, Lithuania);  
Yuri STETSKO  
(PhD (Ph-Math.), Tampa, Florida, USA);  
Hryhorii SUCHKOV  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);  
Yuri USHENKO  
(Dr. Sc. (Ph-Math.), Prof., Chernivtsi, Ukraine);  
Hanna FILATOVA  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);  
Viacheslav KHARCHENKO  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);  
Hennadii SHVACHICH  
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Dnipro, Ukraine);  
Andrii SHYSHATSKYI  
(PhD (Tech.), Kyiv, Ukraine).

### Responsible secretary:

Andrii PODOROZHNIAK  
(PhD (Tech.), Ass. Prof., Kharkiv, Ukraine).

### Technical secretary:

Daryna HREBENIUK  
(MSD of Comp. Eng., Kharkiv, Ukraine).

## З М И С Т

### ПРОБЛЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

**Бережній А. О., Тристан А. В., Лавров О. Ю.**  
Інформаційна технологія автоматизованого виявлення  
та ідентифікації стаціонарних об'єктів  
безпілотними літальними апаратами (eng.) ..... 5

**Хасанова С. А., Пашаєв А. Б., Сабзієв Е. Н.**  
Нечітка діагностика ґрунтів відповідно до Світової  
реферативної бази ґрунтових ресурсів (eng.) ..... 11

### МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

**Давидовський Ю. К., Рева О. А.,  
Малєєва О. В., Косенко В. В.**  
Застосування механізму ковзаючого вікна  
при моделюванні параметрів навантаження  
комп'ютерної мережі (eng.) ..... 16

**Мікалів Т. Н., Байрамов А. А.**  
Принципи застосування математичних моделей  
бойових дій і вогневого ураження  
в оперативній підготовці військ (eng.) ..... 23

**Наконечний О. В.**  
Математична модель прогнозування стану системи  
логістичного забезпечення сил оборони (eng.) ..... 28

### МЕТОДИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ

**Тверитникова О. Є., Дроздова Т. В., Демідова Ю. Є.**  
Екологічний менеджмент як складова інтегрованої  
системи управління на підприємствах із переробки  
газового конденсату та нафти (eng.) ..... 33

### МЕТОДИ СИНТЕЗУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

**Александров Є. Є., Александрова Т. Є., Костянік І. В.**  
Параметричний синтез цифрового інваріантного  
стабілізатора для нестационарного об'єкта (eng.) ..... 39

**Андрєєв С. М., Жілін В. А.**  
Методика створення атласів історичних картографічних  
моделей за даними аерофотозйомки з використанням  
геоінформаційних технологій ..... 45

**Годлевський І. М., Туревич М. Д., Медведєв В. В.**  
Інформаційна технологія формування варіантів  
конфігурації логістичного каналу дистрибуції ..... 63

**Краснобаєв В. А., Кошман С. О., Курчанов В. М.**  
Реалізація арифметичної операції додавання  
у системі залишкових класів (eng.) ..... 71

**Міланов М. В., Лещенко Ю. О.,  
Елізєва А. В., Артиух Р. В.**  
Розробка підсистеми інформаційної підтримки  
 медичних лікувально-профілактичних центрів (eng.) .... 77

### ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

**Кононов В. Б., Сакович Л. М., Коротченко Л. А.**  
Метод завдання послідовності перевірки  
радіоелектронних комплексів при технічному  
обслуговуванні за станом ..... 85

**Кузнецов О. Л., Коломійтцев О. В., Кійко А. С.,  
Ковалчук А. О., Садовий К. В.**  
Аналіз можливостей забезпечення необхідної точності  
вимірювання просторових координат повітряних  
об'єктів в радіолокаційній станції супроводження  
з фазовою антенною решіткою (eng.) ..... 91

## TABLE OF CONTENTS

### PROBLEMS OF IDENTIFICATION IN INFORMATION SYSTEMS

**Berezhnyi A., Trystan A., Lavrov O.**  
Information technology of automatic detection  
and identification of stationary objects  
with unmanned aerial vehicles ..... 5

**Hasanova S. A., Pashayev A. B., Sabziev E. N.**  
Fuzzy diagnostics of soils according  
to the World Reference Base for soil resources ..... 11

### INFORMATION SYSTEMS MODELING

**Davydovskiy Yu., Reva O.,  
Malyeyeva O., Kosenko V.**  
Application of the sliding window mechanism  
in simulation of computer network  
loading parameters ..... 16

**Mikayilov T. N., Bayramov A. A.**  
Principles of using the mathematical models of combat  
activities and means of destructions during  
operational preparation of the troops ..... 23

**Nakonechnyi O.**  
Mathematical model for forecasting the state  
of a logistical system of state defense ..... 28

### ADAPTIVE CONTROL METHODS

**Tverytnykova E., Drozdova T., Demidova Yu.**  
Environmental management as a component  
of an integrated management system for gas  
condensate and oil processing enterprises ..... 33

### METHODS OF INFORMATION SYSTEMS SYNTHESIS

**Aleksandrov Eu., Aleksandrova T., Kostianyk I.**  
Parametric synthesis of the digital invariant stabilizer  
for a non-stationary object ..... 39

**Andrieiev S., Zhilin V.**  
Methods for creating atlases of historical cartographic  
models based on aerial photography using geographic  
information technologies (ukr.) ..... 45

**Godlevskyi I., Turevych M., Medvediev V.**  
Information technology forming options for logistics  
distribution channel configuration (ukr.) ..... 63

**Krasnobayev V., Koshman S., Kurchanov V.**  
Implementation of the arithmetic addition operation  
in the system of residual classes ..... 71

**Milanov M., Leshchenko Yu.,  
Yelizieva A., Artiukh R.**  
Development of the application of information support  
of medical diagnostic and treatment centers ..... 77

### INFORMATION SYSTEMS RESEARCH

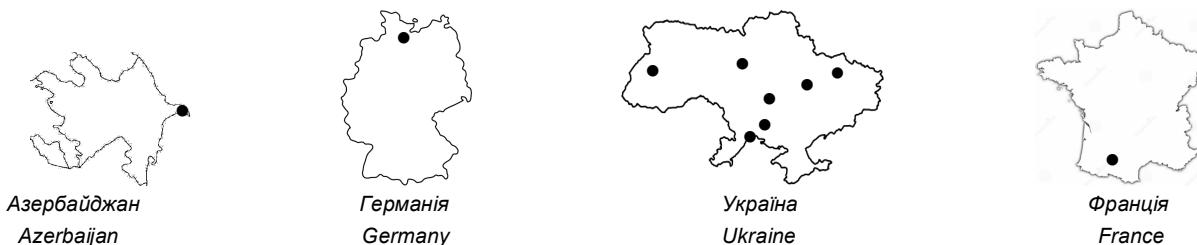
**Kononov V., Sakovich L., Korotchenko L.**  
The method of specifying the sequence of verification  
of radio-electronic complexes during maintenance  
as of state (ukr.) ..... 85

**Kuznetsov O., Kolomiițev O., Kijko A.,  
Kovalchuk A., Sadovyi K.**  
Analysis of possibilities of providing of necessary  
exactness of measuring of spatial coordinates  
of air objects in the radiolocation station  
of accompaniment with phase aerial by a grate ..... 91

<b>Кучук Н. Г., Мерлак В. Ю., Скороделов В. В.</b> Метод зменшення часу доступу до слабкоструктурованих даних ..... 97	<b>Kuchuk N., Merlak V., Skorodelov V.</b> A method of reducing access time to poorly structured data (ukr.) ..... 97
<b>Хмелевський С. І., Павленко М. А., Петров О. В.</b> Метод аналізу інформації про ситуацію, що складається в АСУ спеціального призначення (eng.) ... 103	<b>Khmelevskiy S., Pavlenko M., Petrov O.</b> Information analysis method about current situations in ACS of special operations ..... 103
<b>Шишацький А. В., Сугак С. О., Тюрніков М. М., Ляшенко Г. Т., Бокхно Т. Р., Бондар О. П., Мельник А. О.</b> Методика оцінки ефективності системи зв'язку оперативного уgrupовання військ (eng.) ..... 107	<b>Shyshatskyi A., Suhak S., Tiurnikov M., Lyashenko A., Bokhno T., Bondar O., Melnik A.</b> Method of assessment of the efficiency of the communication of operational troop grouping system ..... 107
<b>ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ</b>	
<b>Гороховатський В. О., Пупченко Д. В., Стяглик Н. І.</b> Дослідження трансформацій простору даних при навчанні мережі Кохонена у методах структурної класифікації зображень ..... 113	<b>Gorokhovatsky V., Pupchenko D., Stiahlyk N.</b> Research of data space transformation in Kohonen network training for methods of structural classification of images (ukr.) ..... 113
<b>МЕТОДИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ</b>	
<b>Певнев В. Я., Поповиченко О. М., Цокота Я. В.</b> Технології захисту веб-застосунків (eng.) ..... 119	<b>METHODS OF INFORMATION SYSTEMS PROTECTION</b>
<b>ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ</b>	
<b>Бортник С. О., Бойко О. А., Пилипшишин О. В., Юсухно Є. А., Максіменко О. М., Коутний Є. М., Сокіл Ю. М.</b> Метод ранжування об'єктів розвідки під час обробки розвідувальних відомостей (eng.) ..... 124	<b>Bortnyk S., Boiko O., Pylypyshyn O., Yusukhno Ye., Maksymenko O., Koutnyi Ye., Sokil Yu.</b> Method of arrangements of exploration objects during the exploration of data ..... 124
<b>Бутенко О. С., Горелік С. І., Топчий А., Брижаченко Т.</b> Оцінка динаміки змін екологічного стану східних територій України з використанням даних космічного моніторингу Землі (eng.) ..... 130	<b>Butenko O., Gorelik S., Topchiy A., Bryzhachenko T.</b> Assessment of the dynamics of environmental changes in eastern Ukraine using the data of the earth space monitoring ..... 130
<b>Іманов Р. Р., Байрамов А. А.</b> Розвиток польових вузлів зв'язку на основі сучасних телекомунікаційних технологій (eng.) ..... 136	<b>Imanov R. R., Bayramov A. A.</b> Development of field signal centers based on the modern telecommunication technologies ..... 136
<b>Тимочко О. І., Ларін В. В., Осієвський С. В., Тимочко О. О., Ахмед Абдалла</b> Метод обробки відеоінформаційних ресурсів для систем навігації та управління рухом (eng.) ..... 140	<b>Tymochko O., Larin V., Osieievskyi S., Timochko O., Abdalla A.</b> Method of processing video information resource for aircraft navigation systems and motion control ..... 140
<b>Алфавітний покажчик</b> ..... 146	<b>Alphabetical index</b> ..... 146

За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор.

**Географія статей цього номера**



# Problems of identification in information systems

UDC 004.932.72+528.8(043.3)

doi: 10.20998/2522-9052.2020.1.01

A. Berezhnyi, A. Trystan, O. Lavrov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

## INFORMATION TECHNOLOGY OF AUTOMATIC DETECTION AND IDENTIFICATION OF STATIONARY OBJECTS WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES

**Abstract.** The subject matter of the article is the process of developing information technology for the automated detection and identification of stationary objects by unmanned aerial vehicles arises. The goal of the study is to development of the main points for information technology of automated detection and identification of stationary objects by unmanned aerial vehicles. The tasks to be solved are: the structural diagram of the preparatory stage of information technology for automated detection and identification of stationary objects is constructed; the structural diagram of the basic, additional and final stages of information technology automated detection and identification of fixed objects is constructed. General scientific and special methods of scientific knowledge are used. One of the most effective approaches to the recognition and identification of objects is an approach based on the use of deep learning methods. A new model of UAV motion is proposed based on image recognition methods. The methods of pattern recognition with application of neural networks are considered in detail in this work too. The following results are obtained. The developed information technology is implemented in four stages: preparatory, basic, additional and final. Each stage consists of separate procedures aimed at collecting, processing, storing and transmitting information during the flight UAV. **Conclusions.** Information technology for the automated detection and identification of stationary objects by unmanned aerial vehicles is based on the knowledge-oriented representation of the stages of image processing of objects on digital aerial photographs on board the UAV. This allows to provide intelligent real-time data processing, changing UAV flight routes depending on the objects detected to improve the effectiveness of the search tasks. Further development of this information technology lies in the development of automated methods of planning UAV routes, automatic change of route parameters in flight processes (performance of a flight task), based on knowledge-oriented technologies. Information technology for the automated detection and identification of stationary objects by unmanned aerial vehicles can become an element of intelligent decision support systems for the use of UAVs (teams of UAVs) to search for both stationary and dynamic objects.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle; information technology; recognition and identification; route planning; stationary object; decision support system.

### Introduction

#### Formulation of the problem and research tasks.

The modern development of unmanned aerial vehicles suggests that unmanned aerial vehicles (UAVs) can be used to perform extremely complex monitoring tasks, both stationary and dynamic objects, which can allow: changing the purpose of the UAV mission in flight, making optimal decisions about the choice of flight routes UAVs, adaptation of the flight task to various factors of the UAV state and the environment, implementation of these tasks with high promptness and accuracy. That is, the transfer of part of the intellectual functions of the human operator to the intellectual information technology. The problem with monitoring stationary and dynamic objects is that there is a conflict between the size of the search area and the size of the objects. The solution of this contradiction is possible through the autonomous operation of the UAV, changing the route of its flight (flight task) by the results of automatic object recognition. Modern UAVs include an autopilot and a powerful on-board complex that can perform these tasks provided it is equipped with the appropriate information technologies. Thus, the relevant task of developing information technology for the

automated detection and identification of stationary objects by unmanned aerial vehicles arises.

**Analysis of recent research and publications** on the above issues shows the relevance of this one. The analysis of domestic and foreign publications on the topic of the article made it possible to conclude that there is considerable interest in these research. A number of works that were used in the writing of the article should be highlighted. In [1], an adaptive image background subtraction method was used to automatically detect dynamic objects. In [2], a new model of UAV motion is proposed based on image recognition methods. Articles [3, 7] address the problem of development goal functions for autonomous search and tracking UAV targets, but does not bind to pattern recognition models. Models and methods of pattern recognition with application of neural networks are considered in detail in [4]. The basis of developed information technology became the methods which were considered in [5]. An important source for this research is the monograph [6], which sufficiently describes the development of information technology to solve the problems of navigation and control.

The goal of this work is to development of the main points for information technology of automated

detection and identification of stationary objects by unmanned aerial vehicles. General scientific and special **methods** of scientific knowledge are used. One of the most effective approaches to the identification and recognition of objects is an approach based on the use of deep learning methods. A new model of UAV motion is proposed based on image recognition methods. The methods of pattern recognition with application of neural networks are considered in detail in this work too. An adaptive image background subtraction method was used to automatically detect dynamic objects.

### Main material

To form a training sample, a simulation of the process of identifying the parameters shown in table 1 is performed. The class alphabet includes all the object classes that you want to identify and classify. Each class excludes several subclasses (types). Fig. 1 shows the simulation results of the detection process. Fig. 1, a and 1, b are elements of the tank class, and Fig. 1, c and 1, d

are elements of the APC class. Each image is annotated with a text file that describes the coordinates of the center of the object and its linear dimensions in pixels.

*Table 1 – Training sample parameters*

Parameter	The minimum value	The maximum value
Detail filming	0,07 m	0,22 m
Perspective filming	0°	30°
Rotate the object	0°	360°
Contrast object and background	0,2	0,4
Rotate the shadows	0°	360°
The corner of incidence of the sun's rays	0°	90°
Textures of painting objects	30	–
Examples to class	10 000	–
Image size	512x512 pixels	–



**Fig. 1.** Examples of training sample images

The training sample allows you to obtain the neural network weighting coefficients for the selected topology. The Detect Net topology was used in this article.

Information technology of automated detection and identification of stationary objects by unmanned aerial vehicles is realized through the use of [1-11]:

- UAV flight data inputs, characteristics of optoelectronic equipment, flight parameters, digital images of the earth's surface, a priori data about stationary detection objects;

- output data (documented information about the results of detection and classification of stationary objects);

- a preparation module for operation (training),

which includes procedures that realize the method of forming a training sample of images and training the neural network to identify and classify stationary objects [5];

- a data processing module that includes procedures for pre-processing graphic information; procedures implementing the method of automated detection and classification of stationary objects on board UAVs;

- a storage module that includes a procedure for documenting data obtained during the search process and the means for storing it;

- a data transfer module that includes a procedure for transmitting intelligence reports to consumers and means of transmitting them.

In the development of a generalized structure of information technology for the automated detection and identification of stationary objects (Fig. 2, 3), the results obtained in the article [5] are taken into account: - model of detection and classification of stationary objects;

- defined assumptions and limitations of the method of automated parallel detection and classification of stationary objects;

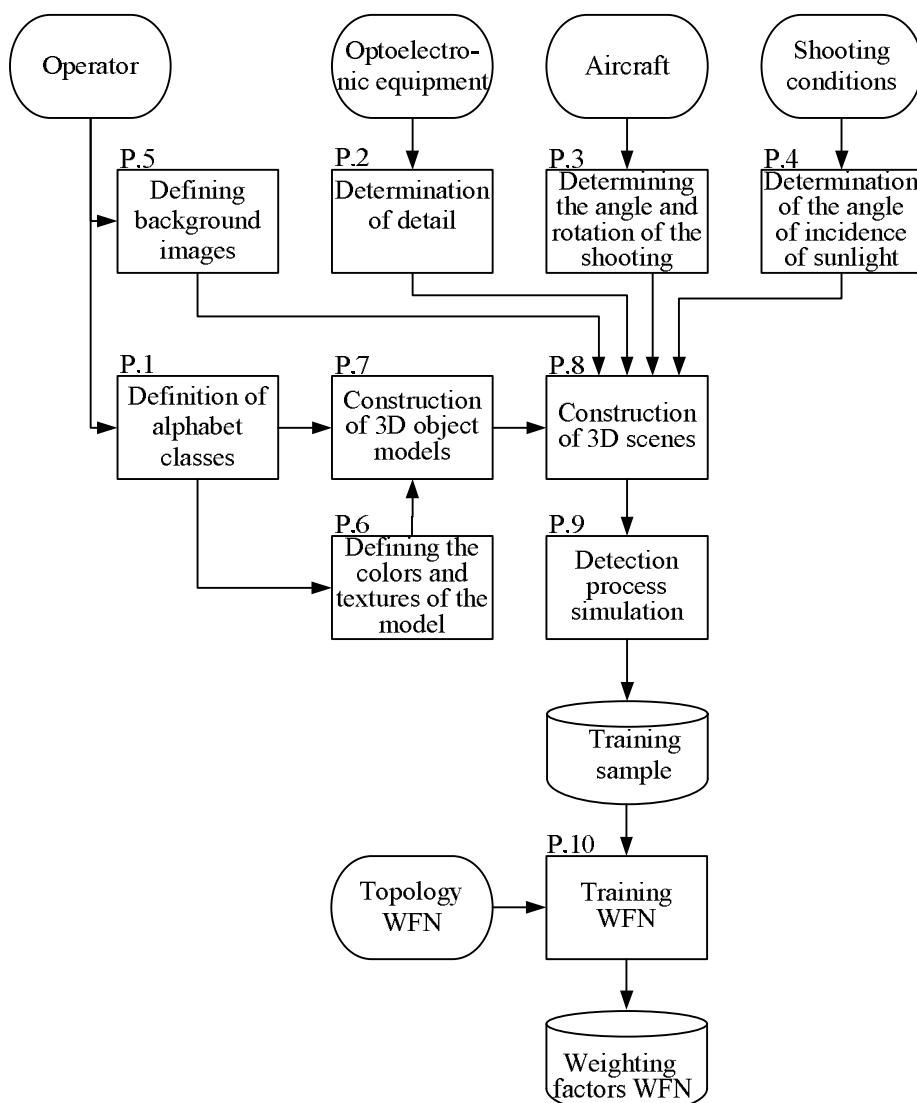
- topology of the wraparound fuzzy network; - method of automated parallel detection and classification of stationary objects;

- method of forming a training sample of images

for training a wraparound fuzzy network on the detection and classification of stationary objects.

The developed information technology is implemented in four stages - preparatory, basic, additional and final. Each stage consists of separate procedures aimed at collecting, processing, storing and transmitting information during the flight.

The first (preparatory) stage of the IT functioning is performed before the flight begins. Outputs include the topology and the weights of the wraparound fuzzy network (WFN) which are transmitted to perform the main stage of IT functioning.



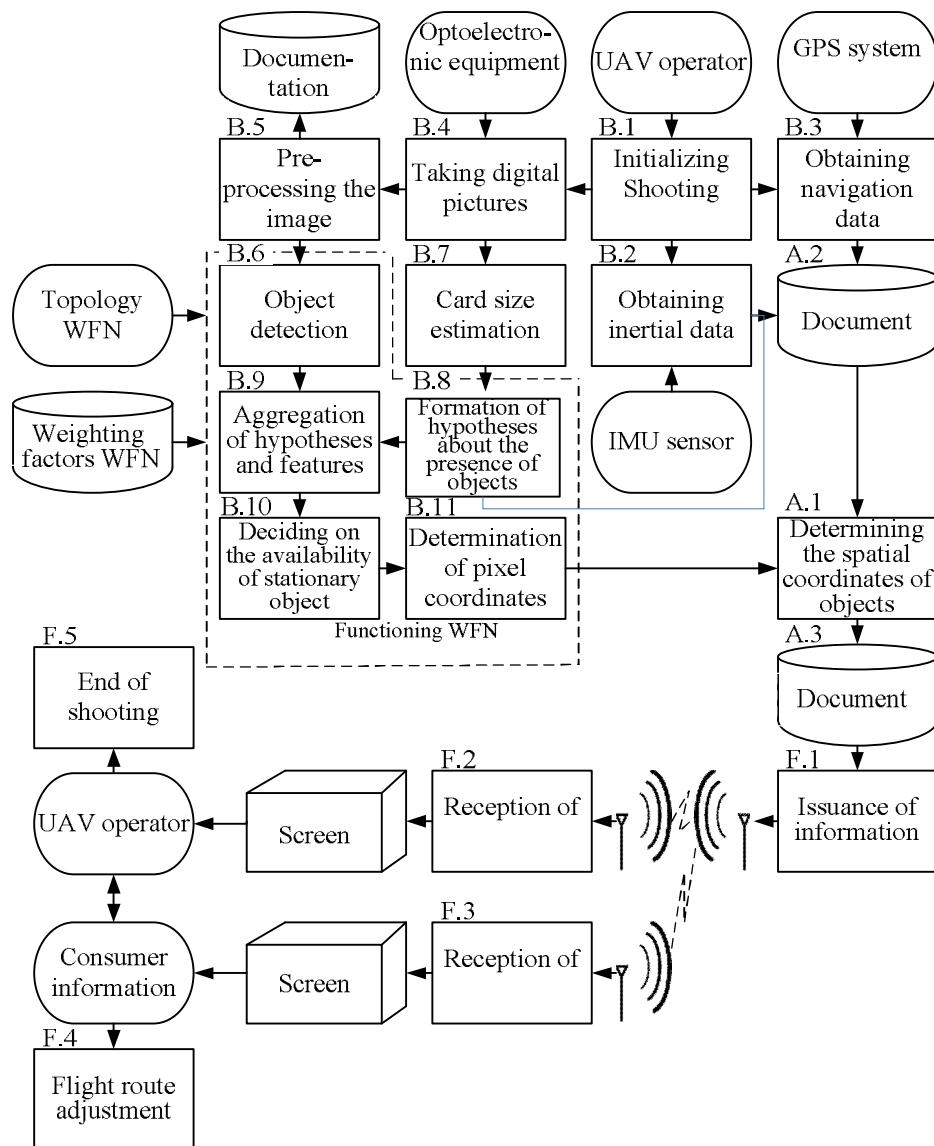
**Fig. 2.** Structural diagram of the preparatory stage of information technology for automated detection and identification

At the end of the preparatory stage, the files of the topology and the weights of the wraparound fuzzy network in the CAFFE format are copied from the module for preparation to operation (training) to the module of processing. The correct functioning of IT and preparation for the use of UAV for its purpose are carried out.

The basic, additional and final stages of IT operation (Fig. 2) are performed during the UAV flight. The input data for the relevant stages are the operator

commands of the beginning and ending operations, digital images of the earth's surface obtained from optoelectronic equipment of the UAVs, navigation and inertia data, as well as the topology and weighting factors of the WFN obtained during the preparatory stage.

The baseline data of the main stage of IT functioning are intelligence reports, documented data of optoelectronic equipment unmanned aerial vehicles, inertial and navigation sensors, detection and identification results.



**Fig. 3.** Structural diagram of the basic, additional and final stages of information technology automated detection and identification of stationary objects

The key procedure for the operation of information technology is the automatic detection and classification of objects from the classes alphabet in the image.

A portion of an aerial photograph of 512x512 pixels is served at the entrance to the procedure, Fig. 4.

During the operation of the convolutional neural network, features are highlighted by filtering the input image with different convolution nuclei. The coefficients of the convolution nuclei are obtained in the learning process.

The result of filtering the input image into 64 convolution nuclei of 7x7 pixels is shown in Fig. 5.

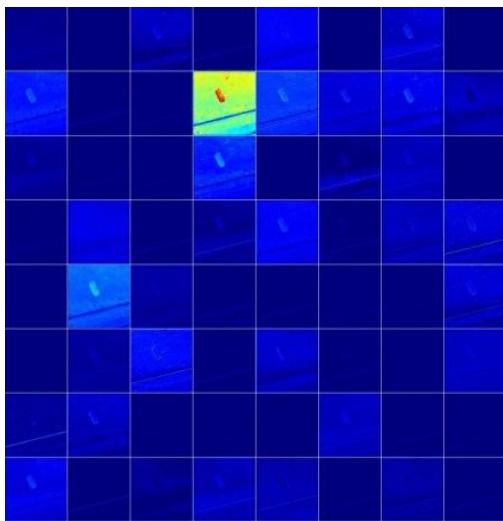
The result of the operation of network is a vector for each element of the class, if it presents in the image. For the given image (Fig. 4), the vector takes the following form (82, 66, 135, 124, 0.89863281), where 82, 66, 135, 124 are the coordinates of the corners of the rectangle in which the object of the class "APC" is inscribed; 0.89863281 - mean Average Precision estimation of the presence of object an "APC" in a rectangle.



**Fig. 4.** Example of a digital shot of a simple OED object

Thus, the developed information technology of automated detection and identification of stationary

objects with the use of WFN allows to receive, process, store and transmit information on the results of detection and identification of stationary objects on board the UAV.



**Fig. 5.** Example processing result

## Conclusions and prospects for further research

1. Information technology for the automated detection and identification of stationary objects by unmanned aerial vehicles is based on the knowledge-oriented representation of the stages of image processing of objects on digital aerial photographs on board the UAV. This allows to provide intelligent real-time data processing, changing UAV flight routes depending on the objects detected to improve the effectiveness of the search tasks.

2. Further development of this information technology lies in the development of automated methods of planning UAV routes, automatic change of route parameters in flight processes (performance of a flight task), based on knowledge-oriented technologies.

3. Information technology for the automated detection and identification of stationary objects by unmanned aerial vehicles can become an element of intelligent decision support systems for the use of UAVs (teams of UAVs) to search for both stationary and dynamic objects.

## REFERENCES

1. Kamate, S. and Yilmazer, N. (2015), *Application of Object Detectionand Tracking Techniques for Unmanned Aerial Vehicles*, Texas A&M University – Kingsville, Kingsville, TX 78363, USA.
2. Saifuddin Saif, A. F. M., Prabuwono, Anton Satria and Mahayuddin, Zainal Rasyid (2014), “Moving Object Detection Using Dynamic Motion Modelling from UAV Aerial Images”, *Hindawi Publishing Corporation the Scientific World Journal*, Vol. 2014, Article ID 890619, 12 p., DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/890619>
3. Vesselin P. Jilkov, X. Rong Li and Donald DelBalzo (2007), “Best combination of multiple objectives for UAV search & track path optimization”, *10th International Conference on Information Fusion Date of Conference: 9-12 July 2007 Date Added to IEEE Xplore: 26 December 2007 CD-ROM ISBN: 978-0-662-45804-3 INSPEC Accession Number: 9856084 DOI: 10.1109/ICIF.2007.4408202*
4. Krizhevsky, A., Sutskever, I. and Hinton, G.E. (2012), “Imagenet classification with deep convolutional neural networks”, *Advances in neural information processing systems*, pp. 1097-1105.
5. Olibarenko, S.A., Lavrov, O.Yu. and Kapranov, V.A. (2016), “Methodology for creating a platform for deep learning modeling in the interests of developing systems for automated decoding of aerial photographs”, *Information Processing Systems*, No. 9 (146), pp. 41-43.
6. Krasiltsikova, M.N. and Sebryakova, G.G. (2009), *Modern information technology in the problems of navigation and guidance of unmanned maneuverable aircraft*, FIZMATLIT, Moscow, 556 p.
7. 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>
8. 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. DOI: [http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4\\_8](http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8)
9. Kuchuk, H., Kovalenko, A., Ibrahim, B.F. and Ruban, I. (2019), “Adaptive compression method for video information”, *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, pp. 66-69, DOI: <http://dx.doi.org/10.30534/ijatcse/2019/1181.22019>
10. Svyrydov, A., Kuchuk, H., Tsypa, O. (2018), “Improving efficiency of image recognition process: Approach and case study”, *Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies*, DESSERT 2018, pp. 593-597, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409201>
11. Korolyuk, N.A. and Eremenko, S.N. (2015), “Intelligent decision support system for controlling unmanned aerial vehicles at a ground control point”, *Information Processing Systems*, No. 8 (133), pp. 31-36.

Received (Надійшла) 03.12.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 03.02.2020

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Бережний Андрій Олександрович** – начальник штабу – перший заступник начальника університету, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна;  
**Andrii Berezhnyi** – Chief of staff, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [vkadres@ukr.net](mailto:vkadres@ukr.net); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7928-2201>

**Тристан Андрій Вікторович** – доктор технічних наук, начальник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна;

**Andrii Trystan** – Doctor of Technical Science, Chief of Scientific Research Department of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [andr.trystan@gmail.com](mailto:andr.trystan@gmail.com); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2137-5112>.

**Лавров Олег Юрійович** – кандидат технічних наук, науковий співробітник наукового центру Повітряних Сил, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна;

**Oleh Lavrov** – Candidate of Technical Sciences, Research Associate of Scientific Research Department of Scientific Center of University, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [lavrov1107@gmail.com](mailto:lavrov1107@gmail.com); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1292-5986>

### **Інформаційна технологія автоматизованого виявлення та ідентифікації стаціонарних об'єктів безпілотними літальними апаратами**

А. О. Бережний, А. В. Тристан, О. Ю. Лавров

**Анотація.** Предметом вивчення в статті є процес розробки інформаційної технології автоматизованого виявлення та ідентифікації стаціонарних об'єктів безпілотними літальними апаратами. **Метою дослідження** є розробка основних положень інформаційної технології автоматизованого виявлення та ідентифікації стаціонарних об'єктів безпілотними літальними апаратами. **Задачі:** побудова структурної схеми підготовчого етапу інформаційної технології автоматизованого виявлення та ідентифікації стаціонарних об'єктів; побудова структурної схеми основного, додаткового та заключного етапів інформаційної технології автоматизованого виявлення та ідентифікації стаціонарних об'єктів. Методологічною основою дослідження стали загальнонаукові та спеціальні **методи** наукового пізнання. Одним з найбільш ефективних підходів на шляху до виявлення та ідентифікації об'єктів є підхід, що базується на використанні методів глибокого навчання. На основі методів розпізнавання зображень запропонована нова модель руху. Застосовано методи розпізнавання образів із застосуванням нейронних мереж. Отримані такі **результати**. Розроблена інформаційна технологія реалізується в чотири етапи: підготовчий, основний, додатковий та заключний. Кожний етап складається з окремих процедур, направлені на збір, обробку, зберігання та передачу інформації в процесі польоту БПЛА. **Висновки.** Інформаційна технологія автоматизованого виявлення та ідентифікації стаціонарних об'єктів безпілотними літальними апаратами базується на знанняорієнтованому представлений етапів обробки зображень об'єктів на цифрових аерофотознімках на борту безпілотного літального апарату. Це дозволяє забезпечити інтелектуальну обробку даних в режимі часу, наближеного до реального, змінювати маршрути польоту БПЛА в залежності від виявленіх об'єктів для підвищення ефективності рішення задач пошуку. Подальший розвиток даної інформаційної технології полягає у розробці автоматизованих методів планування маршрутів руху БПЛА, автоматичної зміни параметрів маршруту в процесі польоту (виконанні польотного завдання), що засновується на знанняорієнтованих технологіях. Інформаційна технологія автоматизованого виявлення та ідентифікації стаціонарних об'єктів безпілотними літальними апаратами може стати елементом інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень на застосування БПЛА (колективів БПЛА) для пошуку як стаціонарних, так і динамічних об'єктів.

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат; інформаційна технологія; розпізнавання та ідентифікація; планування маршруту; стаціонарний об'єкт; система підтримки прийняття рішень.

### **Информационная технология автоматизированного обнаружения и идентификации стационарных объектов беспилотными летательными аппаратами**

А. А. Бережной, А. В. Тристан, О. Ю. Лавров

**Аннотация.** Предметом изучения в статье является процесс разработки информационной технологии автоматизированного обнаружения и идентификации стационарных объектов беспилотными летательными аппаратами. Целью исследования является разработка основных положений информационной технологии автоматизированного обнаружения и идентификации стационарных объектов беспилотными летательными аппаратами. **Задачи:** построение структурной схемы подготовительного этапа информационной технологии автоматизированного обнаружения и идентификации стационарных объектов; построение структурной схемы основного, дополнительного и заключительного этапов информационной технологии автоматизированного обнаружения и идентификации стационарных объектов. Методологической основой исследования стали общенаучные и специальные **методы** научного познания. Одним из наиболее эффективных подходов для обнаружения и идентификации объектов является подход, который базируется на использовании методов глубокого обучения. На основе методов распознавания образов с использованием нейронных сетей. Получены такие **результаты**. Разработанная информационная технология реализуется в четыри этапа: подготовительный, основной, дополнительный и заключительный. Каждый этап состоит из отдельных процедур, направленных на сбор, обработку, хранение и передачу информации в процессе полета БПЛА. **Выводы.** Информационная технология автоматизированного обнаружения и идентификации стационарных объектов беспилотными летательными аппаратами базируется на знаниеориентированном представлении этапов обработки изображений объектов на цифровых аэрофотоснимках на борту беспилотного летательного аппарата. Это позволяет обеспечить интеллектуальную обработку данных в режиме времени, приближенного к реальному, изменять маршруты полета БПЛА в зависимости от выявленных объектов для повышения эффективности решения задач поиска. Дальнейшее развитие этой информационной технологии состоит в разработке автоматизированных методов планирования маршрутов движения БПЛА, автоматической смены параметров маршрута в процессе полета (выполнении полетного задания), которое основывается на знаниеориентированных технологиях. Информационная технология автоматизированного обнаружения и идентификации стационарных объектов беспилотными летательными аппаратами может стать элементом интеллектуальной системы поддержки принятия решений для использования БПЛА (коллективов БПЛА) для поиска как стационарных, так и динамических объектов.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный апарат; информационная технология; распознавание и идентификация; планирование маршрута; стационарный объект; система поддержки принятия решений.

S. A. Hasanova<sup>1</sup>, A. B. Pashayev<sup>1</sup>, E. N. Sabziev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Control Systems of ANAS, Baku, Azerbaijan

<sup>2</sup> Kiber Ltd Company, Baku, Azerbaijan

## FUZZY DIAGNOSTICS OF SOILS ACCORDING TO THE WORLD REFERENCE BASE FOR SOIL RESOURCES

**Abstract.** Soil classification remains one of the most controversial topics in the world soil science because of differences in the principles underlying it. As of today, many countries have developed and use their own national classifications. Since scientific classification facilitates successful investigation and proper use of soils, the issue arises of representation of one classification in another. In the paper the possibility of applying fuzzy technologies to soil diagnostics based on the World Reference Base for Soil Resources is considered. A trapezoidal form of membership functions of the parameter set of diagnostic horizons is proposed. The algorithm of fuzzy diagnostics is presented on the basis of the proposed functions.

**Conclusion.** The paper proposes a fuzzification mechanism for the set of indicators of diagnostic parameters and describes the algorithm of the system of fuzzy inference about the identification of the values of the corresponding parameters in accordance with the compositional inference rule. Thus, the effectiveness of the use of fuzzy technologies in soil diagnostics by the World Reference Base for Soil Resources is demonstrated.

**Keywords:** information model; soil; fuzzy technologies; soil classification; diagnostic horizon; diagnostic parameters.

### Introduction

Such classifications include, for instance, the soil classification of Australia (Australian Soil Classification, 2002) [1], Azerbaijan (M.P. Babayev's classification, 2006), Belarus (Belarusian soil classification, 1997) [2], Brazil (Sistema Brasileiro de Classificacao Solos, 1999) [3, p.1-3], Germany (Harmonization of Soil Survey Classification-Blending East with West, 1990), Canada (Canadian System of Soil Classification, 1995) [4], Russia (V.V. Dokuchaev's classification, 1977) [5], USA (Keys to Soil Taxonomy, 2003) [6], France (Referentiel Pedologique, 2008) [7, p.166] etc. The foundation of the work on the creation of an international soil classification was laid back in the 1970s by Professor R. Dusal [8]. Afterwards, a consolidated program was developed, which was later named "World Reference Base for Soil Resources" (WRB) [9]. The main objective of WRB was the introduction of the latest achievements in soil science related to the study of global soil resources and their interrelationships.

Since scientific classification facilitates successful investigation and proper use of soils, the issue arises of representation of one classification in another. The process of determining whether a soil belongs to a particular class of soils in the classification in question is called soil diagnostics. Each of these classifications has its own diagnostic algorithm. There is a certain number of soil parameters, by which a soil is placed in one class or another. However, the measurement range of these parameters is often approximate, fuzzy. In view of the above, this paper is devoted to the study of the possibility of applying fuzzy technologies to soil diagnostics based on the World Reference Base for Soil Resources.

### On the priority of the defining classification factor

It should be noted that, depending on the structural principle, different classifications use different

parameters and use them in different sequences. In soil classification, different soil science schools prioritize different criteria based on the objective at hand. Here is an example showing the importance of the sequence of classification criteria applied.

We shall consider three notional tomato cultivars. Let each cultivar be characterized by three parameters: yield, disease resistance and water requirement. Assume that the first cultivar has a high yield, but is not resistant to diseases and requires abundant watering (Table 1). The second cultivar is resistant to diseases and has a high water requirement but an average yield. And the third cultivar is not disease-resistant, has an average yield but a low water requirement.

*Table 1 – Values of the indicators for different tomato cultivars in conventional units*

Indicator	Cultivar		
	I	II	III
Yield	1.0	0.8	0.6
Disease resistance	0.8	0.1	1.0
Water requirement	0.7	0.5	1.0

Assume that, for the purpose of cultivation, three farmers need to classify these tomato cultivars into three categories, "Preferred", "Allowed", "Undesirable". It is known that the first farmer grows tomatoes in a greenhouse, where all the conditions required for the optimal development of plants can be created; the second farmer works in an arid zone with limited irrigation water, and the third one – in the ecological area, where the use of chemicals is not allowed.

It is obvious that the first farmer prioritizes the criterion of yield, the second farmer proceeds from cultivation in the conditions of limited water resources, and the third farmer prioritizes the resistance of the cultivar to diseases. Consequently, the preferences of these farmers will be as specified in Table 2. This example demonstrates that changing the sequence of the applied classification criteria can lead to completely different results.

Table 2 – Farmers' preferences for cultivars

Class	Farmer		
	1	2	3
Preferred	I	II	III
Allowed	II	I	I
Undesirable	III	III	II

### Fuzzy nature of diagnostic parameters

The defining factors in the soil diagnostics are genetic horizons. There are 37 of them in the WRB system. Each of these horizons is estimated on the basis of the values of specific sets of parameters. Table 3 gives examples of genetic horizons [9].

Table 3 – Some genetic horizon according to the WRB classification

Genetic horizon	Parameters
Protovertic horizon	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clay;</li> <li>• Wedge-shaped soil aggregates;</li> <li>• Shrink-swell cracks;</li> <li>• Coefficient of linear extensibility;</li> <li>• Thickness.</li> </ul>
Salic horizon	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH water;</li> <li>• Soluble salts;</li> <li>• Thickness;</li> <li>• Consist of organic or mineral material.</li> </ul>
Petrogypsic horizon	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Secondary gypsum (<math>\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}</math>);</li> <li>• Gypsum (by mass);</li> <li>• Thickness.</li> </ul>
Fragic horizon	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consists of mineral material;</li> <li>• Soil organic carbon;</li> <li>• Penetration resistance at field capacity;</li> <li>• Effervescence.</li> </ul>

At present, the WRB classification includes 32 reference soil groups. However, when assigning a soil to a reference soil group, not all parameters are used.

Depending on the reference soil group, the parameters under consideration also change. Let us illustrate this with the following example. Take two reference soil groups, Fluvisols and Histosols. When assigning a soil to Histosols, the thickness of the horizon of organic materials is considered first, and in Fluvisols, it is the presence of alluvial material in the soil profile that is primarily taken into account.

The total number of parameters that characterize a soil is 28, and most of them have a fuzzy range of measurement.

We give some of these parameters as an example below in Table 4.

It should also be noted that the values of these parameters are measured with a certain error; therefore, their mean values are used in soil diagnostics.

Thus, sets of indicators can be determined as corresponding elements of fuzzy sets [10].

In the following paragraphs, we shall perform the fuzzification of a set of indicators of diagnostic parameters, applying the fuzzy technology to the description of the data, after which we shall use fuzzy inference rules to carry out clustering of soils according to the WRB system.

Table 4 – Some diagnostic parameters of soils

Parameter, unit of measurement	Parameter value	Lower limit value	Upper limit value
Granulometric composition, mm	Clay	0	0.002
	Ooze	0.002	0.05
	Very fine grained sand	0.05	0.10
	Fine grained sand	0.10	0.25
	Medium sand	0.25	0.50
	Coarse sand	0.50	1
Boundary between horizon, sm	Very coarse sand	1	2
	Sharp	0	2
	Clear	2	5
	Gradual	5	15
Gypsum content, %	Diffuse	15	
	There is no gypsum		0
	Weak-gypsum	0	5
	Medium-gypsum bearing	5	15
	Strongly hygroscopic	15	60
Acid of water in soil (pH), conventional unit from 0 to 14	Very strongly hyposonic	60	
	Ultra acidic	0	3.5
	Extremely acidic	3.5	4.4
	Very strongly acidic	4.5	5.0
	Strongly acidic	5.1	5.5
	Moderately acidic	5.6	6.0
	Slightly acidic	6.1	6.5
	Neutral	6.6	7.3
	Slightly alkaline	7.4	7.8
	Moderately alkaline	7.9	8.4
Very alkali	Strongly alkaline	8.5	9.0
	Very alkali	9.0	14

### Description of the parameters as fuzzy numbers

As a rule, when choosing the membership function type, preference is given to the forms that are easier to compute. To describe the membership function of a set of diagnostic parameters of soil, we shall use a trapezoidal function. This choice is based on the following reasoning: the numerical values of the parameters under consideration vary within certain intervals; accuracy of measurement of point values has errors; the boundaries of the intervals of values are points.

Using the parameter of soil pH (acidity) as an example (Table 4), we analytically build a trapezoidal membership function.

To this end, we number the values of the soil pH parameter  $i = 1, \dots, 11$ . Let  $a_i$  be the sequence of the upper limit values of these parameters, and  $a_0 = 0$  – the

lower limit value "Ultra acidic". We call the interval  $[a_i, a_{i+1}]$  the original carrier of the  $i$ -th value of the parameter in question. For the value with the serial numbers  $i = 2, 3, \dots, 10$ , we shall propose the membership function of the following form:

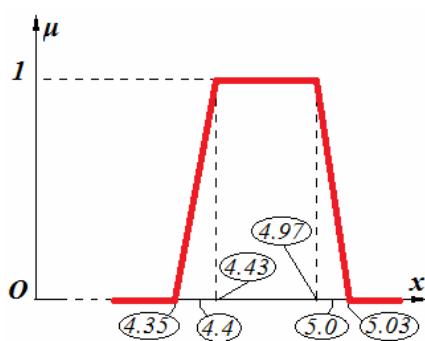
$$\mu(x, i) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{a_{i-1} + 19a_i}{20}, \\ \frac{20x - (19a_i + a_{i-1})}{a_{i+1} - a_{i-1}}, & \frac{a_{i-1} + 19a_i}{20} \leq x \leq \frac{19a_i + a_{i+1}}{20}, \\ 1, & \frac{19a_i + a_{i+1}}{20} \leq x \leq \frac{a_i + 19a_{i+1}}{20}, \\ \frac{20x - (19a_{i+1} + a_i)}{a_{i+2} - a_i}, & \frac{a_i + 19a_{i+1}}{20} \leq x \leq \frac{19a_{i+1} + a_{i+2}}{20}, \\ 0, & \frac{19a_{i+1} + a_{i+2}}{20} \leq x. \end{cases} \quad (1)$$

Formally assuming e.g.  $a_{-1} = -1$ ,  $a_{12} = 15$ , we can also extend formula (1) to the values  $i=1$  and  $i=11$ .

As an example, let us give the value "Very strongly acidic" for the soil pH parameter:

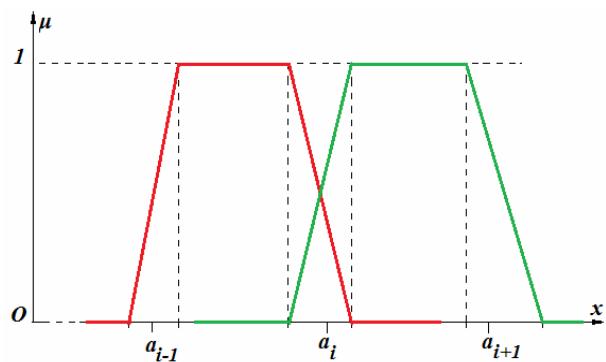
$$\mu_{pH}(x, 3) = \begin{cases} 0, & x \leq 4.355, \\ (20x - 89)/1.5, & 4.355 \leq x \leq 4.43, \\ 1, & 4.43 \leq x \leq 4.97, \\ (20x - 954.4)/1.2, & 4.97 \leq x \leq 5.03, \\ 0, & 5.03 \leq x. \end{cases}$$

For clarity, the graph of the function  $\mu_{pH}(x, 3)$  is given in Fig. 1.



**Fig. 1.** Graph of the membership function for the value "Very strongly acidic" of the soil pH parameter

It should be noted that the functions  $\mu(x, i)$  are not symmetric functions, i.e. their graphs are not isosceles trapezoids. It is not too difficult to see that the function  $\mu(x, i)=1$  is within 90% of the original carrier of the values of the parameter in question and covers 5% of the original carriers of adjacent values of the same parameter (Fig. 2).



**Fig. 2.** Overlapping of the supports of the membership function in adjacent intervals

The overlapping of the intervals of the supports of the constructed functions  $\mu(x, i)$  provides an explanation to the disputes related to soil clustering in various soil science schools.

In the following paragraphs, we demonstrate that in the case of coincidence of the values of the membership function with the adjacent values, the soil classification algorithm chooses a value with a smaller serial number, thereby introducing a certain clarity in the process of clustering.

### Description of the soil classification algorithm

During soil diagnostics, soil is studied first: the soil is sectioned, the soil parameters are measured (some parameters are determined in the field and some in the laboratory).

To identify the diagnostic horizons, the soil parameters are compared with the parameters of the horizons, using the compositional inference rule. Thus, it is established which horizons exist in the given soil. This operation is additive and does not depend on the sequence of application of the values of some or other parameter.

Further, proceeding from the available diagnostic horizons in the soil under investigation, it is possible to identify to which of the 32 reference soil groups it belongs. For this purpose, the main diagnostic indicators of the soil are successively checked in accordance with Table 5.

**Table 5 – Sequence of genetic horizons for soil identification according to the WRB classification**

#	Genetic horizon	Parameters
1	2	3
1	Anthraquic horizon	<ul style="list-style-type: none"> <li>Munsell colours;</li> <li>Platy structure;</li> <li>Bulk density;</li> <li>Thickness of soil.</li> </ul>
2	Argic horizon	<ul style="list-style-type: none"> <li>Illuvial accumulation of clay;</li> <li>Predominant pedogenetic formation of clay in the subsoil;</li> <li>Selective surface erosion of clay;</li> <li>Biological activity;</li> <li>Coefficient of linear extensibility;</li> <li>Has a texture class of loamy sand or finer;</li> </ul>

1	2	3
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Thickness;</li> <li>Has clay content or clay in the fine earth fraction;</li> <li>Soil organic carbon.</li> </ul>
3	Calcic horizon	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcium carbonate;</li> <li>The degree of effervescence</li> <li>Secondary carbonates;</li> <li>Thickness of soil;</li> <li>Porosity;</li> <li>Munsell colours;</li> <li>pH water;</li> <li>Consist of gypsum;</li> </ul>
4	Cambic horizon	<ul style="list-style-type: none"> <li>Texture class;</li> <li>Munsell colours</li> <li>Structure;</li> <li>Clay content;</li> <li>Carbonates;</li> <li>Consist of gypsum.</li> </ul>
...	...	...
35	Thionic horizon	<ul style="list-style-type: none"> <li>pH water;</li> <li>Mottles or coatings with accumulations of iron or aluminium sulfate or hydroxysulfate minerals;</li> <li>Direct superposition on sulfidic material;</li> <li>Thickness of soil.</li> </ul>
36	Umbric horizon	<ul style="list-style-type: none"> <li>Structure soil;</li> <li>Soil organic carbon;</li> <li>Munsell colour;</li> <li>Teksture soil;</li> <li>Thickness of soil.</li> </ul>
37	Vertic horizon	<ul style="list-style-type: none"> <li>Clay content;</li> <li>Wedge-shaped soil aggregates;</li> <li>Slickensides;</li> <li>Shrink-swell cracks;</li> <li>Thickness of soil;</li> <li>Coefficient of linear extensibility.</li> </ul>

Further, comparing the diagnostic indicators of soils with the obtained diagnostic horizons (in the strict sequence of the given algorithm), the first reference soil group on the list is found.

### Example

Let us give an example by considering sierozem soils. The monograph by M. P. Babayev [11] defines the indicators of these soils as follows:

- soil with anthropogenically transformed horizon thicker than 50 cm, root penetration depth 20-30 cm;
- no horizon over 40 cm, by two thirds consisting of weakly decomposed organic residues;

- no technogenic inclusions;
- no cryic horizon;
- thin section in sierozem soil over 30 cm;
- 42% clay in the 25-30 cm thick horizon in sierozem soil.

The membership function for such indicators as "soil thickness", "organic residues", "root penetration depth", "technogenic inclusions", "thickness of the cryic horizon", "thickness of thin section", "thickness of the argic horizon".

The results of the fuzzy inference about the identification of the parameter values are given below in Table 6.

**Table 6 – Description of the sequence of operations in the soil identification on the basis of WRB**

Sequence of reference soil groups	Diagnostic indicators of soils	Result
Histosols	<ul style="list-style-type: none"> <li>Thickness of the horizon;</li> <li>Organic residues</li> </ul>	No
Anthrosols	<ul style="list-style-type: none"> <li>Depth of penetration of the root mass in the anthropogenically transformed horizon</li> </ul>	No
Technosols	<ul style="list-style-type: none"> <li>The presence of technogenic inclusions in the upper layer</li> </ul>	No
Cryosols	<ul style="list-style-type: none"> <li>There is a frozen horizon</li> </ul>	No
Leptosols	<ul style="list-style-type: none"> <li>Thickness of thin profile</li> </ul>	No
Vertisols	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presence of clay in the Vertic horizon with a thickness of clay horizon.</li> </ul>	Yes

Thus, the soil under investigation, according to the granulometric composition data for sierozem soils based on M. Babayev's classification of Azerbaijan soils, can be assigned to the soil group "Vertisols".

### Conclusion

The paper proposes a fuzzification mechanism for the set of indicators of diagnostic parameters and describes the algorithm of the system of fuzzy inference about the identification of the values of the corresponding parameters in accordance with the compositional inference rule. Thus, the effectiveness of the use of fuzzy technologies in soil diagnostics by the World Reference Base for Soil Resources is demonstrated.

### REFERENCES

- Isbell, R.F. (2002), "The Australian Soil Classification", CSIRO Publishing, Revised Edition, Melbourne, pp.1-4.
- Tsyrybka, V. and Ustsinava, H. (2018), *Soil classification in Belarus: history and current problems*, Physical Geography Series, 14 p.
- (1999), *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, DF: Embrapa, Brasília, 20 p., available at: <https://livrarias.cte.embrapa.br/amostras/00053080.pdf>
- McKeague, J.A. (1995), *Soil survey and genesis and classification research in Canada*, 7 p., available at: <https://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.4141/cjss95-002>
- (1997), *Classification of soils of Russia*, Ins. of Soil named V.V. Dokuchayev, Moscow, 235 p.
- (2003), *Keys to Soil Taxonomy*, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 9 Edition, 372 p., available at: [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs14p2\\_051544.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs14p2_051544.pdf)
- Samofalova, I.A. (2012), *Modern problems of classification of soils*, Tutorial, Perm, 175 p.

8. (2006), *World reference base for soil resources 2006: A framework for international classification, correlation and communication*, Food and agriculture organization of the united nations Rome, 145 p., available at: <http://www.fao.org/3/a-a0510e.pdf>
9. (2015), *IUSS Working Group WRB*, "World Reference Base for Soil Resources 2014", update 2015, "International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps". World Soil Resources Reports No. 106. Rome: FAO, 198 p.
10. Zadeh, L.A. (1975), "The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-I", *Information Sciences*, vol. 8(4), pp. 301-357.
11. Babaev, M.P., Hasanov, V.Kh., Dzhafarova, Ch.M. and Huseynova, S.M. (2011), *Morphogenetic diagnostics, nomenclature and classification of Azerbaijan soils*, Science, Baku, 201 p.

Received (Надійшла) 20.12.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.01.2020

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Хасанова Самира Афрасияб** – науковий співробітник, Інститут систем управління Національної академії наук Азербайджану, Баку, Азербайджан;

**Samira Afrasiyab Hasanova** – Scientific researcher, Control Systems Institute of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan;

e-mail: [samirahasanova75@gmail.com](mailto:samirahasanova75@gmail.com), ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1595-6107>.

**Пашаєв Адалат Бахтияр** – завідувач лабораторією, Інститут систем управління Національної академії наук Азербайджану, Баку, Азербайджан;

**Adalat Bakhtiyar Pashayev** – Head of laboratory, Control Systems Institute of Azerbaijan National Academy of Sciences; Baku, Azerbaijan;

e-mail: [adalat.pashayev@gmail.com](mailto:adalat.pashayev@gmail.com), ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9208-8430>.

**Сабзіев Ельхан Наріман** – завідувач відділу, компанія Kiber Ltd, Баку, Азербайджан;

**Elhan Nariman Sabziev** – Head of department, Kiber Ltd Company, Baku Azerbaijan;

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

### Нечітка діагностика ґрунтів відповідно до Світової реферативної бази ґрунтових ресурсів

С. А. Хасанова, А. Б. Пашаєв, Е. Н. Сабзіев

**Анотація.** Класифікація ґрунтів залишається однією з найбільш суперечливих тем в світовій науці про ґрунті через відмінності в основоположних принципах. На сьогоднішній день багато країн розробили і використовують свої власні національні класифікації. Оскільки наукова класифікація полегшує успішне дослідження і правильне використання ґрунтів, виникає проблема представлення однієї класифікації в інший. У статті розглядається можливість застосування нечітких технологій для діагностики ґрунтів на основі Всесвітньої Довідкової Бази ґрунтових ресурсів. Запропоновано трапецієдальні форми функцій принадлежності набору параметрів діагностичних горизонтів. Алгоритм нечіткої діагностики представлений на основі запропонованих функцій. Висновок. У статті запропоновано механізм фазифікації для набору індикаторів діагностичних параметрів і описаний алгоритм системи нечіткого виведення про ідентифікацію значень відповідних параметрів відповідно до правила композиційного виведення. Таким чином, доведена ефективність використання нечітких технологій в діагностиці ґрунту Світовий реферативної базою ґрунтових ресурсів.

**Ключові слова:** інформаційна модель; ґрунт; нечіткі технології; класифікація ґрунтів; діагностичний горизонт; діагностичні параметри.

### Нечеткая диагностика почв в соответствии с Мировой реферативной базой почвенных ресурсов

С. А. Хасанова, А. Б. Пашаев, Э. Н. Сабзиев

**Аннотация.** Классификация почв остается одной из самых противоречивых тем в мировой науке о почве из-за различий в основополагающих принципах. На сегодняшний день многие страны разработали и используют свои собственные национальные классификации. Поскольку научная классификация облегчает успешное исследование и правильное использование почв, возникает проблема представления одной классификации в другой. В статье рассматривается возможность применения нечетких технологий для диагностики почв на основе Всемирной Справочной Базы почвенных ресурсов. Предложена трапециoidalная форма функций принадлежности набора параметров диагностических горизонтов. Алгоритм нечеткой диагностики представлен на основе предложенных функций. **Выход.** В статье предложен механизм фазификации для набора индикаторов диагностических параметров и описан алгоритм системы нечеткого вывода об идентификации значений соответствующих параметров в соответствии с правилом композиционного вывода. Таким образом, доказана эффективность использования нечетких технологий в диагностике почвы Мировой реферативной базой почвенных ресурсов.

**Ключевые слова:** информационная модель; почва; нечеткие технологии; классификация почв; диагностический горизонт; диагностические параметры.

# Information systems modeling

UDC 004.94

doi: 10.20998/2522-9052.2020.1.03

Yu. Davydovskiy<sup>1</sup>, O. Reva<sup>1</sup>, O. Malyeyeva<sup>1</sup>, V. Kosenko<sup>2</sup><sup>1</sup>National Aviation University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine<sup>2</sup>State Enterprise "National Design & Research Institute of Aerospace Industries", Kharkiv, Ukraine

## APPLICATION OF THE SLIDING WINDOW MECHANISM IN SIMULATION OF COMPUTER NETWORK LOADING PARAMETERS

**Abstract.** The subject of the study in the article is the data transfer processes in computer networks from the point of view of the network performance indicators, in particular, overload parameters. The purpose of the work is to create a simulation model of the behavior of a computer network, taking into account the mechanism of the "sliding window" and to demonstrate its work using a test example in combination with the previously proposed algorithms. The following tasks are solved in the article: analysis of the network as a complex multilevel system and isolation of the problems related to the transport layer of the OSI model; consideration of tasks that are solved by the transport layer of the data network; creation of the mechanism of modeling of functions of "sliding window"; demonstration of model work. The following research methods are used: basics of system analysis, models of network functioning, simulation modeling method. The following results were obtained: Based on the results of previous studies, the article proposes a new model of computer network behavior over a period of time. This model is based on the principles of simulation modeling, which became possible because of the certain fractal properties of incoming traffic, that is one of the initial data for the simulation. In the process of development, the seven-level OSI model was taken as the basic network model and its four lower levels were selected. Ensuring reliable information transmission at all protocol levels is based on the mechanisms of acknowledgement and "sliding window". The proposed model can reduce the amount of user data directly for each of the directions in a proportion directly proportional to their utilization of the specified congested channel. It is proposed to use a correction vector for each direction of information transmission in the model. **Conclusions:** The adequacy of the developed model is confirmed on the basis of practical calculations of the test case. The practical value of this model is the ability to predict bottlenecks when creating a computer network, or vice versa, to point out the redundancy of certain solutions in order to save significant funds in the future for providers and operators of communication services.

**Keywords:** computer network; modeling; transport level; traffic; sliding window.

## Introduction

The growth of computer network traffic shows a tenfold growth trend over the last decade, with the upward trend increasing year by year [1-3]. Communication quality assurance is also a problem that needs to be addressed. Thus, mobile users lose TCP connections when they move or change their IP addresses, or some nodes along the routing path cannot provide the connection. In addition, there may be temporary losses. Such problems also occur in cable networks. These situations have a particularly detrimental effect on the continuous exchange of large volumes of data or the transfer of funds from a bank account. Thus, in the processes of ensuring the good functioning of computer networks, an important role is played by the data flow management subsystem [4], which solves the problem of: congestion management, queue management, transmission recovery after loss of network connectivity, management of lost packets and packets recovery, errors that have occurred.

### Analysis of recent studies and publications.

Today, there are many studies related to the problems of improving the quality of communication at the transport level of network representation. Thus, Jungang Zhang and Son Tao [5] propose to map logical and physical endpoints in terms of virtual address. This virtual address must consist of three tuples: a socket handle, an IP address, and a TCP port number. To uniquely identify a connection, such components as a random

number, socket status information, IP address, and TCP port number are used [6-8]. In addition, it is suggested to add a new layer (Mobile Socket Layer) to the transport layer in order to hide disconnection from the application [9-11].

Data flow management techniques (Tahoe, Vegas, Reno, Newreno, Random Early Detection, etc.) are used to improve TCP performance. However, existing methods are oriented on static or quasi-static conditions of MR operation and do not allow to determine the causes of packet loss [12-14]. To date, the main focus of TCR researchers is to ensure interoperability with protocols in other layers of the OSI (network and channel) model.

Most types of traffic are sensitive to network overload, delays, and packet loss with the data transmitted therein and therefore require implementation of data flow management methods [15-26]. Therefore, efficient data flow management is a topical issue when creating networks of this class.

### Highlighting previously unsolved parts of a common problem. The goal of the work

One way to investigate the factors of poor communication is to model its behavior over time. In this case, the analysis of the network should be carried out by different views on its functional properties. One such feature is network load over a period of time. According to a previous study, network traffic is a predictable value over time, so it can be used as a

constant value [27]. This opens up the possibility to apply not only agent modeling to computer networks, but also methods of constructing simulation models.

Article [28-30] identified the main characteristics of a computer network that have an impact on data transmission processes, and proposed a method for formalizing metrics that are directly applicable in the modeling process. The following network characteristics were considered:

- bandwidth;
- delays in communication channels;
- quality of service;
- the extent of transmission errors.

The structure and volumes of traffic (transfer requirements) that occur over time have been separately indicated. As a result, the behavior of the computer network was modeled at its lower three levels: physical (network topology), channel (packet volume, and transmission loss) and network (building packet data routes).

However, during the simulation, the question of traffic reallocation in case of congestion of transport nodes or data transmission channels naturally arose. In a real network, this problem is handled by the transport layer using a so-called "floating window".

Therefore, the purpose of this article is to further disclose behavior of the created model of computer network.

The following tasks are solved:

- analysis of the network as a comprehensive multilevel system and highlighting the issues related to the transport layer of the OSI model;
- consideration of tasks that are solved by the transport layer of the data network;
- creation of a mechanism for modeling of the "sliding window" functions;
- demonstration of model work in combination with the algorithms previously proposed in previous works.

## Materials and methods

The quality of transmission of different types of traffic on networks also depends on the lower levels of the OSI model (Fig. 1). When considering the transport layer of the OSI model, it should be noted that the transport layer provides data transportation services [28]. In particular, the primary purpose of the transport layer is to address issues such as ensuring reliable transport of data through a unified network. The transport layer is intended for the delivery of data without errors, losses and duplication in the order in which they were transmitted. It does not matter what data is transmitted, from where and where, that is, it determines the mechanism of transmission itself. It divides the data blocks into fragments, the size of which depends on the protocol.

Ensuring reliable transmission of information at all protocol levels is based on acknowledgement and "sliding window" mechanisms (methods for reducing redundancy in the transmission of information – Nagle, Clark, methods for detecting TCP Vegas overload, methods for controlling the size of the window – Slow

Start, Binary Increase, and the retransmission timer – Jacobson) [31]. Before considering the floating window mechanism, it is worth describing the principle of operation of the TCP Protocol, namely the need to receive confirmation of the sent bytes of information. This significantly reduces the speed of data transfer, since several connection sessions will be spent on transmitting a single packet of information. For example, before sending, TCP must make sure that the recipient exists, and then perform a three-way-handshake to set up the session. Also, since the TCP Protocol differs from UDP in the reliability of data transmission, each segment during transmission is marked with a sequence number that the recipient sends back to the sender to confirm the sending and to indicate the next segment to be sent.

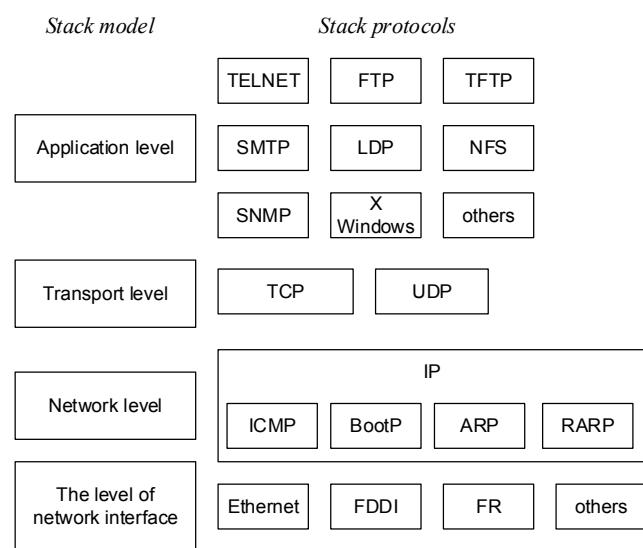


Fig. 1. TCP/IP stack model protocols

TCP packets have the following fields: local sender port and local recipient port (Fig. 2) carrying the contents of program entry points, such as Telnet on one side, and entry point (in this context encapsulation) to the IP layer. In addition, in the TCP/IP stack, the TCP layer is responsible for generating packets from the data stream coming from the application.

Local sender port	Local recipient port
Segment position	
The first expected byte	
Data offset	Flag
Checksum	Note the urgency of the data
Options	Filler

Fig. 2. The structure of the TCP packet header

A TCP connection is identified by a pair of full addresses of both interacting processes (endpoints). The addresses of each endpoint include IP addresses (network number and computer number) and port number.

The connection is made in the following sequence:

- one of the parties initiates the connection. It sends a request to TCP to open an active port;

- after the TCP port is opened, the initiator process sends a process request that requires a connection;
- TCP from the receiver opens the port for receiving data (passive open) and returns a receipt confirming the receipt of the request;
- in order for the transmission to be possible in both directions, the protocol from the receiver also opens an active port and transmits the request to the opposite party;
- the initiating party opens the receiving port and returns the receipt.

The connection is considered established. Then data is exchanged within this connection.

Within the connection, the correctness of the transfer of each segment must be confirmed by the receipt of the recipient. Acknowledgment is one of the traditional methods of ensuring reliable communication.

The TCP protocol implements a kind of window-based acknowledgement algorithm. The peculiarity of this algorithm is that the window is defined on the set of numbered bytes of unstructured data stream coming from the top level and buffered by the TCP protocol.

The sliding window principle [32] allows using the TCP protocol in networks of different power and reliability. The sliding window mechanism allows changing the number of bytes that can be sent without acknowledgment. Thus, the higher the reliability of the network, the larger the size of such a window and the more information can be sent without confirmation. This allows the user to increase the data rate. When TCP sees that data is being lost, the size of the window decreases, reducing transmission speed by increasing reliability and the number of checks.

The expanded algorithm of the "sliding" window will not be considered in this article, since its implementation in the proposed model is significantly different and preserves only its main stages, namely:

- control over the number of errors;
- window size determination;
- adjust the amount of traffic that will be transmitted.

Suppose that the amount of data to be transmitted is  $df_c$ , and that the existing delay on the communication channel is

$$d_c = \frac{1}{C_c - df_c}, \quad (1)$$

where  $C_c$  - channel  $c$  bandwidth;

When  $d_c$  will exceed the maximum  $Q_k$  link quality factor, a sliding window model will be enabled, which in the real network would increase the number of bytes that need to send acknowledgments, and in its turn would reduce the amount of user data that can be transmitted in the specified amount of time. The proposed models can reduce the amount of user data directly.

In this way, let the link  $c$  be overloaded with  $O_c$ . This may mean that the amount of traffic to be transmitted by this channel will be reduced to the next:

$$df_c^* = (d_c - O_c)f_c. \quad (2)$$

Considering that information of different directions can be transmitted by one channel [16], the next step of the model will be to determine all transmission directions that trigger the specified channel.

And also one of the key features of the OSI model is that the levels do not interfere with each other's work, but extend their functionality. This leads to the fact that at the transport level there may not be information about the route structure that was built at the previous network level. Therefore, the correction effect should not extend to the specified route, but to the entire direction of data transmission.

Thereafter, the model can reduce the amount of information for each of the directions in a size that is directly proportional to their utilization of the specified overloaded channel.

Let us denote the total set of possible transmission directions  $R$ . Then the amount of data that should be deferred on the direction  $r \in R$ :

$$df_r^* = (d_c - O_c)f_r, \quad (3)$$

where  $d_c$  – the amount of delay at the channel  $c$ , exceeding the maximum allowed coefficient,

$O_c$  – the amount by which the allowed number of transmitted data is exceeded. It is calculated based on  $d_c$  and the constant  $M$ , which must be specified before starting the simulation,

$f_r$  – the amount of data that must be passed on a specific iteration of the model in the direction of  $r$ .

After that, the iteration should be recalculated with the changed indicators  $df_r$ .

However, the calculations at the test bench showed the inadequacy of such a model, which is caused by the possibility of multiple congestion of the network during one iteration. This results in multiple corrections of the same transmission directions  $r$  from the subset  $R' \in R$ , which in its turn leads to an unreasonably large reduction in traffic  $df_r$ .

To solve this problem it is suggested to use a correction vector for each direction  $r \in R$ . Thus for each direction  $r$  the maximum amount of overload is calculated, which is equal:

$$v_r = \max_i(df_{c_1}^*, \dots, df_{c_i}^*, \dots, df_{c_n}^*), \quad (4)$$

where  $df_{c_i}^*$  – volume of all overloads, at all communication channels that are used in the direction  $r$ ,  $i = \overline{1, n}$ .

Therefore, in a situation where the communication direction  $r$  repeatedly causes overloads, the number of its adjustments will always be equal to one, and the value of the adjustment is its maximum network overload.

To determine the overload in the model, we will use an additional calculation cycle using the following formula:

$$O_c = \frac{df_c - MC_c}{df_c}. \quad (5)$$

In the proposed model, an additional round should be performed in case of network congestion, in particular when channel delays are negative or greater than one.

### The results of the simulation on a test sample

Here is an example of modeling the behavior of a computer network, where the first step is to describe the network topology, that is, the geographical location of the nodes and communication channels. Consider a simplified version of the network topology shown in Fig. 3 [28].

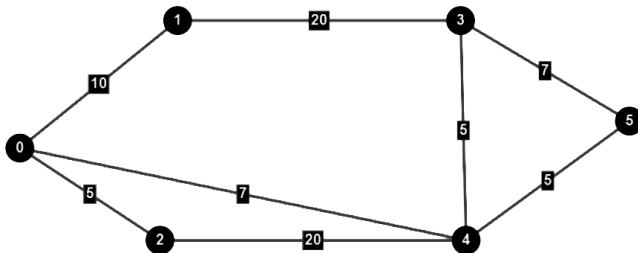


Fig. 3. Test network topology

The next step is to select the input for modeling. We choose the structure of the input data according to the average load on computer networks in the world [27]. The following is the distribution of orders for data transmission by destination. The destinations for data transfer will share this load and can be presented as a table of distribution of applications for data transmission (Table 1).

Two routes will be constructed at the beginning of the simulation using the Dijkstra algorithm. The next step is to saturate these edges with the data transfer requirements of Table 1. The state of the network after saturation is shown in Fig. 4.

Table 2 shows the distribution of data transfer orders after the second iteration.

Table 1 – Distribution of data transfer orders

Directions of data transfer	Modeling time parameters				
	10 am	2 pm	4 pm	8 pm	10 pm
1	5	7	3	7	5
2	1	3	3	1	

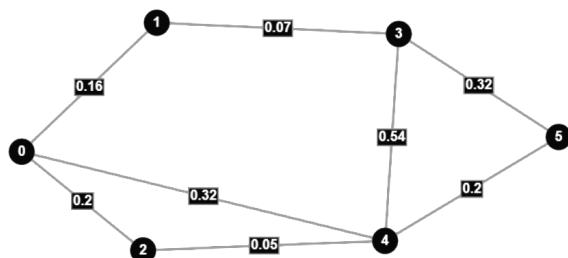


Fig. 4. A network full of data transfer requirements

Table 2 – Distribution of data transfer orders after the second iteration

Directions of data transfer	Modeling time parameters				
	10 am	2 pm	4 pm	8 pm	10 pm
1	5	7.75	4,1625	7	5
2	1	3.15	3,4725	1	

Add in the condition that the amount of data to be transmitted at 4 pm will increase significantly. We obtain the distribution shown in Table 3.

Table 3 – Distribution of data orders with increased metrics

Directions of data transfer	Modeling time parameters				
	10 am	2 pm	4 pm	8 pm	10 pm
1	5	7.75	20	7	5
2	1	3.15	15	1	

Using Dijkstra's algorithm, two more routes were found for both transmission directions. The transmission volume for routes of the first direction will be equal to 6.6, and for routes of the second 10 and 5, respectively, their priority (Fig. 5).

After recalculating the delays, we get the following structure of the transport network (Fig. 6). As can be seen from the figure, the overload occurred simultaneously on six communication channels and the requirements need to be corrected.

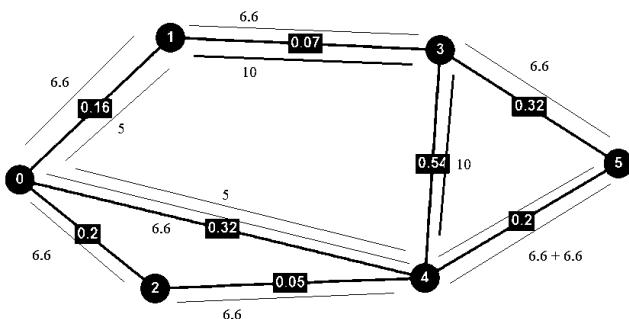


Fig. 5. Data routes on the third iteration after saturation with requirements

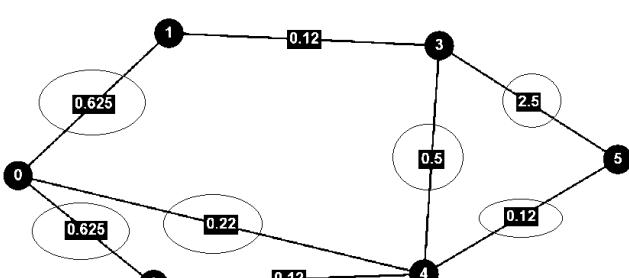


Fig. 6. Delays in communication channels during overload

The model now needs to reallocate some traffic based on congestion.

First of all, you need to detect the congestion of each of the communication channels by the formula (5) (in this example, the load factor  $M = 0.85$ ):

$$O_{0-1} = \frac{11.6 - 0.85 * 10}{11.6}.$$

In accordance

$$O_{0-2} = 0.36; O_{0-4} = 0.49; O_{3-4} = 0.58;$$

$$O_{3-5} = 0.10; O_{4-5} = 0.68.$$

As follows, we define the correction vector for both transmission directions. For this purpose, we will distribute the congestion on the communication channels according to the directions of data transmission:

$$v_1 = \max \{0.27, 0.36, 0.49, 0.58, 0.1, 0.68\} = 0.68 ;$$

$$v_2 = \max \{0.27, 0.49, 0.58\} = 0.58 .$$

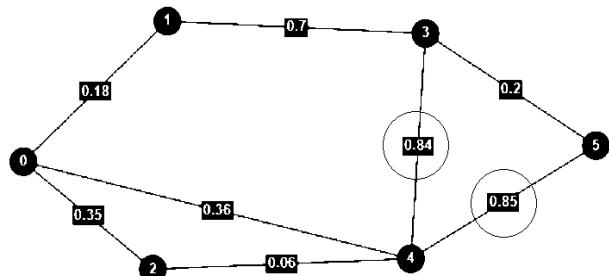
Now, the model is moving the rest of the data to the next iteration in two stages, first 15% of the amount of data will be transferred automatically due to transmission losses, and secondly, the amount of data that causes the overload will be transferred. Thus, we obtain Table 4 of the distribution of orders.

**Table 4 – Distribution of orders after reduction of network load**

Directions of data transfer	Modeling time parameters				
	10 am	2 pm	4 pm	8 pm	10 pm
1	5	7.75	<b>6.4</b>	<b>7 + 3 + 13.6</b>	5
2	1	3.15	<b>6.3</b>	<b>1 + 2.25 + 8.7</b>	

The last step in this iteration is to recalculate the modified load model. The recalculation of the delays gives the result shown in Figure 7. It is obvious that the congestion has been corrected, but the greatest value of this model is that the bottleneck is visible after correction - the bottlenecks of the system that need to be changed to increase the utilization rate of the network

resources. These bottlenecks are circled at Fig. 7. Channels 3-4 and 4-5 are dangerously close to the maximum load factor  $M$ , which is equal to 0.85.



**Fig. 7. Delays in communication channels after load adjustment**

## Conclusions

Based on the results of previous studies, the article proposes a new model of computer network behavior over a period of time. This model is based on the principles of simulation, which is made possible by certain fractal properties of incoming traffic, which is one of the initial data for the simulation.

In the course of development, the OSI seven-tier model was taken as the basic network model and its four lower levels were selected. Providing reliable information transmission at all protocol levels is based on acknowledgment and sliding window mechanisms. The proposed models can reduce the amount of user data directly for each of the directions directly in proportion to their utilization of the specified congested channel.

The model proposes to use a correction vector for each direction of information transmission.

The adequacy of the developed model is confirmed on the basis of practical calculations of the test case. The practical value of this model is the ability to predict bottlenecks when creating a computer network, or vice versa to point out the redundancy of certain solutions in order to save considerable money on providers and service providers in the long run.

## REFERENCES

- (2019), *Internet World Stats: Usage and Population Statistics*, available at: <https://www.internetworldstats.com/stats.htm>
- (2019), Cisco VNI., “Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022”, available at: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html>
- Bihun, N., Shyshatskyi, A., Bondar, O., Bogrieiev, S., Sova, O., Trotsko, O. and Nalapko. O. (2019), Analysis of the peculiarities of the communication organization in NATO countries, *Advanced Information Systems*, Vol. 3, No. 4, pp. 39-44, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.4.05>
- Davydovskiy, Y., Reva, A. and Malyeyeva, O. (2018), “Method of modelling the parameters of data communication network for its upgrading”, *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No. 4. pp. 15-22, DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.6.015>
- Zhang, Y. and Dao S. (1995), “A Persistent Connection Model for Mobile and Distributed Systems”, *Proc. Int. Conf. on Computer Communications and Networks*, p. 300.
- Kuchuk, G.A., Gakhov, A.A. and Pashnev, R.P. (2006), *Infocommunication Resource Management*, Fizmatlit, Moscow, 218 p.
- Ekwall, R., Urban, P. and Schiper, A. (2003), “Robust TCP Connections for Fault Tolerant Computing”, *Proc. Int. Conf. on Parallel and Distributed Systems*, pp. 501-508.
- Babenko, V.G., Shadkin, V.Yu. and Shevchenko O.O. (2010), “Retrieving the principles of organizing the transfer of data in TCP/IP measures”, *Bulletin of the Cherkasy Sovereign Technological University*, No. 3, pp. 3-5.
- Manner, J. and Kojo M. (2004) Mobility Related Terminology. *Network Working Group*. RFC 3753.
- Eddy, W-E. and Ishac, J. (2005), “Location Management in a Transport Layer”, *Mobility Architecture*, NASA/TM-2005-213844.

11. Krasilnikov, S.R., Kravchuk, S.O. and Levchuk, A.R. (2015), "Cross-level optimization for increasing the productivity of the transport protocol in wireless networks", *Proceedings of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv*, No. 49, pp. 61-66.
12. Yang, P., Luo, W., Xu, L., Deogun, J. and Lu, Y. (2011), "TCP Congestion Avoidance Algorithm Identification", *Proc. of IEEE ICDCS*, available at: [http://cse.unl.edu/xu/paper/peng\\_ICDCS\\_2011.pdf](http://cse.unl.edu/xu/paper/peng_ICDCS_2011.pdf)
13. Sadouni, S., Benslama, M. and Beylot, A. (2016), "Sctp-manet new extension of sctp protocol for the optimization of manet performances", *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)*, Vol. 8, No. 5, pp. 53-66.
14. Zhuk, P.V. (2011), "Analysis of Data Flow Management Methods in Mobile Radio Networks (MANET)", *Proceedings of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv*, No. 33, pp.145-155.
15. Hanabali, A. (2005), "A Survey of TCP over Ad Hoc Networks", *IEEE Communications Surveys&Tutorials*, No. 7(3), pp. 22-36.
16. Larsen, E. (2012), *TCP in MANETs – challenges and Solutions*, Norwegian Defence Research Establishment (FFI), 27 September 2012, 57 p.
17. Mozhaiev, M., Kuchuk, N. and Usatenko, M. (2019), "The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, Vol. 4 (10), pp. 134-140, DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.134>
18. Kuchuk, N., Mohammed, A. S., Shyshatskyi, A. and Nalapko, O. (2019), "The method of improving the efficiency of routes selection in networks of connection with the possibility of self-organization", *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, No. 8(1), P. 1–6, DOI: <https://doi.org/10.30534/ijatce/2019/0181.22019>.
19. Kuchuk, G., Kharchenko, V., Kovalenko, A., Ruchkov, E. (2016), "Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems", *East-West Design & Test Symposium (EWDTs)*, P. 1–6, DOI: <https://doi.org/10.1109/EWDTs.2016.7807655>
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. Svyrydov, A., Kuchuk, H., Tsiapa, O. (2018), "Improving efficiency of image recognition process: Approach and case study", *Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2018*, pp. 593-597, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409201>
22. 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.
23. 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>
24. 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>
25. 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>
26. 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>
27. Mal'yeyeva O., Davydovskyi Y. and Kosenko V. (2019), "Statistical analysis of data on the traffic intensity of Internet networks for the different periods of time", *Second International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2019)*, pp. 897-910.
28. Davydovskyi, Y., Reva, O., Artiukh, O. and Kosenko, V. (2019), "Simulation of computer network load parameters over a given period os time", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No. 3 (9), pp. 72-80, DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.9.072>
29. 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>
30. Mozhaev, O., Kuchuk, H., Kuchuk, N., Mozhaev, M., Lohvynenco, M. (2017), "Multiservice network security metric", *IEEE Advanced information and communication technologies-2017*, Proc. of the 2th Int. Conf. Lviv, 2017, pp. 133–136, DOI: <https://doi.org/10.1109/AIACT.2017.8020083>
31. Svyrydov, A. S. (2018), Method of growth of data transmission reliability time of use of TCP freeze protocol by increase transmission capacity, *Control, Navigation and Communication Systems*, PNTU, Poltava, Vol. 3, No. 49, pp. 135-138, DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.3.135>
32. (2019), *CiscoTips*, available at : <http://ciscotips.ru/ccna1-3>

Received (надійшла) 12.12.2019

Accepted for publication (прийнята до друку) 22.01.2020

## ABOUT THE AUTHORS / ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Давидовський Юрій Костянтинович** – аспірант кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;  
**Yuriii Davydovskyi** – graduate student of the Department of Computer science and information technologies, National Aerospace University “KhAI”, Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [davidovskyi2350@gmail.com](mailto:davidovskyi2350@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2813-4169>.

**Рева Олександр Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп’ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;  
**Oleksandr Reva** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer science and information technologies, National Aerospace University “KhAI”, Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [o.reva@khai.edu](mailto:o.reva@khai.edu); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1933-1064>.

**Малєєва Ольга Володимирівна** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп’ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;  
**Olga Malyeyeva** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Computer science and information technologies, National Aerospace University “KhAI”, Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [o.malyeyeva@khai.edu](mailto:o.malyeyeva@khai.edu); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9336-4182>.

**Косенко Віктор Васильович** – доктор технічних наук, професор, помічник директора з наукової роботи, ДП “Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості”, Харків, Україна;  
**Viktor Kosenko** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Assistant Director for Research, State Enterprise “National Design & Research Institute of Aerospace Industries”, Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [kosv.v@ukr.ua](mailto:kosv.v@ukr.ua); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4905-8508>.

### Застосування механізму ковзаючого вікна при моделюванні параметрів навантаження комп’ютерної мережі

Ю. К. Давидовський, О. А. Рева, О. В. Малєєва, В. В. Косенко

**Анотація.** Предметом дослідження в статті є процеси передачі даних в комп’ютерних мережах з погляду на показники якості роботи мережі, зокрема, параметри перевантаження. **Мета роботи** – створення моделі імітації поведінки комп’ютерної мережі з урахуванням механізму «ковзаючого вікна» та демонстрація її роботи за допомогою тестового прикладу в комплексі з запропонованими раніше алгоритмами. В статті вирішуються наступні **задачі**: аналіз мережі як комплексної багаторівневої системи та виділення проблематики, яка стосується транспортного рівня моделі OSI; розгляд задач, які вирішуються транспортним рівнем мережі передачі даних; створення механізму моделювання функцій «ковзаючого вікна»; демонстрація роботи моделі. Використовуються такі **методи** дослідження: основи системного аналізу, моделі функціонування мережі, метод імітаційного моделювання. Отримано наступні **результати**: З урахуванням результатів попередніх досліджень в статті запропоновано нову модель поведінки комп’ютерної мережі на протязі певного проміжку часу. Вказано модель базується на принципах імітаційного моделювання, що стало можливим завдяки певним фрактальним властивостям вхідного трафіку, який є одним із початкових даних для моделювання. В процесі розробки в якості базової моделі мережі була взята семирівнева модель OSI та обрані чотири нижні її рівні. Забезпечення надійної передачі інформації на всіх рівнях протоколів базується на механізмах квитування та „ковзаючого вікна“ У пропонованій моделі можна зменшувати обсяг даних користувача безпосередньо для кожного з напрямків у розмірі, що прямо пропорційний їхній утилізації вказаного перевантаженого каналу. В моделі запропоновано використовувати вектор корекції для кожного напрямку передачі інформації. **Висновки.** Адекватність розробленої моделі підтверджена на базі практичних розрахунків тестового прикладу. Практичною цінністю даної моделі є можливість спрогнозувати «узькі місця» (bottlenecks) під час створення комп’ютерної мережі, або навпаки - вказати на надмірність певних рішень, щоб у перспективі зекономити значні кошти провайдерів та операторів послуг зв’язку.

**Ключові слова:** комп’ютерна мережа; моделювання; транспортний рівень; трафік; ковзаюче вікно.

### Использование механизма скользящего окна при моделировании параметров нагрузки компьютерной сети

Ю. К. Давыдовский, А. А. Рева, О. В. Малеева, В. В. Косенко

**Аннотация.** Предметом исследования в статье являются процессы передачи данных в компьютерных сетях с точки зрения показателей качества работы сети, в частности, параметров перегрузки. **Цель** работы - создание модели имитации поведения компьютерной сети с учетом механизма «скользящего окна» и демонстрация ее работы с помощью тестового примера в комплексе с предложенными ранее методами. В статье решаются следующие **задачи**: анализ сети как комплексной многоуровневой системы и выделение проблематики, касающейся транспортного уровня модели OSI; рассмотрение задач, которые решаются транспортным уровнем сети передачи данных; создание механизма моделирования функций «скользящего окна»; демонстрация работы модели. Используются следующие **методы** исследования: основы системного анализа, модели функционирования сети, метод имитационного моделирования. Получены следующие **результаты**: С учетом результатов предыдущих исследований в статье предложена новая модель поведения компьютерной сети в течение определенного промежутка времени. Указанная модель базируется на принципах имитационного моделирования, что стало возможным благодаря определенным фрактальным свойствам входящего трафика, который является одним из исходных данных для моделирования. В процессе разработки в качестве базовой модели сети взята семиуровневая модель OSI и выбраны четыре ее нижних уровня. Обеспечение надежной передачи информации на всех уровнях протоколов базируется на механизмах квитирования и "скользящего окна". В предлагаемой модели можно уменьшать объем данных пользователя непосредственно для каждого из направлений в размере, прямо пропорциональном их утилизации указанного перегруженного канала. В модели предложено использовать вектор коррекции для каждого направления передачи информации. **Выходы:** Адекватность разработанной модели подтверждена в дальнейшем на базе практических расчетов тестового примера. Практической ценностью данной модели является возможность спрогнозировать «узкие места» (bottlenecks) при создании компьютерной сети, или наоборот - указать на избыточность определенных решений, чтобы в перспективе сэкономить значительные средства провайдеров и операторов услуг связи.

**Ключевые слова:** компьютерная сеть; моделирование; транспортный уровень; трафик; скользящее окно.

T. N. Mikayilov<sup>1</sup>, A. A. Bayramov<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Ministry of Defence of the Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan

<sup>2</sup> War College of Armed Forces of the Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan

<sup>3</sup> Control Systems Institute of the Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

## PRINCIPLES OF USING THE MATHEMATICAL MODELS OF COMBAT ACTIVITIES AND MEANS OF DESTRUCTIONS DURING OPERATIONAL PREPARATION OF THE TROOPS

**Abstract.** Development of information and computer technology requires a qualitatively new approach to the application of mathematical modeling of combat activities and activities of guns damage in planning processes. The article describes the history of mathematical models of combat activities and combat means of destructions, and their development paths of the use of troops in process of preparation of the operational activities. The possibilities of using mathematical models of operations (combat and fire destruction) in process of the preparation and conduct of operational preparations were considered. The urgency of the issue in this case is determined by the increased intensity of researches and supply of armed forces with information technology carried out in different countries. The analysis shows that it is necessary to use mathematical programming to predict the operations by commander and command and control staff during operational preparation.

**Keywords:** mathematical model; combat activities; destruction by combat means; activity of operational preparations; modeling of management.

### Introduction

One of the main mechanisms for the preparation and implementation of decision-making process and implementation of combat operations and destruction activities, as well as assignments to troops (forces) is applying of the computer information technologies, including geographical and video information technologies, mathematical models, information, information computing and computing complex application of issues. These are the main principles of automation of the troops (forces) and management of guns damage processes. These give much more opportunities to the commander of the troops and staffs of the command and control center of troops to continuously getting an information, analyzing it, evaluating the situation and making decision.

Development of information and computer technology requires a qualitatively new approach to the application of mathematical modeling of combat activities and activities of guns damage in planning processes. The practice of applying mathematical models and information as well as data computing issues in the process of operational preparations determines the needs to clarify specific software requirements. The dynamic development of computing techniques, programming and telecommunication technologies makes a strong leap in the field of creating operational modeling systems, and gives an opportunity to simulating combat operations in the process of operational preparation of troops and activities of firearms damage by computerized mathematical model [1]. So, the effectiveness of planning and management of combat operations is enhanced by improvement and implementation of mathematical modeling.

The urgency of the issue in this case is determined by the increased intensity of researches and supply of armed forces with information technology carried out in different countries [2]. The analysis shows that it is

necessary to use mathematical programming to predict the operations by commander and command and control staff during operational preparation.

### Justification of the application of the mathematical modeling of combat

According with the instructions the main functions of the command and control posts are data collection, assessment, forecasting real condition and planning of operations. It is well known that the planning should be fairly clear, and here, mainly to intend the solution of computational issues. Miscellaneous mathematical prediction methods for assessment of the combat condition, prediction its changes, comparative methods of rating planned activity of troops and its use are required.

The development of the methods of mathematical modeling of martial arts and firearms damage is the necessity of resolving the constant contradiction between the two contradictory tendencies [3]. This is to increasing the accuracy of the predicted results and to reduce the modeling time.

This contradictions is due to the fact that the time of modeling according to the necessity of increasing the number of factors that are modeled for increasing the accuracy of the prediction and the number of factors to be taken into account. There are always research for the way to improve the relevance and efficiency of the problem during the modeling.

During operational preparations, for a more detailed assessment of the impact of contradiction to the nature of application models their division into the next stages can be noted:

- preparation of operational activity;
- carrying out operational activity;
- analysis of the results of operational activity carried out.

Depending on use purpose, it can be HQ and research operational models. As a rule, they are differ-

according to the used mathematical modeling apparatus, the degree of detailing and the number of factors that are taken into consideration.

Because of the form of description of the mutual contingency process of the parties involved in the conflict, mathematical models are divided into analytic and research [1].

HQ models typically use analytical imitation modeling, research model use random imitation modeling.

It is imperative to achieve a reduction in the time of modeling, while maintaining the integrity of the results, in the course of operational precautionary measures, when it is time-consuming for mentally computing. For this reason, the use of headquarters models is more important [4, 5].

HQ models include mathematical models of operations designed to provide practical operation activity of command and control posts. There are two basic requirements:

- the ability to apply a real-time operation in accordance with the operational algorithm in the decision-making process;

- ensuring objectivity and justification of decisions taken to command and control of troops (forces) on the basis of comparison of the results of the alternative variants.

From the latter requirement seems that the headquarters model should have a comparative feature of the different decision options. Necessary conditions for this are the duplication of predictive results with the startup data in the same database.

Random models can not provide this, except when the middleware results of the some models are handled by same way. This approach in the real is not practically used by headquarters.

From the scientific research experience of mathematical models in many countries, it can be seen that more detailed research models may be used when there is sufficient time to conduct and analyze operational preparations.

The practical application of random models is not used because the comparison of the result of the decision its repeatability is very complicated.

It is therefore more appropriate to use analytical headquarters models that use legitimate methods of imitation modeling of combat and fire-damage activities during operational preparations [4, 5].

In some cases, the following factors should be clarified in terms of the correct understanding of the matter:

- adoption of the mathematical modeling terminology;
- classification of mathematical models and prediction methods;
- use and realize technology of contemporary mathematical models;
- basic methods and fields of application of mathematical models.

It identifies the mathematical model and computational issues of the automated control system of troops, mathematical and software applications.

*The mathematical model of the operation (combat activity and firearms damage)* – is a mathematical mindset and mentality system that allows the compiler to calculate the basic elements of the warfare models modeled in time and to calculate the edict value of the predictions and outcomes of the predicted combat phenomena [6, 7].

*The computational issue* – is the result of mathematical dependences, algorithms and data for operational tactical (operational – strategic) or special calculations, which require the assessment of the conditions that might arise as a result of the intended activities [7, 8].

For computational issues, as a rule, it is sufficient to use the appropriate dependencies without taking immediate time and spatial structure to the process considered. Mathematical models are not created without the imitation structure of the modeled action, with no time and space indices. In this sense, mathematical models are practically always imitated. Thus, simplification may be due to the nature of prediction methods used in calculating issues, headquarters and research models:

- computational issues use an analytical framework that directly describes the impact of the starting point on the outcome of the calculations;

- the headquarters models are generally based on the specific methods of imitation models;

- research models typically use random methods of imitation modeling.

In their function, models are divided into two groups: those are directly (descriptive) and optimistic. The first ones answer the questions “what will happen in this case,” and the second one “for this case what need to do”. The more illustrative models are applied in the military issue.

The application of perspective models prevents the complexity of the issues created to find the optimal solution of a large number of factors. Also, it is becoming hard to use the obtained results.

Here, the model should be understood as a support link of one the steps of a mechanism for the assessment of quality of taken decisions, but not as a direct order to use of troops.

Models can be used:

- directly composition of the specific program software of automated command and control systems of troops (ACCST);

- composition of Fixed and mobile special designed modeling centers (computerized combat activities and filling firefighting computer centers).

Headquarters mathematical models that provide functionality within ACCST specific software should provide automated information exchange with other systems and data bases of this system. The management interface of modeling process should allow to effectively use staff models for officers of command and control staff

Different and sophisticated models depending on their functionality, can be used in a specific computer modeling center, not included in the ACCST specific program content. This is due to the following factors:

- more skilled professionals are required to handle complex models;
- complicated models, complexes and systems can form more technical requirements than the opportunity of resources of ACCST.

Computer centers of modeling of combat activity and firearms damage process being stasionar and mobile can be equipped with a variety of compact computers. However, in this case, the terms of information compatibility between the computer center and ACCST must be observed.

### **Establishing headquarters models of combat activities and firearms damage**

In recent years, great experince has been gained in the way to creating research models of Army operations. Gradually, this model has been upgraded and used in integrated and modern information technology to create a variety of military modeifications of combat activities of troops and firearms damage operation. Scientists from the leading countries are working on updating the software, taking into account the experience of the latest armed conflict.

These models are activale used in managment during operational preparations. It has been discovered that that they have been over-sized and have been devoting much time to the initialization of the modeling. In this case, it seems to be necessary to develop more updated mathematical models that can be used directly in the preparation of operational preparations, teamwork and training exercises, as well as inthe course of combat operations. Unlike research models, the development of the new models involved the creation of a mathematical apparatus of the model, the organization of data preparation, its incorporation into the system and the modification of the models.

The first deployed military operations headquarutes model had many advantages, allowing 15 days of the military operation to be counted for 40 minutes by computer technology.

The wide-range experience practice of this model in operational preparations has allowed it to plan further improvements and to inventify tasks for creating new versions of the military operation model.

Further, improving the exchange of information among users of the model enabled the officials to directly control the process of modeling, adjust the decision-making process, divide the forces and tools during the operation ,and re-group the second echelons and resources.

The model of the army operation is designed to predict the outcome of combat operations, as well as the options for effective use of forces and means of their troops during the preparation and conduct of the operation [1]. The Commander and his staff are able to draw conclusions from the main elements of the decision by analyzing and summarizing the modeling outcomes, the intent of the operation, the content of the tasks assigned to the troops, and the key questions of the interaction.

The army Operation Model is widely used in command and staff exercises and exercises, practically used in the headquarters of all troops (military) as well as in ilitary training and research institutions. Then the gained experience is used to creaty new headquarters model and issues.

Currently, information technology, reflective means, geoinformation systems and information base are developing at high tempo. All of them contribute to the creation and development of the new ACCST [6]. In such circumstances, the reserch team is instructed to create a model of combat operations and firearms damage activity models in the development of these technologies. Developed mathematical models are used in the ACCST special safeguard software for general operations. It is tendency that defines the characteristics of the application of combat operations and mathematical models of fire-fighting in operational preparations.

### **Fighting activities and fire-extinguishing models application in operational preparations**

In the modern era, the basic methodological principles of preparation and implementation of operational preparations of many countries are determined and information (computer) technologies are applied in the headquarters' activities in a complex form. As a rule, the use of the operation (combat operations and fire-fighting) models and other computational components in these activities is carried out by specially designated officers in the headquarters. This is due to the constant increase in the requirements for the specialization of officials in the governing bodies and the continuous improvement of the modifications of the modules.

Prepare a pre-trainee training program with the use of a generic operation model in operational preparations. During this period, the IT officers have been trained to work with the software makers in their respective headquarters. Such training is repeated every time before the training. In team headquarters games or exercises, the mathematical modeling team is codified in the governing points [6]. Also, the trained administrators are assigned specifically assigned specialists for methodological support for operational-tactical calculations and mathematical modeling.

In the course of operational preparations, the use of mathematical models and information-calculation issues is based on the indicators of combat capability, the strength and the means of fighting, the intent and the modeling of the decision in the headquarters games or events [8].

Calculation and modeling results of combat activities are submitted to the headquarters for analysis of the training.

Considering the development of information technology and the provision of technical means, the computing-modeling complex that functions in a single database and navigation system can be in the next form.

The means of planning and decision-making are:

- mathematical model of air operations;
- calculation and modeling complex to ensure overall planning of firearms in the operation;
- mathematical model of the general operation;
- the calculation of the strengths and resources of the parties, operational and tactical intensity;
- complex of information-calculation issues on calculation of the time of preparation of the operation.

Reorganization planning tools:

- complex of information and computing issues to ensure strategic and operational resettlement of troops (forces);
- calculation of anchor (junction) anchor;
- a set of information computing issues to ensure the planning of transportation of troops (vehicles) by different means of transport.

Information support means:

- a specialized database and its means of communication;
- system of mapping and handling of the electron map of the area.

Just the practice of applying mathematical models and information-computing issues will allow them to form realistic requirements after training, make necessary corrections, and use them in the next operational preparations [9].

The development of mathematical models of combat activities and fire-fired illnesses will allow the use of the next technologies consistently through their application in operational preparation requirements:

- modeling of combat activities and fire damage in a rectangular coordinate system on a topographic map background;
- automatic mapping of the characteristics of the area in map mappings with geoinformational systems;
- choosing a more efficient version of simultaneous operation with several modeling options and application of their own troops;
- Integration of model database with different databases;
- information support within the computational-modeling complex of various models;
- forming a modeling model for the start-up of the data acquired from the previous stage for internal control by the operator;
- application of the model of co-ordination of the parties involved and the distribution of databases.

The mathematical models of operations have become a mechanism that allows the selection of a scientifically justified effective version of the application, in accordance with the operating conditions and the assigned task, forces and means in limited time.

The results of the modeling meet the criteria for selective evaluation of combat activities and the effectiveness of firearms. In this case, the considered option is the basis of the intent of the upcoming operation, and its separate elements can be considered as the basis of the contents of the tasks for the troops.

With the development of the GIS, various software tools have been deployed to workplace headquarters. Collection of condition information, implementation of video conferencing, etc. at the same time with questions,

constitutes the computational-analytical activity of the key roles of the managers.

However, despite the successful implementation of the model in the headquarters, stationary computers are located in computing centers and are far from operative management. Since direct users of the model are officers of the computing center, their assignment from the operating staff reduces the effectiveness of the model in the headquarters operation.

The following are the main reasons for this:

- lack of experience in the design and use of models of officials involved in computational and analytical activities in the military administration;
- spend a lot of time in the execution of proposals and suggestions from the governing bodies, because large-scale and very labor-intensive work is being done.

Mathematical models can be adapted directly to the user's needs, with a systematic approach to the development of the models.

At present, the model of the application of the other types of troops in the leading scientific research institutions is developed and developed [10]. This is a modular unit that combines the types of troops based on the general operation model. New computing modules are being developed that allow you to improve the accuracy of modeling processes.

Along with the questions of the model of the general operation model for the new programming, the work is carried out in the following directions:

- development of the scenario interactive editor (model management tools - the main module that coordinates the sequence of the components of the model) in accordance with operational tasks;
- development of appropriate modules for harmonization of types of troops between time and events;
- creation of database model and its integration into database of other calculation and modeling tools.

The model of the other type of force (type of force) is developed as a universal governance system that enables modeling of non-contact combat activities and fires, as well as modeling classic peer-to-peer operations.

## Conclusions

Mathematical modeling of combat operations and firearms in the general operations, its development and use remains relevant. It is expedient that it is necessary to ensure the continuity and scientific accompaniment of the establishment process:

1. Particular attention should be paid to the development of mathematical modeling in the field of Western science and training of military-scientific personnel;
2. In addition to good programmers, mathematicians and analysts, specializing practitioners should be involved in the design and implementation of models for combat activities and fire-fighting;
3. Ensure close interaction between the Western science and experts in the field of science on continuing work on the creation and development of armed conflicts models.

## REFERENCES

1. Mikayilov, T.N. and Bayramov, A.A. (2018), "Modelling of the assessment of fire destruction of objects", *Herbi bilik*, Baku, No. 5, pp. 3-12.
2. Vrakopulo, V.N. (2003), "The possibilities of application of the combat modelling during computer military games", *Proc. of the Scientific Workshop "State of art and the development of military combat activities"*, Minsk, pp. 62- 67.
3. Mikayilov, T.N. and Bayramov, A.A. (2019), "The possibility of creating an automated control system of various military units", *Advanced Information Systems*, Vol. 3, No. 3. pp. 25-29, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.3.03>
4. Sayfetdinov, X.I. (1998), "Reformation of combat training: computer-training forms", *Voennaya Misl*, Moscow, No. 4, pp. 12-16.
5. Sayfetdinov, X.I. (2004), "Computer forms of operational training: the problems of improving and ways of solution", *Voennaya Misl*, No. 7, pp. 2-11.
6. Mikayilov, T.N. and Bayramov, A.A. (2019), "The factors of enemy destruction fire in the single information space during combat operations", *Journal of Defense Resources Management*, Brasov – Romania, Vol. 10, issue 1(18), pp. 121-130.
7. Nekrashenko A.N.(2004), "Computer military game: the assessment of staff solution", *Voennaya Misl*, No.4, pp. 27-30.
8. Glushenko, V.V. and Glushenko, I.I. (1997), *Development of management decision. Forecasting - planning. Theory of experiments planning*, Krilya, Moscow, 400 p.
9. Ryabchuk, V.D. (1995), *The elements of military systemology*, Military Academy afte M. Frunze, Moscow, 228 p.
10. Grachev I.A. (2002), "Principles of the construction of espeial mathematical and software for ASC troops", *Voennaya Misl*, No. 2, pp. 12-19.

Received (надійшла) 23.12.2019

Accepted for publication (прийнята до друку) 29.01.2020

## ABOUT THE AUTHORS / ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Мікаїлов Телман Неман оглы** – доцент, полковник, Міністерство Оборони Азербайджанської Республіки, Баку, Азербайджан;  
**Telman Neman oğlu Mikayilov** – assistant-professor, colonel, Ministry of Defense of the Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan;  
e-mail: [telman.mikayilov@yahoo.com](mailto:telman.mikayilov@yahoo.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-2608-7813>.

**Байрамов Азад Агалар оглы** – доктор фізико-математичних наук, професор, професор-консультант, Військова Академія Збройних Сил Азербайджанської Республіки, Баку, Азербайджан;

**Azad Agalar oğlu Bayramov** – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, National War College of Armed Forces of the Azerbaijan Republic; Control Systems Institute of the Azerbaijan National Academy of Sciences Baku, Azerbaijan;  
e-mail: [azad.bayramov@yahoo.com](mailto:azad.bayramov@yahoo.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6672-2338>.

### Принципы застосування математичних моделей бойових дій і вогневого ураження в оперативній підготовці військ

Т. Н. Микаїлов, А. А. Байрамов

**Анотація.** Розробка інформаційних і комп'ютерних технологій вимагає якісного нового підходу до застосування математичного моделювання бойових дій і вогневого ураження в процесах планування. У статті показані історія створення математичних моделей бойових дій і вогневого ураження і шляхи їх розвитку в результаті застосування в заходах оперативної підготовки військ. Розглянуто можливості застосування математичних моделей операцій (бойових дій і вогневого ураження) в ході підготовки і проведення заходів оперативної підготовки. Необхідність даної роботи обумовлена збільшеною інтенсивністю досліджень і застосування інформаційних технологій в збройних силах в різних країн світу. Аналіз показує, що необхідно використовувати математичне програмування для передбачення результату операцій командиром, для управління і контролю особового складу під час підготовки операцій.

**Ключові слова:** математична модель; бойові дії; вогневе ураження; заходи оперативної підготовки; моделювання управління.

### Принципы применения математических моделей боевых действий и огневого поражения в оперативной подготовке войск

Т. Н. Микаїлов, А. А. Байрамов

**Аннотация.** Разработка информационных и компьютерных технологий требует качественного нового подхода к применению математического моделирования боевых действий и огневого поражения в процессах планирования. В статье показаны история создания математических моделей боевых действий и огневого поражения и пути их развития в результате применения в мероприятиях оперативной подготовки войск. Рассмотрены возможности применения математических моделей операций (боевых действий и огневого поражения) в ходе подготовки и проведения мероприятий оперативной подготовки. Необходимость данной работы обусловлена возросшей интенсивностью исследований и применения информационных технологий в вооруженных силах в различных странах мира. Анализ показывает, что необходимо использовать математическое программирование для предсказания исхода операций командиром, для управления и контроля личного состава во время подготовки операций.

**Ключевые слова:** математическая модель; боевые действия; огневое поражение; мероприятия оперативной подготовки; моделирование управления.

O. Nakonechnyi

Ivan Chernyakhovsky National University of Defense of Ukraine, Kyiv, Ukraine

## MATHEMATICAL MODEL FOR FORECASTING THE STATE OF A LOGISTICAL SYSTEM OF STATE DEFENSE

**Annotation.** The experience of the history of wars and war conflicts shows that in every successful military company, operation, battle, as in every defeat, it is necessary, among other reasons, to look for the positive and negative sides in the work of logistical bodies, their organizations, capabilities and ways of providing. The development of the logistics system has always been carried out in parallel with the development of the armed forces and methods of warfare, operations and combat. New types of weapons, military equipment, methods of warfare put forward their requirements for the logistics system, forced to produce more modern forms of organization of the logistics system and methods of security. The system of logistical support of the state defense forces is a complex, multi-level structure. In the course of the article, the author developed a mathematical model for predicting the state of the logistical support system of the state defense forces. This model allows to predict the effectiveness of the system of logistical support of the defense forces of the state, with both the system as a whole and its individual elements. This model allows to predict the state of the logistics system, to establish relationships between individual elements of the logistics system of the defense forces of the state, to determine the number of logistics that need to be put in the near future. In the course of the research, the author used both general scientific and special methods of research: semantic was used for the development of the essential part of the definitions of the categorical apparatus of military logistics; methods of economic analysis were used to assess trends in the military provision of the Armed Forces of Ukraine; systematic analysis methods were used to evaluate the prerequisites and integrate the goals in the process of forming a military logistics system; methods of economic and mathematical modeling were used to optimize the structure and internal processes of the military logistics system. According to the results of the research, the author was tasked with developing a methodology for assessing the effectiveness of the system of logistical support of the state defense forces.

**Keywords:** logistics system; state defense forces; efficiency; forms and methods.

### Introduction

Considering the presence of an objective constraint on reforming the Armed Forces of Ukraine, it is typical in the context of the theory of change management (conservatism, resistance to change), it is necessary to acknowledge the lack of theoretical developments in optimizing the ways of reforming the Armed Forces of Ukraine, above all their logistics.

When the business concept of logistics is increasingly perceived as one of the most effective tools for increasing competitiveness at the expense of cost advantages, in terms of elasticity and reliability, this is not always the case in the military sphere.

Logistics is the planning and implementation of the deployment and provision of troops (forces) that is applicable to aspects of military operations, which are related to the following activities: design, development (modernization and modification), purchase, storage, transportation, distribution, maintenance and repair, evacuation and disposal of material resources; transportation of personnel; purchase (construction), maintenance, operation and sale of military installations; purchase or provision of food, bath and laundry services; health care, etc. The organization of the logistics system of the Armed Forces of Ukraine envisages the widespread use of the products of production enterprises of the state industry.

The aforementioned system is not autonomous and self-sufficient, it is embedded in the general economic processes of the state and it is prone to influence not only crisis phenomena in the economy, but also transformations occurring in the system of public administration [1-5].

The system of logistical support of the state defense forces is a complex, multi-level structure. It requires taking into account different in origin, units of measure of performance evaluation and forecasting of its status for a certain amount of time ahead.

Given the above, an urgent scientific task is to take into account the maximum number of indicators by which the system of logistical support of the defense forces of the state and the forecasting of its state is evaluated [6-14].

**The purpose** of this article is to develop a mathematical model for predicting the state of the logistics system for the defense forces of the state.

### Outline of the main research material

One of the main research areas for the Logistics Support System of the State Defense Forces (LSSDF) is now considered to be the development and application of models that allow to analyze and describe the process of logistical support (LS) with sufficient completeness and correlation and, on that basis, to offer methods of enhancement of its effectiveness [11].

The research of the parameters of LSSDF functioning in the predicted conditions of their application, which is revealed by a number of contradictions in the theory and practice of LS at the present stage [12]. Among the most significant, such contradiction are mentioned: between the planned and real-time costs of organizational and theoretical tasks in the course of deciding on LS (planning of transportation of material resources); between the need to predict the need for material resources (MR) and the imperfection of the accepted scientific and methodological apparatus for forecasting.

The essence of these contradictions should be explained.

1. Logistical support of troops in the course of the operation is organized on the basis of the analysis, which was received from the bottom-up logistics authorities of the reporting documents. The timing of their development and submission to the senior management bodies is strictly regulated, but at the same time they imply a certain information delay (time for processing and generalization of data at each of the higher levels of management).

Considering the time for tasking the contractor (military unit or logistical unit) and processing of this task, such an information delay is usually at least 2 hours. In addition, depending on the distance of the warehouses-suppliers, their equipment devices of mechanization of loading and unloading works, accessible loading front, the state of the road network, the ability to transport the truck, the influence of the enemy and other factors may delay the delivery [12-15].

As a result, until the actual delivery ( $t$ ) the claimed amount of material at the time of application ( $t$ ), the actual need is increasing:  $Q(t) - Q(t) + Q(t-t)$  and it is not completely satisfied (there is a shortage ( $\Delta Q$ ), which is equal to the amount of costs and losses of material resources for the period of delayed delivery).

2. The organization of logistical support of troops during the operation necessarily requires the solution of the task of forecasting the need for material resources for its further management.

Known techniques are based on the estimation of the mathematical expectation (ME) of the average daily consumption of material resources, the intensity of warfare over the operation periods, the location, the role of a particular connection (part, unit) in the operational construction (combat order), the length of time of execution combat task in a given mode, etc. ME is calculated on the basis of a certain set of coefficients. These forecasting techniques (sets and values of coefficients) were developed on the basis of large-scale strategic operations and exercises of the XX century without the necessary detail on the various forms and methods of action of the troops.

In recent years, the forms and methods of combat operations have changed: disappearing lines of continuous collision of groups of troops (forces), combat operations become focal and highly maneuverable, with their intensity and dynamism increasing substantially, with advanced technologies emerging in the first place the conduct of hostilities and the processes for their provision through the introduction of fundamentally new combat and support systems.

Considering the high dynamics of modern operations (combat operations), the search for adaptive forecasting methods is especially relevant.

The use of statistical forecasting methods can help to overcome the contradictions, which are described above in the operation of the ME [11-14].

One of the main statistical methods is the variable mean method, which is described in detail in the works [11-14].

The estimated value for the planned period is the average value for  $N$  previous periods.

The projected need (cost and loss) of the ME of the state defense forces in  $T$  period is determined by the formula:

$$Q_t^{\Pi}(T) = \frac{1}{K} \sum_{T=1}^K \sum_{i=1}^N Q_t^{\Phi}(T-1),$$

where  $Q_t^{\Pi}(T)$  is the need of the defense forces of the state, which is predicted by the  $i$ -th type of material devices in the period (time, day) of the operation, units of account,  $t$ ;  $K$  is the number of observation periods;  $N$  is the nomenclature of the material devices;  $Q_t^{\Phi}(T-1)$  is the actual consumption of material resources of the state defense forces in the previous period, units of account,  $t$ .

However, the method of variable average is characterized by significant shortcomings, the presence of which makes use of it while planning the logistics of troops during the operation, which is impractical.

Firstly, the use of the method requires a sufficiently long history of observations from previous periods (usually 5-6 times the duration of the forecast period).

Secondly, the method does not take into account the effect of preservation (aging) of information within a time period or statistics when the situation changes.

As a result, it is proposed to use adaptive statistical forecasting methods based on exponential smoothing as a basis for short-term forecasting of costs and losses of material resources under the considered conditions.

The scheme of construction of the adaptive forecasting model, which is presented in Fig. 1.

**Mathematical modeling.** Suppose that the time series model looks like

$$y_t = a_1 + \varepsilon_1, \quad (1)$$

where  $y_t$  is the value of the time series at time  $t$ ;  $a_1 = \text{const}$ ;  $\varepsilon_1$  is the random deviations with zero mathematical expectation and variance  $\sigma^2$ .

Exponential smoothing of a series is carried out by the formula:

$$S_t = \alpha y_t + \beta S_{t-1}, \quad (2)$$

where  $S_t$  is the exponential mean value at time  $t$ ;  $\alpha$  is the smoothing parameter,

$$\alpha = \text{const}, \quad 0 < \alpha < 1; \quad \beta = 1 - \alpha.$$

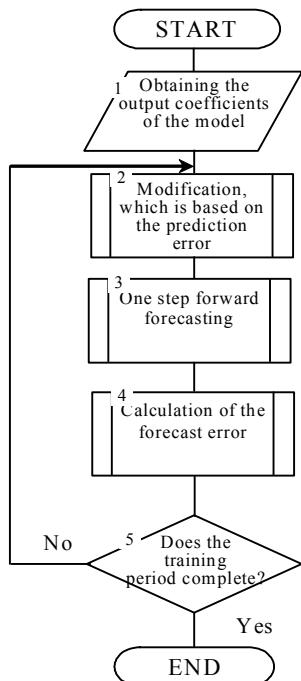
Exponential average  $S_t$ , can be represented by the previous values of the time series, using the expression consistently (2):

$$\begin{aligned} S_t &= \alpha y_t + \beta S_{t-1} = \alpha y_t + \beta(\alpha y_{t-1} + \beta S_{t-2}) = \\ &= \alpha y_t + \beta S_{t-1} + \beta^2 S_{t-2}. \end{aligned}$$

In the end we get

$$S_t = \alpha \sum_{i=0}^{n-1} \beta^i y_{t-i} + \beta^n S_0, \quad (3)$$

where  $n$  is the length of the row;  $S_0$  is the exponential mean value at the previous period of time.



**Fig. 1.** An algorithm for an adaptive prediction model

previous time is always needed  $S_{t-1}$  (2) or at the first step  $S_0$  (3). If there is a history of observations of the actual value of this indicator before the beginning of the alignment, then as the initial value of the exponential mean, you can use the arithmetic mean of all available values of the time series or any part of it. In the absence of such data, the initial value  $S_0$  should be anticipated based on prior knowledge of the process.

The main task of optimizing the exponential smoothing model is to find the optimal value of the smoothing parameter  $\alpha$ . Indeed, when  $\alpha = 0$ , the model will be characterized by a complete lack of adaptation:  $S_t = S_{t-1}$  and when  $\alpha = 1$ , the forecast for any time period becomes equal to the current actual value of the series. As a rule, it is recommended to take the values within 0,1-0,3 [12], at the same time, the best values of the forecast can be reached at any acceptable values  $\alpha$  [13].

Short-term forecasting using the exponential mean, which is performed according to the formula [11-14]:

$$S_{t+1} = S_t + \alpha(y_t - S_t).$$

The new forecast  $S_{t+1}$  is obtained as a result of adjusting the previous forecast to account for its error ( $y_t - S_t$ ). That is the adaptation of the model.

It is advisable to take the value of the  $\alpha$  parameter to a large extent, taking into account fresh information.

As the forecasting period increases, on the contrary, the latest data reflecting the so-called fluctuations in the situation should be slightly less weight, this value  $\alpha$  should be reduced.

The optimal parameter values  $\alpha$  can be obtained by the least-squares method.

The analysis of the considered time series (Table 1) reveals a fairly pronounced trend of linear growth. While predicting the values of such a time series, the exponential mean gives a systematic error (leads to biased forecasts). Thus, the maximum prediction accuracy according to formula (4) is achieved at  $\alpha = 0,9$  and does not exceed 9%. Such accuracy is not practically acceptable, so model (1) in this case is advisable to replace the model of linear growth according to the recommendations [12, 16].

The forecast can then be obtained by expression

$$S_{t+1} = b_{1,t} + b_{2,t}\tau, \quad (4)$$

where  $b_{1,t}$  and  $b_{2,t}$  are the current estimates of the model coefficients;  $\tau$  is the time ahead of the forecast.

Estimation of coefficient values  $b_{1,t}$  and  $b_{2,t}$  is performed according to the following recurrent formulas:

$$\begin{aligned} b_{1,t} &= b_{1,t-1} + b_{2,t-1} + \alpha_1 e_t; \\ b_{2,t} &= b_{2,t-1} + \alpha_1 \alpha_2 e_t, \end{aligned}$$

where  $\alpha_1$  and  $\alpha_2$  are the exponential smoothing parameters (adaptations),  $0 < \alpha_1; \alpha_2 > 1$ ,  $e_t = y_t - S_t$  is the forecast error.

The initial values of the coefficients  $b_{1,t}$  and  $b_{2,t}$  can be obtained by the least-squares method [8] as a result of solving the system of equations:

$$\begin{aligned} b_{1,t} n + b_{2,t} n \sum_{i=1}^n t_i &= \sum_{i=1}^n y_i; \\ b_{1,t} \sum_{i=1}^n t_i + b_{2,t} \sum_{i=1}^n t_i^2 &= \sum_{i=1}^n t_i y_i, \end{aligned}$$

where  $n$  is the number of previous observation steps;  $i$  is the sequence number of the observation stage;  $t_i$  is the stage of information receipt, ( $t_1 = 0, t_2 = T, t_3 = 2T$ );

$y_i$  is the actual value of the parameter, which is observed at the  $i$ -th stage of observation.

The most appropriate values of the adaptation parameters  $\alpha_1$  and  $\alpha_2$  are selected by the method of the least-squares.

Comparative estimates of the accuracy of forecasts for the selected time series using the model (4) at  $\alpha = 0,9$  and models (5) at  $\alpha_1 = 0,7$  and  $\alpha_2 = 0,1$  on relative indicators that are shown in Table 1.

Forecasting according to the accepted conditions was made starting from the fifth day of operation.

Let us analyze the advantages and disadvantages of this model. Exponential smoothing prediction does not require a long observation history. In addition, the model allows to take into account how the current trend

is going to develop, rather than the trend that has developed on average over the whole analyzed period [12]. This is very important for predicting the dynamic environment of modern combat (operations). The

resulting model is adaptive, that is, in the repeated forecasting cycle, it responds to the prediction error that occurred in the previous adaptation period, thus, iteratively receives each new actual point of the series.

Table 1 – Estimation of accuracy of forecasts by the relative indicators

The days of operation $n$	Average daily requirement	Simple exponential smoothing at $\alpha = 0,9$			Exponential smoothing on the linear growth model at $\alpha = 0,7$ and $\alpha = 0,1$		
		The value of the forecast	An absolute forecast error $\Delta t$	Relative forecast error $\delta_t, \%$	The value of the forecast	An absolute forecast error $\Delta t$	Relative forecast error $\delta_t, \%$
1	7981	-	-	-	-	-	-
2	7601	-	-	-	-	-	-
3	7791	-	-	-	-	-	-
4	7221	-	-	-	-	-	-
5	7031	7264	-233	-3,3	7776	-745,0	-10,6
6	7221	7054	-167	-2,3	6569	652,1	9,0
7	6081	7204	-1123	-18,5	7025	-944,3	-15,5
8	5701	6193	492	8,6	5719	-18	-0,3
9	5321	5750	-429	-8,1	5382	60,5	-1,1
10	4941	5364	423	8,6	4984	-42,7	-0,9
11	4560	4983	-423	-9,3	4598	-38,1	-0,8
12	4180	4602	422	10,1	4210	-30,3	-0,7

### The conclusions

1. In this article, the author developed a mathematical model for predicting the state of the logistical support system of the defense forces of the state.

2. The essence of this mathematical model is that it will allow to predict the state of the system of logistical support of the state defense forces.

The application of this model in the logistics management system will allow to organize a plan-preventive (in addition to the existing application) by nature of the MR trucking system, which will significantly reduce the volume of possible MR supply to consumers in the current conditions of operations (hostilities).

In addition, the proposed forecasting model can be used to determine the required volumes of military and operational stocks of the MR in the operational

direction, depending on the expected duration of hostilities.

3. Thus, the article proposes an approach to forecast the need for MR in planning the logistics support of troops during (operations) combat operations using an adaptive model based on exponential smoothing of time series. Experimental researches on the example of forecasting the need for MR of the state defense forces in the course of a defense operation have shown a fairly high accuracy (within 5%) of the proposed approach.

4. The above mathematical model is an integral part of the methodology of assessing the effectiveness of the system of logistical support of the state defense forces.

The direction of further research should be considered the development of a methodology for assessing the effectiveness of the functioning of the system of logistical support of the state defense forces.

### REFERENCES

1. Instruction of the Chief of Staff Committee JP 4-0.
2. ADP 4-0 Sustainment.
3. FM4-01.30 (FM 55-10).
4. Shkurko, Yu.M. (2003), "The methodological apparatus of the military-economic analysis of the construction of the armed forces", *Military science and defense policy*, No. 2. pp. 14–16.
5. Toporov, A.V. and Babenkov, V.I. (2016), "Justification of conceptual approaches to assessing the military-economic efficiency of the system of material and technical support of a group of troops (forces)", *Questions of defense technology. Series 16: Technical means of countering terrorism*. No. 9–10 (99–100). pp. 110–114.
6. Toporov, A.V., Konovalov, V.B. and Babenkov, A.V. (2017), "Justification of the military-economic efficiency of the process of delivering materiel to a grouping of troops (forces)" *News of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences*. No. 2 (97). pp. 48–51.
7. Babenkov, V.I. and Bashkirov, D.S. (2017), "Prospective studies of the military-economic efficiency of the material and technical support of the troops". *Actual problems of the development of modern science and education: a collection of international scientific-practical conference*. pp. 112–113.
8. 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. available at : <http://journals.uran.ua/index.php/2414-0651/issue/view/1%285%29%202015> (last accessed December 25, 2019).
9. Babenkov, A.V. (2016), "Methodological approaches to the military-economic substantiation and estimation of parameters of logistic processes in the system of material and technical support of troops", *News of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences*. No. 1 (91). pp. 25–31.

10. Nakonechnyi O. V. (2019), "Analysis of conditions and factors affecting the effectiveness of the functioning of the system of logistics of the defense forces of the state". Vol. 3(55), pp. 48- 57. DOI: 10.26906/SUNZ.2019.3.048.
11. Nakonechnyi O. V. (2019), "Integral indicator of estimation of efficiency of the system of logistic support of the state defense forces". Vol. 6(58), pp. 48- 57. DOI: [10.26906/SUNZ.2019.3.048](https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.3.048).
12. Gorbach, S. A., Matsnev, D. V., Bogdanov, D. Yu (2011), "Scientific and methodological apparatus for assessing the effectiveness of the system material support of the Armed Forces", *The military. Acad. Rep. Belarus.* No. 3. pp. 44-49
13. Lukashin, Yu. P. (1979), "Adaptive methods of short-term forecasting". Moscow. Statistics. 254 p.
14. Brillinger, D. (1980), "Time Series". Moscow. World. 536 p.
15. Guryanov, AV. and Babenkov, V.I. (2017), "Military-industrial safety of supply chains of components of the military-industrial complex". *Electronic scientific journal.* No. 7 (22). pp. 72-75.

Надійшла (received) 30.12.2019  
Прийнята до друку (accepted for publication) 19.02.2020

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Наконечний Олександр Васильович** – ад’юнкт, Національний університет оборони України, Київ, Україна;  
**Oleksandr Nakonechnyi** – adjunct, National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine, Ukraine;  
e-mail: [o.nakon@ukr.net](mailto:o.nakon@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8854-8983>.

#### **Математична модель прогнозування стану системи логістичного забезпечення сил оборони держави**

О. В. Наконечний

**Анотація.** Досвід історії війн і воєнних конфліктів показує, що у кожній успішно проведений воєнній компанії, операції, бою, як і у кожній поразі, необхідно, поряд з іншими причинами, шукати позитивні та негативні сторони у роботі органів матеріально-технічного забезпечення, їх організації, можливостях і способах забезпечення. Розвиток системи логістичного забезпечення завжди здійснювався паралельно з розвитком збройних сил і способів ведення війни, операцій і бою. Нові види озброєння, бойової техніки, способи ведення бойових дій висували свої вимоги до системи логістичного забезпечення, змушували виробляти більш сучасні форми організації системи логістичного забезпечення і способи забезпечення. Система логістичного забезпечення сил оборони держави є складною, багаторівневою структурою. В ході проведеного автором статті дослідження розроблено математичну модель прогнозування стану системи логістичного забезпечення сил оборони держави. Зазначена модель дозволяє прогнозувати ефективність системи логістичного забезпечення сил оборони держави, при цьому як системи в цілому так і окремих її елементів. Зазначена модель дозволяє провести прогнозування стану системи логістичного забезпечення, встановити взаємозв’язки між окремими елементами системи логістичного забезпечення сил оборони держави, провести визначення кількості матеріально-технічних засобів що необхідно поставити найближчим часом. В процесі проведеного дослідження автором використані як загальнонаукові, так і спеціальні методи дослідження: семантичний – для розвитку сутності частини дефініцій категорійного апарату військової логістики; методи економічного аналізу – для оцінювання тенденцій у військовому забезпеченні Збройних Сил України; методи системного аналізу – для оцінювання передумов та інтеграції цілей у процесі формування військової логістичної системи; методи економіко-математичного моделювання – для оптимізації структури та внутрішніх процесів військової логістичної системи. За результатами проведеного дослідження автором було поставлено завдання на розробку методики оцінювання ефективності системи логістичного забезпечення сил оборони держави.

**Ключові слова:** система логістичного забезпечення; сили оборони держави; ефективність; форми та способи.

#### **Математическая модель прогнозирования состояния системы логистического обеспечения сил обороны государства**

А. В. Наконечный

**Аннотация.** Опыт истории войн и военных конфликтов показывает, что в каждой успешно проведенной военной компании, операции, боя, как и в каждой поражении, необходимо, наряду с другими причинами, искать положительные и отрицательные стороны в работе органов материально-технического обеспечения, их организации, возможностях и способах обеспечения. Развитие системы логистического обеспечения всегда осуществляется параллельно с развитием вооруженных сил и способов ведения войны, операции и боя. Новые виды вооружения, боевой техники, способы ведения боевых действий выдвигали свои требования к системе логистического обеспечения, заставляли производить более современные формы организации системы логистического обеспечения и способы обеспечения. Система логистического обеспечения сил обороны государства является сложной, многоуровневой структурой. В ходе проведенного автором статьи исследования разработана математическая модель прогнозирования состояния системы логистического обеспечения сил обороны государства. Указанная модель позволяет прогнозировать эффективность системы логистического обеспечения сил обороны государства, при этом как системы в целом, так и отдельных ее элементов. Указанная модель позволяет провести прогнозирования состояния системы логистического обеспечения, установить взаимосвязи между отдельными элементами системы логистического обеспечения сил обороны государства, провести определение количества материально-технических средств, которые необходимо поставить в ближайшее время. В процессе проведенного исследования автором использованы как общенаучные, так и специальные методы исследования: семантический - для развития сущностной части дефиниций категориального аппарата военной логистики; методы экономического анализа - для оценки тенденций в военном обеспечении Вооруженных Сил Украины; методы системного анализа - для оценки предпосылок и интеграции целей в процессе формирования военной логистической системы; методы экономико-математического моделирования - для оптимизации структуры и внутренних процессов военной логистической системы. По результатам проведенного исследования автором была поставлена задача на разработку методики оценки эффективности системы логистического обеспечения сил обороны государства.

**Ключевые слова:** система логистического обеспечения; силы обороны государства; эффективность; формы и способы.

## Adaptive control methods

UDC 006.015.5

doi: 10.20998/2522-9052.2020.1.06

E. Tverynykova, T. Drozdova, Yu. Demidova

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine

### ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AS A COMPONENT OF AN INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM FOR GAS CONDENSATE AND OIL PROCESSING ENTERPRISES

**Abstract.** The results of activity and stages of implementation of various measures of environmental policy of the enterprise are considered on the example of Shebelinsky department of gas condensate and oil processing. The structural scheme of the ecological management system model as an important component of the integrated management system of the gas condensate and oil refining enterprise is proposed on the basis of scientific literature, regulatory and legal documents using structural-logical method, systematization and generalization, and methods of meaningful and comparative analysis. This work also describes the specifics of ecological standards implementation based on ISO 9000 and ISO 14000 series for integrated management system development. It has been proved in practice that development and implementation of the integrated management system in the natural gas liquids and oil processing enterprise provides certain advantages, specifically, improves the overall products competitiveness, helps to adapt faster to the market environment, shapes environmental policy and approaches for effective resource management. The integrated management system development process consists of 4 basic stages, namely, planning, implementation, verification, and adjustment. Complex process and system approach represents an integral part of the integrated management system development. While being gradually implemented, the application of the additive and simultaneous integration models made it possible to create a single management system based on the requirements of different standards and significantly reduce the documentation volume.

**Keywords:** environmental management; integrated management system; oil refineries; international standards.

#### Introduction

The operation of oil refineries leads to significant pollution of the atmosphere, so addressing environmental issues in the light of current international best practices is an important task. At the current stage in the European integration processes deployment, it becomes crucial to upgrade the manufacturing processes and to find out the optimal balance between the maintenance of the environment and basic public needs satisfaction for ensuring the profitability of the industrial systems, and competitive production. The study of different countries experiences in implementing environmental measures at the processing enterprises, allows to determine a set of such measures and to choose the higher-priority ones. First of all, these are measures on environmental management systems implementation that are based on the requirements of DSTU ISO 14001:2015 [1]. The specifics of oil and gas processing enterprises imply following the industry sector code that is elaborated by the National Joint Stock Company "Naftogaz of Ukraine".

This is the implementation of the Environmental Management System for oil and gas facilities as required by ISO 14000. The environmental policy of the company should be based on the interaction between productive activities and various measures to protect the environment. The environmental activities of the company must consider all aspects, both favorable and unfavorable, standard and nonstandard regulations that emerge during the products and services life cycle of an oil and gas processing enterprise.

It is possible to trace the peculiarities of the issue of implementation of environmental management systems at the transport enterprise by V.O. Khrutba [1]. An overview

of the problem of creating integrated management systems as a more promising and effective form that provides cross-cutting consistent management of material and information flows for the pharmaceutical sector can be found in the publication V.V. Trokhymchuk and S.G. Ubohov [2]. The most tendency of the implementation of environmental management systems was considered by K.A. Demyanenko [3], I.I. Dudnikova [4], Y. Markov and others [5]. Experience of environmental policy on oil and gas companies disclosed publications S.O. Storchak and others [6] and O.R. Stelmakh [7]. The authors consider the peculiarities of implementation of the international environmental standards of the ISO 14000 series for the creation of an environmental management system in the National Joint Stock Company "Naftogaz of Ukraine". Positive and negative experience of implementation of environmental management systems at various industrial enterprises was conducted by M.D. Mikhailova and O.K. Kostenko [8]. An analysis of the scientific literature on the problem identified suggests that there is no separate study on the creation of a multi-level management system for processing enterprises.

The purpose of the article is formation of ecological management system model as an important component of integrated control system of gas condensate and oil processing company based on attraction of scientific literature, normative legal documents with application of structural-logical method, systematization and generalization and methods of meaningful and comparative analysis.

#### Presentation of the main material

An important component of an integrated management system is the environmental management

system (EMS). Environmental management covers almost all areas of activity of processing enterprises. Environmental management is based on the environmental policy of the enterprise and implements a number of measures aimed at achieving the goal. Consider the stages of implementation of various measures of environmental policy of the enterprise on the example of Shebelinsky branch of gas condensate and oil processing (Andriivka village Balakliysky district Kharkiv region).

A study of the previous activity of a gas and condensate processing company producing gasoline 76, 92, 95, 98, diesel, propane, butane, fuel oil, bitumen, and self-contained electricity was conducted. The production volumes of environmentally friendly high-octane gasoline are driven by market demand. In 2018, the company's output was 8703,000,000 m<sup>3</sup> of gas, which is 55% of the total output of the joint-stock company «Ukrzazvydobuvannya», more than 141000 tons of gas condensate and oil, 8304000 tons of liquefied gas.

Shebelynka gas processing plant was established in 1956 as a point of collection and loading of gas condensate, which is fed from Shebelinka gas field. In 1960, the first gas-fractionation plant was commissioned. The cycle of water supply at the enterprise is closed and has its own complex of treatment facilities. The raw material for the production of Shebelynka separation processing gas condensate and oil condensate is stable. Stable condensate must be cleaned of chloride salts and mechanical impurities before processing, since the presence of these substances will adversely affect its further processing and environmental status [9].

As a result of the activity of Shebelinsky Department of Gas Condensate and Oil Processing in 1984, the presence of petroleum products in individual wells for drinking water of the residents of Andriivka village, which is located 800 m from the plant, has been detected. Considering these factors, a number of environmental measures were carried out during the reconstruction of the enterprise. In particular, for the extraction of petroleum products from the groundwater of the contamination zone: 24 filter wells have been installed from where the petroleum product is pumped out; a special filter is installed; wells drilled and equipped to monitor the state of the Andreev contamination zone. At the enterprise almost all sewer system was replaced, all technological pipelines were removed from the ground to the trestle. As a result of the measures taken, the area of the contamination zone has stabilized and is not further marked. Over 20 years of operation of the filter wells, 17,550,546 tons of petroleum products have been recovered from the Andriyivsky contamination zone [10].

In 1997, the company was further modernized using the technology of the American company UOP. The state-of-the-art catalytic reformation facility in Ukraine has enabled the production of high-octane environmentally friendly A-95 and A-98 gasoline. Due to the modernization of the plant «Shebelinka-zazvydobuvannya» and the transition to the production of

Euro-4 eco-grade gasoline, modernization and environmental management systems are underway. In order to increase the competitiveness of the enterprise, in the development and implementation of measures for environmental management focused not only on their own standards, but also on national, international standards. The company has launched the implementation of the "7 golden rules of labor protection", which are developed by the International Labor Organization and effectively operate in many enterprises of the European Union.

It is proposed for the enterprise to introduce a developed environmental management system in accordance with the requirements of the international standard ISO 14001. To establish an effective environmental management system at different levels, it is necessary to carry out: administrative reform, including reform of the legislative and regulatory framework; transformation of investment activity taking into account the environmental factor; improvement of organizational and economic mechanism of ecological management system creation. Having a certified environmental management system can be an integral part of strategic partners' requirements during contracting, will raise the image of the concern for consumers. The implementation of the environmental management system will allow the organization to reach the higher level of ecological problems regulation.

The analysis of environmental protection activities of Shebelinsky Department of Gas Condensate and Oil Processing allows to establish that the following management systems are successfully applied to preserve the life and health of working personnel, ensure ecologically-stable level of production, minimize the impact of economic activity on the environment:

- system safety Shebelynka department for processing gas condensate and oil EMS 09.1-30019775-121:2013 (third edition), agreed Derzhhirpromnahlyad Ukraine and certified for compliance with ISO OHSAS 18001:2010 «Systems management safety and health. Requirements»;

- environmental management system of Shebelynka SEU 11.2-30019775-171:2010 «Environmental Management System. Guideline» and EU 11.2-30019775-172:2010 «Environmental Management System. Identification of Legislative Requirements», which are certified for compliance with the requirements of DSTU ISO 14001:2006 «Environmental Management System. Application requirements and guidelines».

As of January 1, 2016, the Euro-5 environmental standard has been put into effect in Ukraine, with increased requirements for sulfur content. And since the beginning of 2018, the requirements of the "Technical Regulation for Motor Gasoline and Diesel", which prohibits the circulation of Euro-4 gasoline and diesel, have become mandatory. That is, the mandatory minimum is Euro-5 gasoline and fuel. Today, the list of main products includes: solvent C5-50/170 oil according to TU 20.3-30019775-046:2016; product of highly flavored catalytic reforming plant according to TU 24.1-30019775-021:2013; gasoline automobile A-92-Euro4-E5 according to DSTU 7686:2015; diesel fuel

DP-C (L)-Euro5-B0 according to DSTU 7688:2015; fuel oil 100 ash sulfur high paraffinic according to DSTU 4058-2001 [12-14]. Joint-Stock Company «Ukrgasvydobuvannya», which includes Shebelinsky Department of Gas Condensate and Oil Processing has received a certificate of conformity of its own environmental management system with the international standard DSTU ISO 14001: 2015.

In this regard, the introduction of the latest environmental management system and the implementation of integrated measures aimed at improving the level of environmental safety. Compliance with the requirements of these internal normative documents, as well as with the requirements of the state normative legal and legislative acts on safety, road safety, fire, environmental, radiation and technogenic safety allows Shebelinka branch of gas condensate and oil processing to carry out production activities within the environmental permits safety with an acceptable level of occupational injuries according to the classification of the International Labor Organization, and the facilities to operate within the current legislation on labor protection. The company has already developed and implemented SOU 09.1-30019775-171:2018 in order to unify the requirements for interaction with environmental contractors [15].

At the present stage of production development, the most effective way of management is integrated management system implementation. Of course, quality

management systems are a priority for the company, but environmental, safety and production conditions are equally important. Comparative analysis of the integrated systems effectiveness shows the popularity of these measures at European enterprises. In particular, according to national standardization organizations, the implementation of integrated systems is increasing. The introduction of integrated management systems at oil and gas processing enterprises has significant advantages, above all ensuring greater consistency in the internal environment of the enterprise and between different management systems, improving the efficiency and use of resources, optimizing internal and external communications and workflow for all enterprise levels. Also reduce the cost of developing and implementing a number of management systems [16].

The integrated management system is based on methodological approaches, such as development of an additive model, which involves the gradual addition to the basic structural model of the quality management system of other systems and the model of simultaneous integration, which involves the simultaneous integration of different management systems into a single scheme. Based on the cyclical model of quality management, created by E. Deming, the structural and logical scheme of the integrated control system model for the gas condensate and oil processing company, which is a component of the whole enterprise management system, is proposed [17] (Fig. 1).

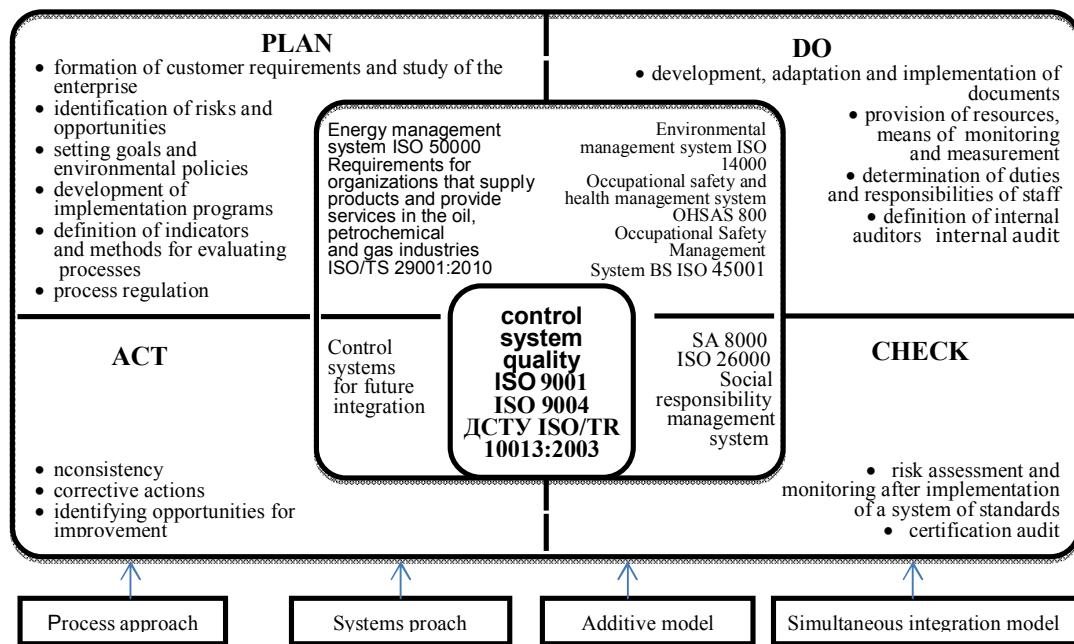


Fig. 1. Structural-logical scheme of integrated management system model for the oil and gas processing enterprise

Undoubtedly, the development of an integrated system should begin with the implementation of quality management system based on DSTU ISO 9001:2015, as well as ISO 9004 (management to achieve sustainable success) and DSTU ISO/TR 10013:2003 «Guidance on the development of quality management system documentation» [18].

Besides, it is necessary to take into account the specifics of implementation of quality management

systems at the enterprises of the oil, petrochemical and gas industry of the region in accordance with the requirements of DSTU ISO/TS 29001:2010 «Quality Management Systems. Requirements for organizations supplying products and services in the oil, petrochemical and gas industries (ISO/TS 29001:2010, IDT)» [19].

The next step in the integrated system development is the implementation of an environmental management system based on DSTU ISO 14001:2015.

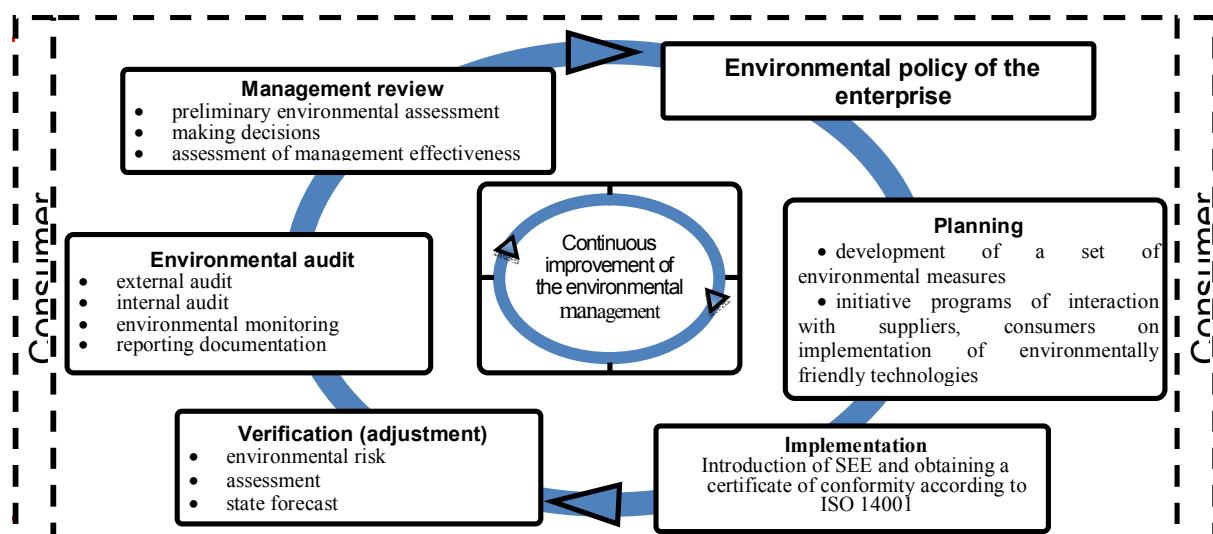
In addition, occupational health and safety management has been introduced in accordance with DSTU OHSAS 18001:2010, as well as a new regulatory document effective 12.03.2018-BS ISO 45001:2018 «Occupational Safety Management Systems. Application requirements and guidelines». This is a new generation standard that has been developed to integrate with other standards of ISO management systems, and most importantly it has a high level of compatibility with the latest versions of ISO 9001 and ISO 14001. The result expected from the implementation of the new health and safety management system, is first and foremost the prevention of injuries and harm to the health of employees, as well as the provision of safe workplaces in terms of health and working conditions; minimizing risks and taking effective preventative measures [20; 21].

ISO SA 8001:2008 «Social Accountability 8000» is included in this system, which aims at assessing social issues of integrated management. The purpose of this document is to improve working conditions and the standard of living of employees. It can be applied in developing and industrialized countries, both for small and large enterprises, as well as for NGOs. This document is based on the provisions of the International

Labor Organization, the United Nations Convention on the Rights of the Child and the Universal Declaration of Human Rights. Also, the system of social responsibility management should be strengthened by the standard ISO 26000:2010, which helps to adjust the activity of enterprises in a socially appropriate way to the needs of society [22].

Important for the organization of the activity of an oil and gas processing enterprise is the introduction of ISO 50001 «Energy Management System. Application requirements and guidelines». It is the core standard in this series that can be applied to any organization and sets requirements for the development, implementation, support and improvement of a PDCA cycle based energy management system. The set of these standards is the organizational and methodological basis for the creation of an integrated management system [23].

Within the framework of an integrated management system, environmental protection is an important consideration. Based on the analysis, a structural and logical scheme of a model of the environmental management system of a gas condensate and oil processing enterprise is proposed. The basis for the environmental management system again became the Deming model and principles: plan-do-check-act [24] (Fig. 2).



**Fig. 2.** Structural-logical scheme of ecological management system model of gas condensate and oil processing enterprise

The main document for the development and implementation of the environmental management system has become the regulatory document ISO 14001:2015. The standard has been implemented in Ukraine since 01.07.2016 – DSTU ISO 14001:2015 «Environmental Management Systems. Application requirements and guidelines (ISO 14001:2015, IDT)». This updated version of the standard has significant additions to ISO 14001:2007. A number of new terms have been used, including life cycle, documented information, mandatory requirements, risks and opportunities. The new version was introduced by the new requirements for the needs and expectations of the stakeholders, defining the scope of the environmental management system. The company should also extend control to every hundred lifecycle actions: raw material

acquisition, design, production, transportation, use, utilization [25].

Supplement this ISO Guide 64, which provides general guidance on environmental issues and guidelines for the implementation of ISO 14004 environmental management systems and ISO 14005 for step-by-step development, implementation, maintenance and improvement of environmental management systems. Also included is:

- ISO 14006, which focuses on environmental considerations when designing and developing products;
- ISO 14040, which outlines guidelines for life-cycle research principles and methods;
- ISO 14045 for assessing the environmental performance of production systems;

- ISO 14031 with environmental performance assessment;
- ISO 14020 outlining approaches to the use of environmental declarations and markings that indicate the environmental performance and benefits of products;
- ISO 14034 defining principles, procedures and requirements for verifying environmental technology [26].

### Conclusions

Therefore, the development and implementation of a gas condensate and oil refinery integrated management system has some advantages, including

improving overall product competitiveness and adaptation to market conditions, environmental policymaking, and resource efficiency approaches. The system includes four adapted control systems that meet the requirements of international standards. Complex process and system approach represents an integral part of the integrated management system development. While being gradually implemented, the application of the additive and simultaneous integration models made it possible to create a unified management system based on the requirements of different standards and to reduce the volume of documentation.

### REFERENCES

1. Khrutba, V.O. (2013), "Creative model for the project in the environmental management system of the transport industry", *East European Journal of Advanced Technology*, Kharkiv, No. 1/10 (61), pp. 38–40.
2. Trokhimchuk, V.V. and Ubogov, S.G., (2018), "Scientifically-practical approaches to the formation of integrated control systems at wholesale and retail pharmaceutical enterprises", *Medicines of Ukraine*, No. 2 (35), pp. 29–33.
3. Demyanenko, K.A. (2015), "Clutter and storage systems for environmental management", *Europe perspective*. Lviv, No. 6, pp. 47–52.
4. Dudnikova, I.I. (2014), "Formation and development of environmental management: theoretical and methodological context", *Humanitarian newsletter of the Zaporizhzhya State Engineering Academy*. Zaporizhzhia, No. 58, pp. 259–268.
5. Markov, Yu., Lisnichenko, T., Pogoretska, A. and Khmel V. (2013), "Realization of the plan for entering into the most fragmented and management of the most common control systems", *Standardization, certification, accuracy*, Kharkiv, No. 6 (85), pp. 33–35.
6. Storchak, S.O., Maslyuchenko, V.G. and Dmitrik, V.V. (2015), "Actual aspects of environmental policy in the oil and gas complex (at the application of the National Joint Stock Company "Naftogaz of Ukraine")", *Naftogazova Gallery of Ukraine*. No. 2, pp. 40–45.
7. Stelmakh, O.R., Arkhipova, L.M. and Stelmakhovich, G.D. (2010), "Evaluation of environmental aspects in the process of implementation of ISO 14000 standards at the enterprises of Naftogaz Ukrayini" *Science News NTUNG*, No. 2 (24), pp. 171–177.
8. Mikhailova, M.D. and Kostenko, O.K. (2016), "Relocation and subservience in the implementation of environmental management systems and certification at industrial enterprises", *Agrosvit*, Dnieper, No. 7, pp. 57–60.
9. (2019), *ShebelinkaProduction: Production and Gas Department*, available at:  
<http://www.ugv.com.ua/uk/page/gazopromislove-upravlinna-sebelinkagazvidobuvannya>
10. Tverynykova, O.E. and Khodak, E.A (2018), "Development of an environmental management system for a gas condensate and oil refinery", *Actual Problems of Automation and Instrumentation*, Kharkiv, pp. 121–122.
11. (2019), *Notification of planned activities to be assessed on the environment of the Public Joint Stock Company "Ukrgasvydobuvannia"*, available at:  
<https://kharkivoda.gov.ua/content/documents/931/93006/Attachments/ukrgazvidobuvannya.pdf>
12. (2019), *On approval of the Technical regulation on requirements for gasoline, diesel, ship and boiler rooms*, available at:  
[http://chuguivrada.gov.ua/files/docs/2018/2903\\_Untitled\\_FR12.pdf](http://chuguivrada.gov.ua/files/docs/2018/2903_Untitled_FR12.pdf) (last accessed December 01, 2019).
13. (2019), *Approval of the Technical Regulation on the requirements for gasoline, diesel, marine and boiler fuels*, available at:  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/927-2013-%D0%BF>
14. (2019), *On the basic principles (strategy) of the state environmental policy of Ukraine for the period up to 2020*, Law of Ukraine of December 21, 2010 N 2818-VI, available at: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/2818-17>
15. (2009), *JSC "Environmental Management System at the Naftogaz of Ukraine NJSC Enterprises"*, Substantive provisions (Draft, final version), Kyiv, 76 p.
16. (2016), State Enterprise "Kharkiv Regional Scientific and Production Center for Standardization, Metrology and Certification" (State Enterprise "Kharkivstandartmetrologiya"), *Certification procedure for quality management systems, environmental management systems, occupational safety and health management systems*, Kharkiv, 72 p.
17. Soroko, V.M. (2013), *Functioning and development of a quality management system: a teaching method*, Materials, Kyiv, 80 p.
18. (2016), *DSTU ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT) Sy'stemy' upravlinnya yakistyu, vy'mogy'. Vy'dannya oficjalne* [DSTU ISO 9001:2015 (ISO 9001: 2015, IDT) Quality management systems, requirements. Official publication], SE "UkrNDNTS", Kyiv, 22 p.
19. (2007), *DSTU ISO / TS 29001: 2010 Quality management systems, Requirements for organizations that supply products and services in the oil, petrochemical and gas industries*, available at: <http://document.org.ua/sistemi-upravlinja-jakistyu-vimogi-do-organizacii-jaki-pos-std12426.htm>
20. Kachalov V.A. (2007), *OHSAS 18001: 2007 Occupational Health and Safety Management Systems*, Occupational health and safety management systems - Requirement. For educational purposes OHSAS 18001: 2007, available at: <http://iso-management.com/wp-content/uploads/2013/12/OHSAS-18001-2007-.pdf>
21. (2019), ISO news. A new ISO 45001 standard has been published, available at: <https://www.iso.org/ru/news/ref2272.html>
22. (2010), *International Standard ISO 26000: 2010 guide on social responsibility*, available at:  
[http://www.meraua.com/files/ISO\\_26000\\_Rus-draft.pdf](http://www.meraua.com/files/ISO_26000_Rus-draft.pdf)
23. Denisyuk, S.P. (2015), *ISO 50001: Objectives of the standard and prospects for its implementation in Ukraine*, Kyiv, 104 p.
24. Berzina, S.V. and Yareskovskaya, I.I. (2017), *Environmental management systems: current trends and international standards*, Guide, Kyiv, 134 p.

25. Berzine, S. (2009), *Environmental management systems*, Guidebook for the implementation of international standards of the ISO 14000 series], Kyiv, 62 p.
26. (2016), DSTU ISO 14001: 2015 (ISO 14001: 2015, IDT) *Official publication. Application requirements and guidelines*, Kyiv, 30 p.

Received (Надійшла) 27.11.2019  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.01.2020

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Тверитникова Олена Євгенівна** – доктор історичних наук, доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;

**Elena Tverytnyko** – Doctor of Historical Sciences, Associate Professor Department of Information and Measuring Technologies and Systems, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; e-mail: [tveekhpi@ukr.net](mailto:tveekhpi@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6288-7362>.

**Дроздова Тетяна Василівна** – старший викладач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;

**Tatyana Drozdova** – Senior Lecturer Department of Information and Measuring Technologies and Systems, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; e-mail: [drozdova.tv@ukr.net](mailto:drozdova.tv@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7315-5869>.

**Демідова Юлія Євгенівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри педагогіки і психології управління соціальними системами, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;

**Yulia Demidova** – Candidate of Technical Sciences, Assistant professor of pedagogy and psychology of social systems management Department, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; e-mail: [dem-ula@ukr.net](mailto:dem-ula@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8295-5972>.

#### **Екологічний менеджмент як складова інтегрованої системи управління на підприємствах із переробки газового конденсату та нафти**

О. Є. Тверитникова, Т. В. Дроздова, Ю. Е. Демідова

**Анотація.** Розглянуто результати діяльності та етапи впровадження різних заходів екологічної політики підприємства на прикладі Шебелинського відділення з переробки газового конденсату та нафти. Запропоновано структурну схему моделі системи екологічного управління як важливої складової інтегрованої системи управління підприємства з перероблення газового конденсату та нафти на основі залучення наукової літератури, нормативно-правових документів з застосуванням структурно-логічного методу, систематизації та узагальнення та методів змістового та порівняльного аналізу. Розглянуті особливості впровадження міжнародних екологічних стандартів серії ISO 9000 та ISO 14000 щодо створення інтегрованої системи управління. Доведено, розроблення і впровадження на підприємстві з перероблення газового конденсату та нафти інтегрованої системи управління надає деякі переваги, зокрема підвищення загальної конкурентоспроможності продукції та адаптації до ринкових умов, формування екологічної політики, та підходів до ефективного використання ресурсів. Формування інтегрованої системи управління відбувається впродовж чотирьох основних етапів, це планування, впровадження, перевірка та коригування. Невід'ємною складовою процесу формування інтегрованої системи управління є використання у комплексі процесного та системного підходу. Застосування аддитивної моделі та моделі одночасного інтегрування дало змогу при поступовому впровадженні створити єдину систему управління на основі вимог різних стандартів та значно зменшити обсяг документації.

**Ключові слова:** екологічний менеджмент; інтегрована система керування; нафтопереробні підприємства; міжнародні стандарти.

#### **Экологический менеджмент как составляющая интегрированной системы управления на предприятиях переработки газового конденсата и нефти**

Е. Е. Тверитникова, Т. В. Дроздова, Ю. Е. Демидова

**Аннотация.** Рассмотрены результаты деятельности и этапы внедрения различных мероприятий экологической политики предприятия на примере Шебелинского отделения по переработке газового конденсата и нефти. Предложена структурная схема модели системы экологического управления как важной составляющей интегрированной системы управления предприятия по переработке газового конденсата и нефти на основе привлечения научной литературы, нормативно-правовых документов с применением структурно-логического метода, систематизации и обобщения и методов содержательного и сравнительного анализа. Рассмотрены особенности внедрения международных экологических стандартов серии ISO 9000 и ISO 14000 по созданию интегрированной системы управления. Доказано, разработка и внедрение на предприятии по переработке газового конденсата и нефти интегрированной системы управления предоставляет некоторые преимущества, в частности повышение общей конкурентоспособности и адаптации к рыночным условиям, формирование экологической политики, и подходов к эффективному использованию ресурсов. Формирование интегрированной системы управления происходит в течение четырех основных этапов, это планирование, внедрение, проверка и корректировка. Неотъемлемой составляющей процесса формирования интегрированной системы управления является использование в комплексе процессного и системного подхода. Применение аддитивной модели и модели одновременного интегрирования позволило при постепенном внедрении создать единую систему управления на основе требований различных стандартов и значительно уменьшить объем документации.

**Ключевые слова:** экологический менеджмент; интегрированная система управления; нефтеперерабатывающие предприятия; международные стандарты.

# Methods of information systems synthesis

UDC 629.76

doi: 10.20998/2522-9052.2020.1.07

Eu. Aleksandrov<sup>1</sup>, T. Aleksandrova<sup>2</sup>, I. Kostianyk<sup>2</sup><sup>1</sup>Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine<sup>2</sup>National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine

## PARAMETRIC SYNTHESIS OF THE DIGITAL INVARIANT STABILIZER FOR A NON-STATIONARY OBJECT

**Abstract.** Two methods are considered for choosing the values of the variable parameters of the digital stabilizer for a non-stationary object, which ensures the invariance of the closed stabilization system to the action of external disturbances. The comparative analysis of the considered methods was carried out in order to identify their advantages and disadvantages. As an example, it is considered the problem of parametric synthesis of the digital stabilizer of the C5M cosmic stage of the Cyclone-3 carrier rocket as part of the program for the modernization of these objects created in the late 70s by the joint efforts of the Yuzhnoye Design Bureau and NPO Hartron, which contain an analog stabilization system and operating to date. It is concluded about advisability to replace the C5M analog stage stabilizer with the digital stabilizer in order to improve the quality of the stabilized process of the stage in the active part of the flight trajectory. It is shown that both methods considered in the article lead to the creation of the digital stabilizer that provides a significant reduction in the static error of the closed digital stabilization system of the cosmic stage of the carrier rocket and an increase in the quality of stabilization process.

**Keywords:** digital stabilizer; non-stationary object of stabilization; invariance of the stabilization system; quality of the stabilized process; the cosmic stage of the carrier rocket; parametric synthesis of the stabilizer.

### Introduction

**Problem statement.** The perturbed motion of a non-stationary stabilization object is described by a vector-matrix differential equation

$$\dot{X}(t) = \Phi[X(t), t] + B(t) \cdot U(t) + C(t) \cdot F(t), \quad (1)$$

where  $X(t)$  is the  $n$ -dimensional state vector of the stabilization object;  $U(t)$  is the  $m$ -dimensional control vector;  $F(t)$  is the  $k$ -dimensional vector of random external disturbances;  $B(t)$  and  $C(t)$  are rectangular matrices of sizes  $n \times m$  and  $n \times k$ , respectively.

The digital stabilizer implements a linear stabilization algorithm

$$U[nT] = K[nT] \cdot \tilde{X}[nT], \quad (2)$$

where  $\tilde{X}[nT]$  is the lattice vector-function at the output of the analog-to-code converter obtained by time quantization of the state vector  $X(t)$  with a quantization period  $T$ , and subsequent filtering of the lattice function  $X[nT]$  using a matrix filter Butterworth

$$Z\{\tilde{X}[nT]\} = W_B(z) Z\{X[nT]\}; \quad (3)$$

where  $z$  is the complex variable of the  $Z$ -transformation of the lattice function;  $W_B(z)$  – diagonal matrix discrete transfer function of the Butterworth matrix filter;  $K[nT]$  is a rectangular matrix of variable parameters of stabilizer of size  $m \times n$ , the elements of which vary in time  $nT$ . The code-to-analog converter converts the lattice vector-function

$U[nT]$  into a piecewise constant vector-function  $U(t)$ , moreover

$$U(t) = U[nT] \text{ when } nT \leq t < (n+1)T. \quad (4)$$

The quality of the stabilizer (2) is usually estimated by the value of the integral quadratic functional

$$I(K[nT]) = \int_0^\tau \langle X(t), Q \cdot X(t) \rangle dt, \quad (5)$$

where  $\tau$  is the analysis time of the stabilized process;  $Q$  is the diagonal Sylvester matrix.

The problem of parametric synthesis of stabilizer (2) is to find the elements of the matrix  $K[nT]$  such that, on the solutions of the closed stabilization system (1)–(4), the integral quadratic functional (5) reaches a minimum. If for the object (1) the condition is satisfied

$$M\{F(t)\} = 0, \quad (6)$$

where  $M$  is the symbol of the vector mathematical expectation, then the formulated problem of the parametric synthesis of the stabilizer (2) is reduced to the problem of the analytical construction of the optimal controller (ACOC) [1–3].

If condition (6) is not fulfilled, which is typical for most non-stationary technical objects, then using the ACOC theory leads to a significant static error of a closed stabilization system [4]. The magnitude of this error depends on the nature of the change in the components of the vector of external disturbances  $F(t)$ , as well as on the structure and values of the elements of the matrix  $K[nT]$  of the stabilization algorithm (2).

## Main material

**Solving the problem of optimizing parametric synthesis using the method of "frozen" coefficients.** In accordance with the method of "frozen" coefficients [5], the time interval for the analysis of the stabilized process  $\tau$  is divided into  $N$  identical sections of duration  $\Delta t$ , moreover  $\Delta t = \tau/N$ .

At time  $t_i = i \cdot \Delta t$ , ( $i = \overline{1, N}$ ), the values of the parameters of the stabilization object (1) and stabilizer (2) are fixed and assumed to be unchanged in the region  $(t_i, t_{i+1})$ . Then equation (1) and relation (2) take the following form

$$\dot{X}(t) = \Phi[X(t), t_i] + B(t_i) \cdot U(t) + C(t_i) \cdot F(t); \quad (7)$$

$$U[nT] = K(t_i) \cdot \tilde{X}[nT]. \quad (8)$$

We add another differential equation to differential equation (7)

$$\dot{x}_{n+1}(t) = \langle X(t), Q \cdot X(t) \rangle,$$

from which, as well as from relation (5),

$$I[K(t_i)] = x_{n+1}(\tau); \quad (i = \overline{1, N}). \quad (10)$$

Using the algorithmic method of parametric synthesis of stabilization systems described in [6,7], we find the matrix  $K(t_i)$  that delivers the minimum of function (10) on the solutions of closed system (7)–(9), (3), (4). Note that the mentioned method of parametric synthesis in parallel includes determining the diagonal elements of the matrix  $Q$  of functional (5). As a result, the dependences of the matrix elements  $K^*[nT]$  are constructed in the form of a piecewise constant function with a step  $\Delta t$  including an integer  $q$  of quantization periods  $T$ :  $\Delta t = qT$ .

To minimize the objective function (10), the algorithmic method of parametric synthesis used uses the Optimization Toolbox software package MATLAB or Minimize software MATHCAD, which implements the Nelder-Mead method for solving nonlinear programming problems [8]. To use the above products in order to solve the optimization problem, it is necessary to choose the region of admissible values  $G_k$  of matrix elements матрицы  $K(t_i) \in G_k$ . In [6, 7], it is proposed to choose the stability region of a closed stabilization system in the space of variable stabilizer parameters as a region  $G_k$  (2). To estimate the region  $G_k$  we neglect the own dynamics of the Butterworth matrix filter and take

$$W_B(z) = E. \quad (11)$$

Then, taking into account relations (3) and (11), we write down the formulas

$$\tilde{X}[nT] = X[nT]; \quad (12)$$

$$U[nT] = K(t_i) X[nT], \quad (13)$$

as well as the equation of the first approximation of the perturbed motion of the stabilization object

$$\dot{X}(t) = A(t_i) \cdot X(t) + B(t_i) \cdot U(t) + C(t_i) \cdot F(t). \quad (14)$$

Using the results of [9], we write the characteristic equation of a closed discrete system of first approximation (14), (13), (4):

$$\det[R(t_i) + H(t_i) \cdot K(t_i) - Ez] = 0, \quad (15)$$

where the matrices  $R(t_i)$  and  $H(t_i)$  are written in the form

$$R(t_i) = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{1}{j!} A^j(t_i) T^j; \quad (16)$$

$$H(t_i) = \sum_{j=0}^{\infty} \left[ \frac{1}{(j+1)!} A^{j+1}(t_i) T^{j+1} \right] B(t_i). \quad (17)$$

The number of taken into account the terms of the matrix series (16) and (17) depends on the magnitude of the quantization period  $T$ . Usually, when using modern digital computers with a short quantization period, it is assumed with sufficient accuracy

$$R(t_i) = E + A(t_i) T;$$

$$H(t_i) = B(t_i) T.$$

In the characteristic equation of the closed discrete system (15), we make the change

$$z = (1+w)/(1-w).$$

As a result, equation (15) takes the form

$$\det \left[ R(t_i) + H(t_i) \cdot K(t_i) - E \frac{1+w}{1-w} \right] = 0. \quad (18)$$

Assuming  $w = j\omega$  in (18), we write the expression for the characteristic vector of a closed discrete system

$$P(j\omega, t_i) = \det \left[ R(t_i) + H(t_i) \cdot K(t_i) - E \frac{1+j\omega}{1-j\omega} \right]. \quad (19)$$

Using the relation for characteristic vector (19), we construct the stability regions of a closed discrete system in the planes of variable stabilizer parameters, the union of which represents the region  $G_k(t_i)$  for each of the fixed time instants  $t_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ).

**Solving the problem of parametric synthesis of a digital invariant stabilizer using time series.** The method of "frozen" coefficients used above to solve the problem of parametric synthesis of the stabilizer of a non-stationary object allows one to obtain time-varying values of the variable parameters of the digital stabilizer, which increases the degree of astatism of the stabilization system, gives the system the invariance property to the external disturbance  $F(t)$  and reduces the static errors of the stabilized process [4]. However, despite the widespread use of the method of "frozen" coefficients in engineering practice, this method does not have a rigorous theoretical justification and does not always lead to the desired results.

It was indicated above that the magnitude of the static error of the stabilized process substantially depends on the nature of the change in time of the external disturbance  $F(t)$ . The above algorithmic method of parametric synthesis of the stabilizer, based on the “freezing” of the coefficients of the mathematical model of the stabilization object, takes into account the change in the disturbance  $F(t)$  indirectly when integrating matrix equation (14), which does not exclude a significant static error when the stabilizer processes the disturbance  $F(t)$ .

A much more effective method for the parametric synthesis of an invariant stabilizer of a non-stationary object is the method described below, based on the representation of an external disturbance in the form of a time series

$$F(t) = F_0 + F_1 t + F_2 t^2 + \dots + F_l t^l, \quad (20)$$

where  $F_0, F_1, F_2, \dots, F_l$  are vectors of dimension  $k$  with constant values component.

The higher the degree of polynomial (20), the more complicated the vector function  $F(t)$ . The matrix of variable parameters of the digital stabilizer (2) will be found in the form of a time series

$$K[nT] = K_0 + K_1 nT + K_2 (nT)^2 + \dots + K_l (nT)^l, \quad (21)$$

where  $K_0, K_1, K_2, \dots, K_l$  are rectangular matrices with constant values of elements of size  $m \times n$  each.

Any of the elements  $k_{ij}[nT]$  of the matrix (21) is also written in the form of a time series

$$k_{ij}[nT] = k_{0ij} + k_{1ij} nT + k_{2ij} (nT)^2 + \dots + k_{lij} (nT). \quad (22)$$

From relation (22) it is clear that each of the elements of matrix (21) contains  $(l+1)$  variable parameters; therefore, matrix (21) contains such parameters  $m \cdot n \cdot (l+1)$ .

The problem of parametric synthesis of an invariant digital stabilizer (2) for a non-stationary object (1) is to find  $m \cdot n \cdot (l+1)$  variable parameters of matrix (21) such that the integral quadratic functional (5) reaches its minimum on solutions of a closed system (1)–(4). If the parametric synthesis procedure for the stabilizer based on the use of the “frozen” coefficients method is a solution to a sequence of optimization problems of  $N$  functionals (10) with respect to  $m \cdot n$  variable parameters of the matrices  $K(t_i), (i = \overline{1, N})$ , then a procedure based on the use of time series is a solution to the problem of optimizing one functional (5), calculated along the trajectory of a non-stationary object during the time  $\tau$  of a motion relative to  $m \cdot n \cdot (l+1)$  of the variable matrix parameters (21).

The second approach to solving the problem of parametric synthesis of the stabilizer is much more complicated than the first, but it allows to obtain a significantly higher quality of the stabilized process.

**Example.** As an example, we consider the problem of parametric synthesis of the stabilizer of the CSM cosmic stage (CS) of the Cyclone-3 carrier rocket, the mathematical model of the disturbed motion of which is given in [11] and in the channel of angular stabilization for the yaw angle has the following form:

$$\begin{aligned} \ddot{\psi}(t) &= a'_{\psi\psi} \psi(t) + a''_{\psi\beta_1} \ddot{\beta}_1(t) + \\ &+ a''_{\psi\beta_2} \ddot{\beta}_2(t) + a_{\psi\delta} \delta(t) + m_\psi(t); \\ \ddot{\beta}_1(t) &+ 2\xi_1 \omega_1 \dot{\beta}_1(t) + \omega_1^2 \beta_1(t) = a''_{\beta_1\psi} \ddot{\psi}; \\ \ddot{\beta}_2(t) &+ 2\xi_2 \omega_2 \dot{\beta}_2(t) + \omega_2^2 \beta_2(t) = a''_{\beta_2\psi} \ddot{\psi}, \end{aligned} \quad (23)$$

where  $\psi(t)$  is the angle of rotation of the longitudinal axis of the stage relative to the plane of the orbit;  $\beta_1(t), \beta_2(t)$  are the angles of deviation of the free surface of the fuel and oxidizer, respectively, from the unperturbed position;  $m_\psi(t)$  is the reduced disturbing moment;  $\delta(t)$  is the angle of deviation of the axis of the marching engine from the longitudinal axis of the stage in the channel of yaw;  $a'_{\psi\psi}, a_{\psi\delta}$  – time-varying coefficients characterizing the movement of the stage;  $a''_{\psi\beta_1}, a''_{\psi\beta_2}$  are the coefficients of the influence of fluid oscillations in the fuel and oxidizer tanks on the angular movement of the stage;  $a''_{\beta_1\psi}, a''_{\beta_2\psi}$  are the coefficients of the influence of the angular movement of the stage on the oscillations of the liquid in the fuel and oxidizer tanks;  $\xi_1, \xi_2$  – damping coefficients of the vibrations of the fuel and oxidizer in the tanks of the stage;  $\omega_1, \omega_2$  are the natural frequencies of free vibrations of the fuel and oxidizer in the tanks of the stage.

The continuous part of the closed stabilization system, in addition to the stabilization object (23), also contains an electro-hydraulic amplifier (EHA), which rotates the combustion chamber of the marching engine by an angle  $\delta(t)$ , the disturbed motion of which is described by a system of differential equations [4]

$$\begin{aligned} L_y \frac{di(t)}{dt} + r_y i(t) &= U(t) - \frac{k_\delta}{k_s} \delta(t); \\ I_k \frac{d^2\beta(t)}{dt^2} + f_k \frac{d\beta(t)}{dt} + c_k \beta(t) &= k_\beta i(t); \\ \frac{d\delta(t)}{dt} &= k_h k_s \beta(t), \end{aligned} \quad (24)$$

where  $i(t)$  is the current in the control winding of the EHA;  $\beta(t)$  is the angle of rotation of the rocker arm of the EHA electromagnet;  $U(t)$  is the control signal at the output of the code-to-analog converter of the digital stage stabilizer;  $L_y$  – inductance of the control winding of the EHA;  $r_y$  is the resistance of the control winding of the EHA;  $I_k$  – moment of inertia of the rocker arm of the EHA;  $f_k$  is the coefficient of liquid friction in the axis of the rocker arm;  $c_k$  is the stiffness coefficient of the fixing

spring of the EHA rocker arm;  $k_\delta$ ,  $k_s$ ,  $k_\beta$ ,  $k_h$  are the proportionality coefficients.

The continuous part of the closed stabilization system should also include a set of command devices, namely a gyrostabilized platform (GSP) with a gyroscopic angular velocity sensor (GAVS) installed on it. It was shown in [12] that the intrinsic dynamics of GSP and GAVS in the process of parametric synthesis of a digital stabilizer can be neglected and it can be assumed that GSP and GAVS absolutely accurately measure  $\psi(t)$  and  $\omega_z(t) = \dot{\psi}(t)$ . On the one hand, this assumption is associated with the high accuracy of modern gyroscopic instruments and devices, and, on the other hand, with the use of low-frequency Butterworth filters in the digital stabilizer, which efficiently filter high-frequency noise associated with the intrinsic dynamics of gyroscopic instruments and vibration of the stage casing caused by the operation of the marching engine.

Continuous time functions  $\psi(t)$  and  $\omega_z(t)$  are supplied to the inputs of the analog-to-code converter from command devices GSP and GAVS, where they are transformed into lattice functions  $\psi[nT]$  and  $\omega_z[nT]$ , noisy by the natural vibrations of the gyroscope frames and vibrations of the stage casing. These functions go to the inputs of Butterworth digital recursive filters [13, 14]. From the outputs of the filters, the lattice functions  $\tilde{\psi}[nT]$  and  $\tilde{\omega}_z[nT]$  filtered from high-frequency noise arrive at the processor, which forms the stabilization algorithm in the form

$$G_\psi[nT] = k_\psi \tilde{\psi}[nT] + k_{\dot{\psi}} \tilde{\omega}_z[nT], \quad (25)$$

where  $k_\psi$  and  $k_{\dot{\psi}}$  are the variable constants of stabilizer.

If the digital stabilizer implements second-order Butterworth filters with the transfer function

$$W_{B2}(z) = \frac{a_{12}(1+2z^{-1}+z^{-2})}{1+d_{12}z^{-1}+d_{22}z^{-2}}, \quad (26)$$

where  $z$  is the complex variable of the  $z$ -transformation of the lattice function, then, taking into account relations (3) and (26), the difference equations that describe the process of filtering of noisy lattice functions  $\psi[nT]$  and  $\omega_z[nT]$  are written as

$$\begin{aligned} \tilde{\psi}[nT] &= a_{12} \{ \psi[nT] + 2\psi[(n-1)T] + \\ &+ \psi[(n-2)T] \} - d_{12}\tilde{\psi}[(n-1)T] - d_{22}\tilde{\psi}[(n-2)T]; \\ \tilde{\omega}_z[nT] &= a_{12} \{ \omega_z[nT] + 2\omega_z[(n-1)T] + \\ &+ \omega_z[(n-2)T] \} - d_{12}\tilde{\omega}_z[(n-1)T] - d_{22}\tilde{\omega}_z[(n-2)T]. \end{aligned} \quad (27)$$

In this case, the control lattice function  $U[nT]$  is formed in accordance with the algorithm

$$U[nT] = \begin{cases} \delta_\psi[nT] & \text{when } |\delta_\psi[nT]| \leq u^*; \\ u^* \operatorname{sign} \delta_\psi[nT] & \text{when } |\delta_\psi[nT]| > u^*, \end{cases} \quad (28)$$

where  $u^*$  is the value of the saturation zone of the EHA.

The lattice function (28) is supplied to the input of the code-analog converter, which converts the function (28) into a piecewise constant function (4).

Thus, relations (25), (27), (28) and (4) are a mathematical model of a digital stabilizer, and in combination with differential equations (23) and (24), they are a mathematical model of a digital system of angular stabilization of C5M cosmic stage in the channel of yaw. The values of the variable coefficients of the mathematical model of the stabilization object were obtained in [11]. The time dependence of the perturbed moment  $m_\psi(t)$  is shown in Fig. 1 [11].

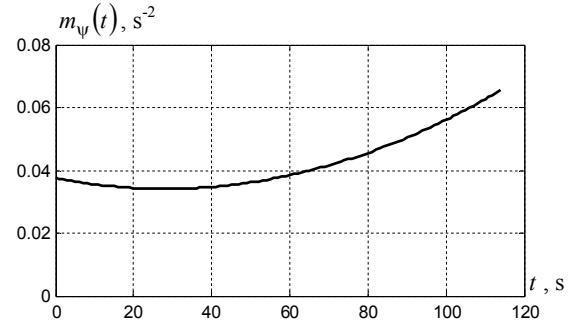


Fig. 1. The time dependence of the perturbed moment  $m_\psi(t)$

The type of curve shown in Fig. 1, we can conclude that the curve  $m_\psi(t)$  is well approximated by a parabola

$$m_\psi(t) = m_{\psi 0} + m_{\psi 1}t + m_{\psi 2}t^2, \quad (29)$$

whose coefficients are  $m_{\psi 0} = 3,75 \cdot 10^{-2} \text{ c}^{-2}$ ;  $m_{\psi 1} = -2,4 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-3}$ ;  $m_{\psi 2} = 4,26 \cdot 10^{-6} \text{ c}^{-4}$ .

Then the variable parameters of the digital stabilizer of the space stage C5M should be presented in the form

$$\begin{aligned} k_\psi &= k_{\psi 0} + k_{\psi 1}nT + k_{\psi 2}(nT)^2; \\ k_{\dot{\psi}} &= k_{\dot{\psi} 0} + k_{\dot{\psi} 1}nT + k_{\dot{\psi} 2}(nT)^2. \end{aligned} \quad (30)$$

Using the method of parametric synthesis of a digital stabilizer described above, based on finding the minimum of the integral quadratic functional

$$I(K) = \int_0^\tau [\alpha_1^2 \psi^2(t) + \alpha_2^2 \dot{\psi}^2(t)] dt, \quad (31)$$

where  $K$  is the vector of variable parameters  $K = [k_{\psi 0} \ k_{\psi 1} \ k_{\psi 2} \ k_{\dot{\psi} 0} \ k_{\dot{\psi} 1} \ k_{\dot{\psi} 2}]$ , calculated on the solutions of a closed stabilization system, we obtain the following values of the variable parameters of the stabilizer:

$$k_{\psi 0}^* = 69,23; \quad k_{\psi 1}^* = -0,4427 \text{ c}^{-1};$$

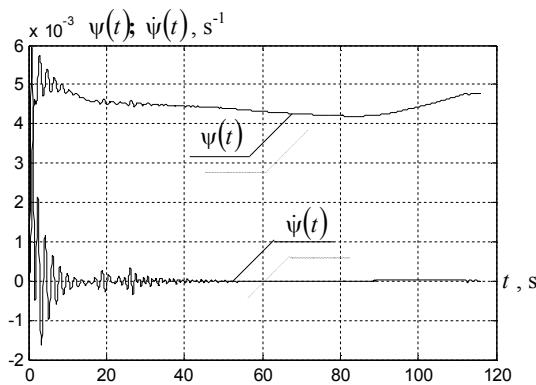
$$k_{\psi 2}^* = 0,7864 \cdot 10^{-2} \text{ c}^{-2}; \quad k_{\dot{\psi} 0}^* = 0,01 \text{ c};$$

$$k_{\dot{\psi} 1}^* = -0,64 \cdot 10^{-4}; \quad k_{\dot{\psi} 2}^* = 1,136 \cdot 10^{-6} \text{ c}^{-1}.$$

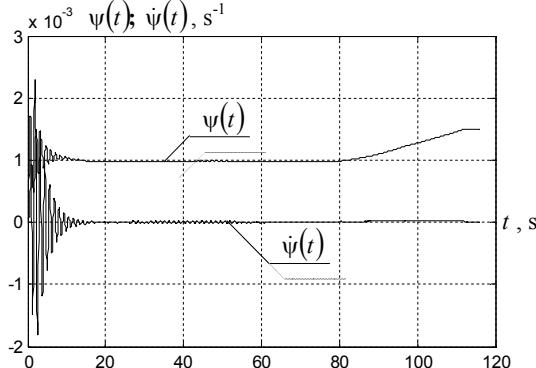
In [4], transients were constructed in a closed digital stabilization system with constant values of the variable

parameters of the digital stabilizer equal to  $k_{\psi}[nT] = k_{\psi0}^*$ ;  $k_{\dot{\psi}}[nT] = k_{\dot{\psi}0}^*$ . These processes are shown in Fig. 2.

Analysis of the processes shown in Fig. 2, shows, firstly, the presence of a significant static error and, secondly, the noticeable effect of fluid oscillations in the fuel and oxidizer tanks from the 20th to 40th seconds of flight in an active part with a duration of 114 s.



**Fig. 2.** Transients in a closed stabilization system with constant values of the variable parameters of the stabilizer



**Fig. 3.** Transients in a closed stabilization system with variable values of the variable parameters of the stabilizer

Comparison of the processes shown in Fig. 2 and Fig. 3, leads to the conclusion that the use of the proposed method for the parametric synthesis of the stabilizer CS can improve the performance of a closed stabilization system, significantly reduce the static error in lateral displacement and significantly reduce the effect of fluid oscillations in the fuel and oxidizer tanks on the stabilized motion of the CS. So, the processes of calming the CS after its separation from the carrier rocket decreased by an average of 25% and their duration does not exceed 10 s. The static error in the angular deviation of the cosmic stage does not exceed 0,0015 rad compared to 0,005 rad, which occurs in the case of constant values of the variable parameters of the stabilizer.

### Conclusions

A comparative analysis of the two methods used in the article for the parametric synthesis of a digital stabilizer for a non-stationary object allows us to identify the advantages and disadvantages of each of them.

The first method, which uses the “freezing” of the coefficients of the mathematical model of a stabilized object at separate time intervals, followed by finding the variable parameters of the stabilizer at each of the intervals, is notable for its simplicity of implementation, but not a rigorous mathematical justification and, as a result, it not provides an effective reduction in the static errors of the stabilization process.

The second method for the parametric synthesis of a digital stabilizer, based on the presentation of external perturbations and variable parameters of the stabilizer in the form of time power series, is much more effective in the sense of imparting a closed stabilization system the property of invariance to the action of external perturbations. The practical implementation of the second method is associated with significant computational difficulties, but this drawback is compensated by the fact that the constructed digital stabilizer is highly accurate in processing external perturbations acting on a stabilized object.

### REFERENCES

- Letov, A.M. (1981), *Matematicheskaya teoriya protsessov upravleniya* [The mathematical theory of control processes], Nauka, Moscow, 256 p. (in Russian).
- Aleksandrov, Ye.Ye. (1990), “Parametricheskaya optimizatsiya reguliruemiyh dinamicheskikh sistem s pomoschyu funktsiy Lyapunova” [Parametric optimization of controlled dynamic systems using Lyapunov functions], *Tehnicheskaya kibernetika*, Izv. AN SSSR, No. 3, pp. 44–49. (in Russian).
- Aleksandrov, Ye.Ye. and Beh, M.V. (1993), *Avtomatirovannoe proektirovaniye dinamicheskikh sistem s pomoschyu funktsiy Lyapunova* [Automated design of dynamic systems using Lyapunov function], Osnova, Kharkiv, 113 p. (in Russian).
- Aleksandrova, T.Ye. and Kostyanik, I.V. (2018), “Parametricheskiy sintez stabilizatora kosmicheskoy stupeni S5M rakety-nositelya «Tsiklon-3» na aktivnom uchastke traektorii” [Parametric synthesis of the CSM cosmic stage stabilizer of the Cyclone-3 carrier rocket in the active part of trajectory], *Visnik NTU «HPI». Seriya: Sistemnyi analiz, upravlinnyi ta Informatsiyni tehnologiyi*, Kharkiv, No. 44 (1320), pp. 3–8 (in Russian).
- Igdalov, I.M., Kuchma, L.D., Polyakov, N.V. and Sheptun, Yu.D. (2010), *Dinamicheskoe proektirovaniye raket* [Dynamic design of the rockets], DNU, Dnepropetrovsk, 264 p. (in Russian).
- Aleksandrov, Ye.Ye. and Aleksandrova, T.Ye. (2014), *Matematicheskoe modelirovanie, sistemnyiy analiz i sintez dinamicheskikh system* [Mathematical modeling, systems analysis and synthesis of dynamic systems], NTU «KhPI», Kharkiv, 200 p. (in Russian).
- Aleksandrov, Ye.Ye. and Aleksandrova, T.Ye. (2015), “Parametric Synthesis of Digital Stabilization System of Tank Gun”, *Journal of Automation and Information Sciences*, No. 41 (11), pp. 1–17.
- Himmelblau, D. (1975), *Prikladnoe nelineynoe programmirovaniye* [Applied Nonlinear Programming], Mir, Moscow, 534 p. (in Russian).
- Vasilev, S.K., Zaharov, V.N. and Prohorov, Yu.F. (1979), *Kibernetika v sistemah voennogo naznacheniya* [Cybernetics in military systems], Voenizdat, Moscow, 263 p. (in Russian).

10. Aleksandrov, Ye.Ye., Kozlov, Ye.P. and Kuznyecov, B.I (2002), *Avtomatichne keruvannya ruhomymy obyektamy i tehnologichnymy procesamy. Tom 1. Teoriia avtomatychnoho keruvannia* [Automatic control of moving objects and technological processes. Volume 1. Automatic control theory], NTU «KhPI», Kharkiv, 490 p. (in Ukrainian).
11. Igdalov, I.M., Kuchma, L.D., Polyakov, N.V. and Sheptun, Yu.D. (2004), *Raketa kak ob'ekt upravleniya* [Rocket as a control object], ART-PRESS, Dnepropetrovsk, 544 p. (in Russian).
12. Aleksandrov, Ye.Ye., Aleksandrova, T.Ye. and Ovcharenko, Yu.Ye. (2019), Improvement of technical and ergonomic characteristics of military objects, KhNADU, Kharkiv, 175 p.
13. Aleksandrova, T.Ye., Kononenko, V.A. and Lazarenko, A.A. (2011), “Comparative analysis of PD-stabilizers for moving objects with low-frequency Butterworth and Lanczos filters”, *Radioelektronika. Informatyka. Upravlinnia*, No. 2, pp. 148–152.
14. Aleksandrova, T.Ye., Aleksandrova, I.Ye. and Lazarenko, A.A. (2014), “Tsifrovye filtry v sistemah avtomobilnoy avtomatiki” [Digital filters in automotive automation systems], *Vestnik Moskovskogo avtomobilno-dorozhnogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta*, No. 1(37), pp. 25–28 (in Russian).

Надійшла (received) 23.12.2019  
Прийнята до друку (accepted for publication) 12.02.2020

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Александров Євген Євгенович** – доктор технічних наук, професор кафедри автомобілів, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна;

**Eugene Aleksandrov** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of automobiles, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [aleksandrov.ye.ye@gmail.com](mailto:aleksandrov.ye.ye@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9596-0669>.

**Александрова Тетяна Євгенівна** – доктор технічних наук, професор кафедри «Системний аналіз та інформаційно-аналітичні технології», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;

**Tetiana Aleksandrova** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Systems Analysis and Information-Analytical Technologies, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [aleksandrova.t.ye@gmail.com](mailto:aleksandrova.t.ye@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9596-0669>.

**Костянник Ірина Віталіївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій і систем колісних та гусеничних машин імені О. О. Морозова, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;

**Iryna Kostianyk** – PhD, Associate Professor, Department of Information Technologies and Systems of Wheel and Track Machines named after Morozov, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [kostyanik-irina@ukr.net](mailto:kostyanik-irina@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0289-2869>.

### Параметричний синтез цифрового інваріантного стабілізатора для нестационарного об'єкта

Є. Є. Александров, Т. Є. Александрова, І. В. Костянник

**Анотація.** Розглядаються два методи вибору значень варійованих параметрів цифрового стабілізатора для нестационарного об'єкта, що забезпечує інваріантність замкненої системи стабілізації до дії зовнішніх збурень. Проведено порівняльний аналіз розглянутих методів з метою виявлення їх переваг та недоліків. Як приклад розглянуто задачу параметричного синтезу цифрового стабілізатора космічного ступеня C5M ракети-носія «Циклон-3» в рамках програми модернізації зазначених об'єктів, створених наприкінці 70-х років об'єднаними зусиллями фахівців КБ «Південне» і НВО «Хартрон», що містять аналогову систему стабілізації і експлуатуються до теперішнього часу. Зроблено висновок про доцільність заміни аналогового стабілізатора ступеня C5M цифровим стабілізатором з метою підвищення якості процесу стабілізації ступеня на активній ділянці траекторії польоту. Показано, що обидва розглянуті в статті методи призводять до створення цифрового стабілізатора, що забезпечує значне зменшення статичної помилки замкнutoї цифрової системи стабілізації космічного ступеня ракети-носія та підвищення якості процесу стабілізації.

**Ключові слова:** цифровий стабілізатор; нестационарний об'єкт стабілізації; інваріантність системи стабілізації; якість процесу стабілізації; космічний ступінь ракети-носія; параметричний синтез стабілізатора.

### Параметрический синтез цифрового инвариантного стабилизатора для нестационарного объекта

Е. Е. Александров, Т. Е. Александрова, И. В. Костянник

**Аннотация.** Рассматриваются два метода выбора значений варьируемых параметров цифрового стабилизатора для нестационарного объекта, обеспечивающего инвариантность замкнутой системы стабилизации к действию внешних возмущений. Проведен сравнительный анализ рассмотренных методов с целью выявления их достоинств и недостатков. В качестве примера рассмотрена задача параметрического синтеза цифрового стабилизатора космической ступени C5M ракеты-носителя «Циклон-3» в рамках программы модернизации указанных объектов, созданных в конце 70-х годов объединенными усилиями специалистов КБ «Южное» и НВО «Хартрон», содержащих аналоговую систему стабилизации и эксплуатирующихся до настоящего времени. Сделан вывод о целесообразности замены аналогового стабилизатора ступени C5M цифровым стабилизатором с целью повышения качества стабилизируемого процесса ступени на активном участке траектории полета. Показано, что оба рассмотренных в статье метода приводят к созданию цифрового стабилизатора, обеспечивающего значительное уменьшение статической ошибки замкнутой цифровой системы стабилизации космической ступени ракеты-носителя и повышение качества процесса стабилизации.

**Ключевые слова:** цифровой стабилизатор; нестационарный объект стабилизации; инвариантность системы стабилизации; качество стабилизируемого процесса; космическая ступень ракеты-носителя; параметрический синтез стабилизатора.

С. М. Андреєв, В. А. Жилін

Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

## МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ АТЛАСІВ ІСТОРИЧНИХ КАРТОГРАФІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЗА ДАНИМИ АЕРОФОТОЗОЙОМКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Анотація.** Предметом дослідження є методика створення атласів історичних картографічних моделей за даними аерофотозоюмки. Об'єктом дослідження є процес створювання різноманітних типів тематичних картографічних моделей, що містять специфічну інформацію щодо архівних та сучасних картографічних матеріалів, які висвітлюють історичні події. Метою роботи є підвищення інформативності та наочності історичних картографічних моделей, забезпечення цілісного уявлення про розташування та змінювання інфраструктурних об'єктів певної місцевості у різні історичні періоди. **Висновки.** Проаналізовано існуючі зарубіжні та вітчизняні історичні картографічні моделі, які створені з використанням геоінформаційних технологій. Показано, що з середини 90-х років ХХ ст. у зв'язку з появою вільного програмного забезпечення та відкритих картографічних сервісів розпочався активний розвиток закордонних історичних національних проектів із застосуванням геоінформаційних технологій. Разом з тим, в Україні розробка і створення історичних картографічних моделей у теперішній час знаходиться на стадії становлення. Проте реалізація вітчизняних історичних веб-ГІС-проектів представляється перспективним напрямом «цифрової історії» та сприяє інтенсифікації гуманітарних онлайн-технологій і розвитку історико-орієнтованих інтернет-ресурсів. Тому створення атласів історичних картографічних моделей місцевостей України є вкрай актуальним завданням. Проаналізовано організацію німецької аерофотозоюмки Люфтваффе у період Другої світової війни і на підставі результатів цього аналізу сформульовано підхід до отримання зі спеціалізованих сайтів мережі Internet аерофотоматеріалів, що документують історичні змінювання інфраструктури території України. Розроблено методику цифрової обробки зображень при скануванні аерофотознімків. Експериментально встановлено функціональні залежності об'єму файлу відсканованого аерофотозображення від заданих параметрів сканування (схеми представлення кольору, розрізнювальної здатності, розміру оригіналу та формату файлу оцифрованого зображення). Запропонована методика забезпечує збереження даних аерофотозоюмок у цифровому вигляді, що є значно простішою задачею, ніж збереження аерофотоплівок та відбитків, оскільки не потребує особливо суворого дотримання температури, вологості тощо, а також вимагає менших площ приміщення для зберігання. Розроблено методику створення атласів історичних картографічних моделей за даними аерофотозоюмки з використанням геоінформаційних технологій. Запропоновану методику апробовано із використанням архівних даних аерофотозоюмок міста Харкова часів Другої світової війни. Запропонована методика передбачає аналіз та відбір з аерофільмів кадрів, що відповідають певним спеціальним критеріям і придатні для створення атласів історичних картографічних моделей. Також методика передбачає визначення метаданих кожного знімку. Врешті, результатом застосування запропонованої методики є отримання мозаїчних історичних картографічних моделей, а також історичних 3D-моделей території. Крім того, методика забезпечує виконання дешифрування аерофотозображень історичних змін інфраструктури певної території. Таким чином, запропонована методика є геоінформаційним програмно-технічним забезпеченням розроблення атласів історичних картографічних моделей за даними аерофотозоюмки і дозволяє отримувати документальну фіксацію динаміки історичних змін інфраструктури території місцевостей, що цікавлять.

**Ключові слова:** геоінформаційні системи; аерофотозоюмка; цифрові моделі місцевості; дешифрування; історичні картографічні моделі.

### Вступ

Історичні події можуть бути відтворені на автентичній географічній карті з реконструкцією особливостей просторової організації місця їх розташування. Історична зовнішність міського простору може бути відтворена за допомогою сучасних геоінформаційних систем (ГІС), що дозволяють закріпити за певними об'єктами на карті додаткову інформацію у вигляді тексту або аудіовізуальних документів. Розміщена в мережі Інтернет картографічна інформація про історичні події найчастіше є лише оцифрованим зображенням аналогової карти або атласу карт. Історичні карти зазвичай малозрозумілі рядовому користувачеві, що значно зменшує якість сприйняття інформації щодо просторових об'єктів минулого.

Розвиток ГІС відкриває широкі можливості в області історичних досліджень. З їх допомогою стає можливим не просто переводити в електронний вигляд і публікувати унікальні історичні карти, але й будувати історичні картографічні 3D-моделі, що дозволяє за допомогою ретро-геоскролінгу занурюватися в глиб минулого, залишаючись в одній точці

географічного простору, при цьому відображуючи на вибраній ділянці картографічної моделі ті об'єкти, що існували в попередні історичні періоди.

Інтеграція архівних матеріалів, отриманих за даними аерозоюмки минулих часів, із сучасними даними для створення історичних картографічних моделей територій і об'єктів, дозволяє ефективно виявляти й вивчати пам'ятки культури неруйнівними методами в умовах антропогенних змін. Тому розробка методики створення атласів історичних картографічних моделей за даними аерофотозоюмки є вкрай актуальним завданням, вирішення якої дає реальну можливість розпочати широкомасштабні пошуки та відновлення об'єктів культурної спадщини українського народу. Зазначену методику розроблено на прикладі створення атласу картографічних моделей міста Харкова, отриманих за даними німецької аерофотозоюмки у період Другої світової війни.

**Аналіз можливостей геоінформаційних технологій щодо застосування в історичній картографії.** Розгляд не тільки часових, а й просторових характеристик історичних процесів стає невід'ємною особливістю сучасної історичної науки. Істо-

ричні події відбуваються у визначеному місці, на певному просторі областей території Земної кулі. Без розгляду просторової компоненти історичні явища і процеси представлятимуться пласкими й однобокими. На будь-якому рівні історичного дослідження важко обійтися без просторового представлення подій і явищ, що вивчаються.

Застосування засобів просторового аналізу за-безпечує об'ємніше бачення досліджуваних історич-них процесів, а також полегшує виявлення законо-мірностей та тенденцій, що цікавлять, і отримання, врешті, нового історичного знання.

Просторові моделі для вивчення минулого ба-гато в чому зобов'язані своїм розвитком технологіч-ним можливостям візуалізації простору, в якому відбувалися певні історичні події. Такі картографіч-ні моделі дозволяють вельми доказово відповісти на питання про основні чинники заселення тієї чи ін-шої території, закономірності виникнення населених пунктів в різні історичні епохи, співвідношення та взаємні обумовленості географічних, економічних, військових та інших причин, що зумовили рух насе-лення. Ці картографічні моделі можуть бути реалі-зовані як на макро- (країни, континенти), так і на мікрорівні, аж до зовсім невеликих регіонів. Основ-ним способом представлення таких моделей, безу-мовно, є карта. Звідси неможливість історика будь-якого рівня обійтися без карти.

Під картою в найзагальнішому вигляді розумі-ється «математично визначене, зменшене, генералі-зоване зображення (модель) поверхні Землі, що по-казує розташовані або спроектовані на поверхню об'єкти в прийнятій системі умовних знаків».

Поява комп'ютерних технологій привела до формування історичної комп'ютерної картографії. Вже перший, достатньо загальний, погляд на карто-графування історичних явищ і процесів, фактично виявляє в ньому два напрямки. Перший, більш по-верхневий, пов'язаний з рішенням традиційних за-дач історичної картографії. У комп'ютерному плані — це робота з растро-вими зображеннями, основна сутність якої полягає у візуалізації результатів істо-ричного дослідження. Другий напрямок є більш гли-бшим і направленим на рішення задач просторового аналізу. Оскільки всі історичні процеси відбувають-ся не тільки у часі, а й у просторі, з'являється необ-хідність аналізувати просторові історичні дані і ви-являти закономірності, які можна назвати просторо-вими або територіальними.

Використання можливостей просторового ана-лізу у вигляді різного роду комп'ютерних (цифро-вих) історичних карт може стати в нагоді практично в будь-якому історичному дослідженні. Разом з тим, можна виділити деякі пріоритетні для використання географічних інформаційних систем напрями істо-ричних досліджень. До них можна віднести ті, що пов'язані з вивченням історичних закономірностей в просторовій формі: рух населення (завоювання, пе-реселення, міграції), історія інфраструктури, дина-мічні зміни будь-яких ознак діяльності людства.

Змістом історичних карт є просторове відобра-ження історичних явищ, процесів і подій, що харак-

теризують певний період історії, а також показ гео-графічної обстановки у вигляді системи пізнання конкретного простору історичних явищ та процесів його змін у часі. Використовуючи образотворчі вла-стивості комп'ютерних карт, можна переробити та візуалізувати дані, які у вигляді описової інформації зайнали би декілька текстових томів.

Якщо карта до цих пір розглядалася лише як спосіб ілюстративного надання інформації, то комп'ютерне картографування відкрило перед дослідни-ками принципово новий і дуже перспективний шлях обробки інформації з точки зору історико-просто-рового аналізу з можливостями динамічного підходу. Ці історичні карти в їх комп'ютерній реалізації є аналітичними й дослідницькими. Таким чином від-бувається перехід від карти-ілюстрації до карти, що є аналітичним інструментом. Звернення до історич-ного картографічного матеріалу дозволяє виявляти й використовувати інформацію, що не міститься в інших видах джерел, а також стимулює інтерес до розвитку методик виготовлення карт минулого із використанням комп'ютерних технологій.

Таким чином, комп'ютерне картографування заслуговує уваги не тільки як технологія картогра-фування в цілому, придатна для вирішення прикла-дничих завдань, але й як база для розвитку теоретич-них аспектів історичної географії і картографії.

**Аналіз існуючих зарубіжних та вітчизняних історичних картографічних моделей, що створені з використанням геоінформаційних технологій.** Розроблення історичних картографічних моделей, що побудовані на основі ГІС — поширення закор-донна практика. З початку 90-х років ХХ ст. ство-рювались масштабні національні ГІС-проекти в Єв-ропі, США та Китаї, що поєднували реконструкцію адміністративно-територіальних меж та їх змін за демографічними і соціально-економічними даними. Кардинальний поворот у бік щільного використання ГІС-технологій проявляється у розширенні «прису-тності» істориків в мережі Інтернет, активному створенні історико-орієнтованих веб-ресурсів, що надають доступ до видових колекцій історичних джерел, а також стрімкому розвитку онлайн-технологій для їх аналізу. Геоінформаційні системи, що знайшли застосування в історичних досліджен-нях, містять суттєвий технічний компонент і найча-стіше є результатом міждисциплінарної взаємодії фахівців гуманітарних, природних та інформаційних наук. Розробка і створення історичних картографіч-них моделей з використанням дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) є актуальним напрямом «цифрових гуманітарних наук». Разом з тим, в укра-їнській історичній науці такі проекти тільки починають розвиватися, а зарубіжні колеги вже здавна систематично узагальнюють історичний досвід і пропонують перспективи візуалізації історичних просторових даних та їх аналізу.

На сьогоднішній день геоінформаційні техно-логії перестали належати до сугубо географічних інструментів дослідження і активно використову-ються у самих різних областях наукового знання, зокрема гуманітарних. При цьому спеціалісти захід-

них країн в цьому напрямі пішли набагато далі за вітчизняних фахівців, що добре простежується не тільки в безпосередньому використанні інструментарію ГІС в історичних дослідженнях, але й у прагненні до консолідації даних, а також представленні картографічних моделей для широкої аудиторії.

Активний розвиток ГІС-проекті отримали з середини 90-х років ХХ ст. у зв'язку з появою вільного (безкоштовного) програмного забезпечення та відкритих картографічних сервісів. Одним з ключових напрямів стало створення геоінформаційних систем національного рівня і масштабу. Збереженням об'єктів історичного середовища, зафіксованими архівними аерознімками, займалися відомі закордонні вчені, а саме Arnoud de Boer, Bartonek D., Garouani A. El, Alobeid A., Matejicek L., Matoušek V., Remondino F. Національні ГІС піднімають основоположні питання встановлення меж держав та їх адміністративних одиниць різних рівнів. В багатьох країнах ці проекти стали одними з перших робіт, що реалізуються з використанням геоінформаційних технологій. В основі всіх національних ГІС-проектів лежать дані переписів населення в рамках заданих територіальних одиниць, адже велика частина опублікованих даних переписів містить інформацію з просторовим компонентом. ГІС тут є незамінним інструментом дослідження, оскільки дозволяє позначити мережу кордонів в різні періоди часу і вже в рамках певної мережі аналізувати статистичну інформацію, привертаючи можливості просторового аналізу.

Найбільш ранньою історичною великоточескільдовою ГІС є національна ГІС Великобританії (GBHGIS), яка почала розвиватися у 1994 р. GBHGIS включає більше 48 тисяч встановлених і локалізованих одиниць різних рівнів: міст, сільських і міських районів, округів, церковних приходів. Реалізація проекту передбачала встановлення точних меж локацій проживання та відтворення літопису життя населення на основі даних переписів за сторічну історію. Ядром ГІС є база даних картографічних джерел. Для HGIS Великобританії були оцифровані і прив'язані до сітки британського національного стандартного відображення усі кордони 1840–1974 рр. При цьому ГІС GBHGIS влаштована таким чином, що по запиту користувача відображає кордони на конкретну дату. Слід зауважити, що GBHGIS розміщена у відкритому доступі і має достатньо зручний інтерфейс, а саме: містить інформацію загального характеру, опис ГІС, а також джерел, використовуваних при її створенні. Розбиття по темах дозволяє вибрати потрібну базу даних і проглядати її окремо.

Американська історична ГІС (NHGIS) — проект, що фінансується Національним науковим фондом, охоплює період 1790–2011 рр. Ця історична ГІС включає межі штатів й округів, а також дані у межах переписних ділянок на всіх географічних рівнях.

Національна Німецька ГІС (HGGS Germany) включає держави Німецького союзу періоду 1820 – 1914 рр. Ця ГІС територіально охоплює адміністративні межі Німеччини 1815 – 1939 рр. і містить відомості про населення, економіку та династичні зв'язки близько 50 держав Німецького союзу.

Створюються й тематичні національні проекти, наприклад такі, як «Цифровий атлас Європи з 1500 р.» або «Атлас європейських комунікацій і транспортної інфраструктури 1825–2000 рр.». Взагалі, цілий ряд проектів відображає відразу декілька напрямів історичного розвитку представленого регіону: політичний, економічний, релігійний, соціальний. Структура проектів відповідна і надає користувачеві можливість вибору теми, територіальних і хронологічних рамок. Відповідно до запиту на екрані з'являється карта з вибраною інформацією.

Бурхливий розвиток онлайн-ГІС-проектів був зумовлений появою профільних ресурсів, направлених на створення наукової взаємодії в певній області. ГІС доступні для широкого кола користувачів і не вимагають додаткових програмних інсталяцій для персонального комп'ютера. Разом з тим, можна відзначити формування певних передумов появи історичних ГІС, що дають можливість роботи з історичними картографічними матеріалами.

По-перше, в контексті розвитку «цифрової історії» особлива увага приділяється збереженню і забезпеченню доступу до історико-культурної спадщини, що сприяло появлі історико-культурних картографічних проектів на основі даних ДЗЗ.

По-друге, в інтернет-просторі з'являються геопорталі і ресурси, що презентують не тільки цифрові копії картографічних джерел, як, наприклад, на порталах бібліотек, але й растрої та векторні карти, готові до інтеграції в спеціалізоване програмне забезпечення ГІС. Крім того, реалізуються проекти, що надають користувачеві можливості формування тематичних карт.

В Україні розробка і створення історичних картографічних моделей у теперішній час знаходяться на стадії становлення. Проте реалізація вітчизняних історичних веб-ГІС-проектів представляється перспективним напрямом «цифрової історії» та сприяє інтенсифікації гуманітарних онлайн-технологій і розвитку історико-орієнтованих інтернет-ресурсів. Широке впровадження методів фотограмметрії та дистанційного зондування для дослідження історичних об'єктів раніше стримувалося необхідністю використовувати складне та дороге обладнання, яке застосовувалося в картографії. На даний час ситуація кардинально змінюється завдяки широкому використанню цифрових зйомочних камер, появою цифрових фотограмметрических станцій, доступністю GPS та розвитком відповідного програмного забезпечення. Застосуванням фотограмметрических та косміческих методів дистанційного зондування земної поверхні для збереження об'єктів культурної спадщини зайдались вітчизняні вчені: Дорожинський О., Четвериков Б., Барладін О., Лященко А.

З початку 90-х років ХХ ст. формуванню напрямку великоточескільдової тематичного картографування об'єктів історико-культурного призначення надають все більше уваги. Отже, постає питання про необхідність формування геоінформаційної бази даних історичних і культурних об'єктів на державному рівні. Картографування об'єктів історико-культурного призначення має свою специфіку залежно від те-

риторіального рівня їх представлення: глобального, державного (національного), регіонального та локального. Усі існуючі карти, що містять інформацію про об'єкти історико-культурної спадщини, можна поділити на дві групи: туристичні карти, що відображають об'єкти історико-культурної спадщини, та спеціалізовані карти історико-культурної спадщини (інвентаризаційні, оціночні, рекомендаційні, прогнозні). Таким чином, тематику створення історичних цифрових моделей місцевості займається велика кількість як закордонних, так і вітчизняних дослідників. Але в більшості досліджень цифрових моделей місцевості (ЦММ) науковці оперують сучасними даними та картографічними матеріалами та рідко застосовують архівні дані для відображення ЦММ. Інтеграцію архівних матеріалів, таких як дані аерознімання, із сучасними даними для створення ЦММ історичних об'єктів на цей час впроваджено недостатньо.

В Україні нині діє певна кількість організацій, що мають історичне спрямування й займаються відновленням історично визначальних об'єктів місцевості. Деякі з них працюють над питаннями культурної спадщини різних народів, що проживали на території нашої держави під час Другої світової війни і найбільш постраждали від рук нацистських загарбників. Регулярно відбуваються обговорення щодо збереження та відтворення історичних пам'яток. Наприклад, у Конвенції ЮНЕСКО про охорону всесвітньої культурної та природної спадщини зазначено, що культурні спадщині дедалі більше загрожує руйнування, що пояснюється не лише традиційними причинами пошкодження, а й еволюцією соціального та економічного життя, тому виникає потреба в збереженні та відновленні історичних об'єктів та культурних ландшафтів. Також у Міжнародній хартії з охорони і реставрації нерухомих пам'яток та визначних місць (Венеціанська хартія 1964 р.) зазначено, що у справі вивчення та збереження історичного надбання народів світу необхідна допомога усіх галузей сучасної науки і техніки. Зйомка місцевості сутто геодезичними методами

трудомістке і пов'язане з проблемами безпосереднього доступу до об'єктів. Сучасні цифрові технології дають змогу виконати знімання об'єктів та обробку знімків у найкоротші терміни і набагато безпечніше для виконавців. Головна перевага фотограмметричних методів полягає в тому, що в конкретний момент часу можна отримати просторові координати точок досліджуваного об'єкта, тобто уявлення про його форму та розміри. Особливої цінності ці методи набувають у тих випадках, коли потрібно визначати велику кількість просторових точок. При цьому фотограмметричні процеси повністю автоматизовані за рахунок використання цифрових технологій. Історична картографія для туристичних цілей останнім часом стрімко розвивається. Загалом, створено велику кількість карт та схем історичних подій як в Україні, так і за її межами. Але велика частина цього картографічного матеріалу має схематичний вигляд. Якщо брати об'єкти Другої світової війни, то саме на основі архівних дешифрованих аерознімків (рис. 1) створено історичні карти Бабиного Яру та Сирецького концентраційного табору.

Ще одним яскравим прикладом того, що історична картографія набуває розвитку, є створення за архівними аерознімками ситуаційного плану Брестської фортеці станом на 1944 р. (рис. 2).

Саме за результатами наведених вихідних даних дистанційного зондування було побудовано відому картографічну модель Брестської фортеці станом на 1944 р. (рис. 3).

Таким же чином, тобто з використанням комбінації даних аерознімання 1944 року та сучасних картографічних матеріалів, було побудовано картографічну модель місцевості району "Цитадель" у місті Львові (рис. 4 – 5).

Таким чином, з часів здобуття Україною незалежності державні й громадські організації розпочали широкомасштабні пошуки та відновлення об'єктів культурної спадщини українського народу загалом, а також національних меншин, що проживають на території України.

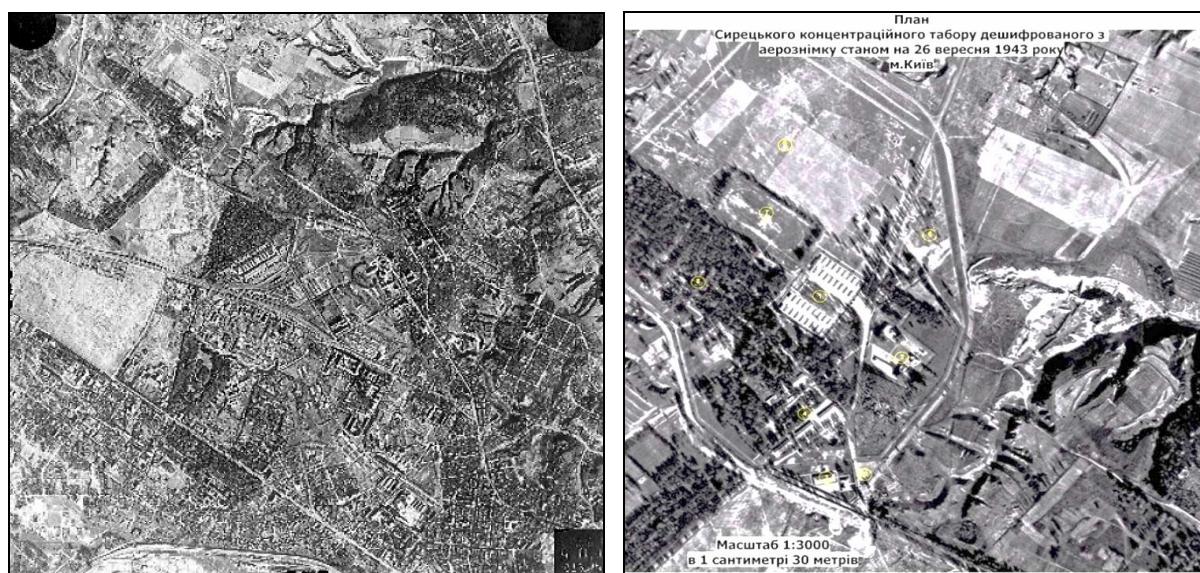
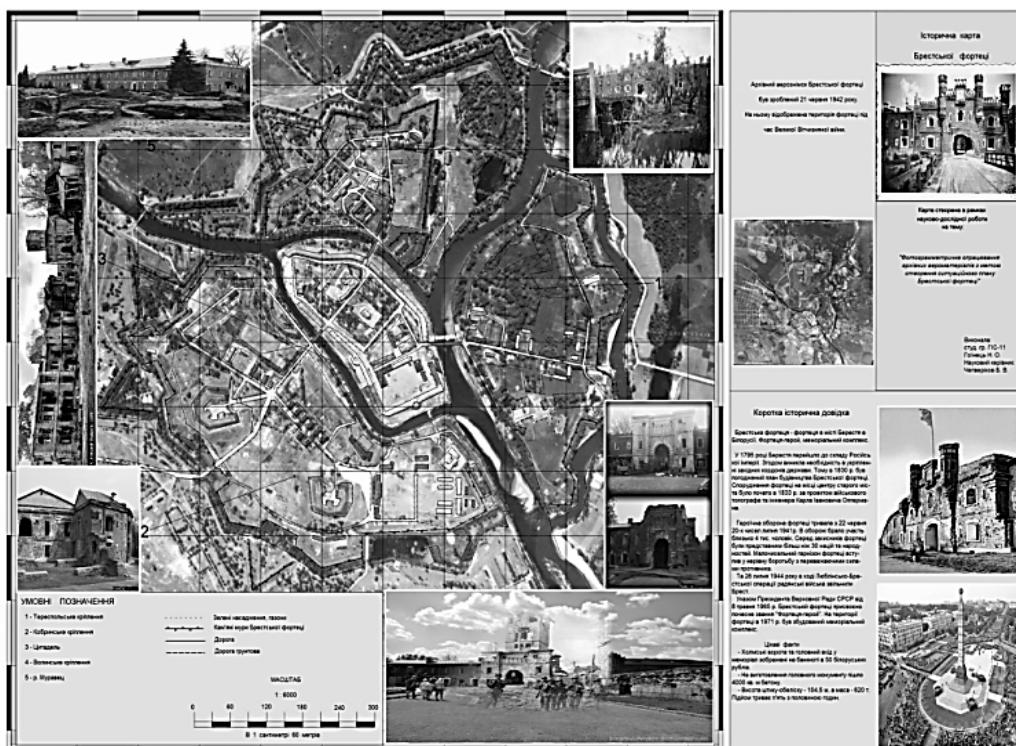


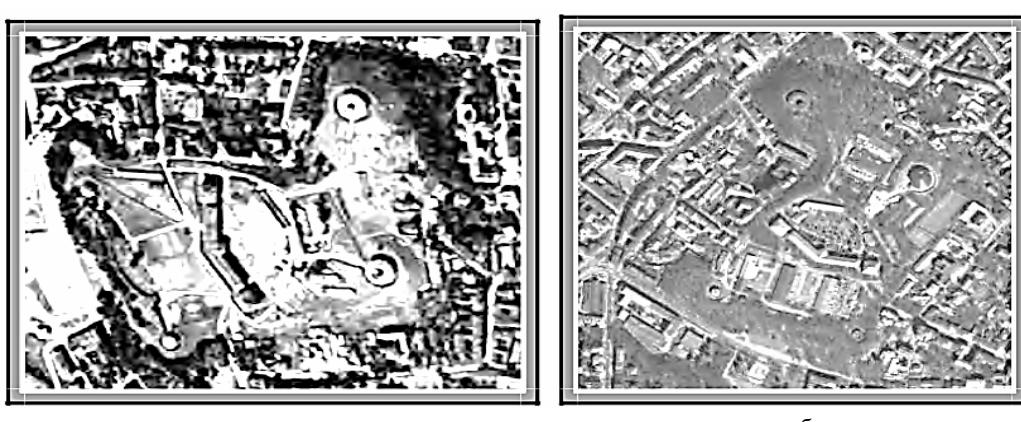
Рис. 1. Архівні аерознімки міста Києва (а) та Сирецького концентраційного табору (б), 26.09.1943 р.



**Рис. 2.** Вихідні дані дистанційного зондування: а – архівний німецький аерознімок Брестської фортеці (1944 р.); б – сучасний космічний знімок з супутника GeoEye-1 (2012 р.)



**Рис. 3.** Картографічна модель Брестської фортеці станом на 1944 р.



**Рис. 4.** Вихідні дані дистанційного зондування району "Цитадель" (м. Львів): а – архівний німецький аерознімок (1944 р.); б – сучасний космічний знімок з супутника GeoEye-1 (2010 р.)

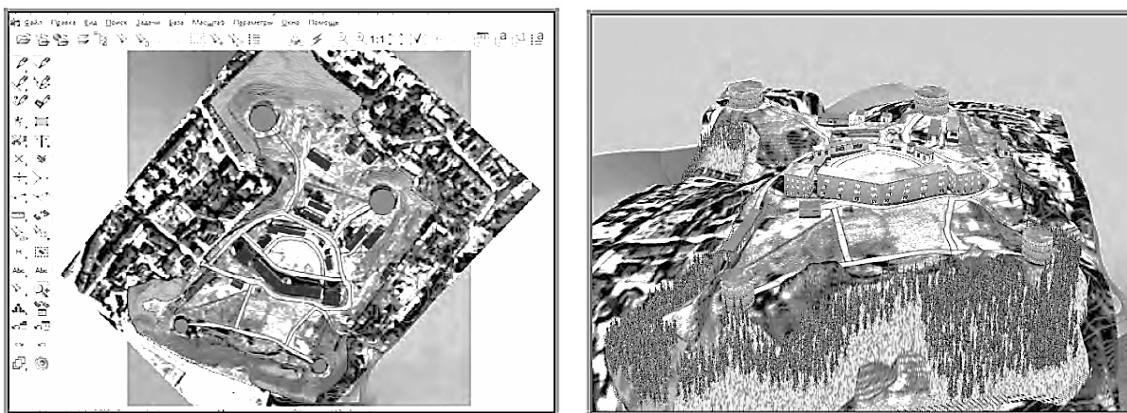


Рис. 5. Історична картографічна 3D-модель району Цитадель" (м. Львів, 1944 р.)

Застосування даних, отриманих під час дешифрування аero- та космознімків у поєднанні з використанням приладів глобального супутникового позиціонування (GPS), дозволяє ефективно виявляти й вивчати пам'ятки культури неруйнівними методами в умовах антропогенних змін.

Проте, інтеграція архівних матеріалів, таких як фотодокументи аерозйомки, із сучасними даними для створення історичних картографічних моделей територій та об'єктів на теперішній час реалізується недостатньо. Тому створення атласів історичних картографічних моделей місцевостей України є вкрай актуальною задачею.

### Постановка задачі

Предметом дослідження є методика створення атласів історичних картографічних моделей за даними аерофотозйомки.

Об'єктом дослідження є процес створювання різноманітних типів тематичних картографічних моделей, що містять специфічну інформацію щодо архівних та сучасних картографічних матеріалів, які висвітлюють історичні події.

Мета роботи — підвищення інформативності та наочності історичних картографічних моделей, забезпечення цілісного уявлення про розташування та змінювання інфраструктурних об'єктів певної місцевості у різні історичні періоди.

Для досягнення поставленої мети було вирішено такі часткові задачі:

- 1) проведено аналіз існуючих історичних картографічних моделей, що створені з використанням геоінформаційних технологій;

- 2) проведено дослідження можливостей сканування матеріалів ДЗЗ та розроблено методику цифрової обробки аерофотовідбитків під час сканування;

- 3) розроблено методику створення атласу історичних картографічних моделей за даними аерофотозйомки із використанням ГІС-технологій (на прикладі міста Харкова за даними німецької аерофотозйомки у період Другої світової війни).

Структурну схему виконаних досліджень наведено на рис. 6.

Отже, початковими вихідними даними для створення атласів історичних картографічних моделей за даними аерофотозйомки є результати вивчен-

ня організації аерофотозйомочного процесу у відповідному історичному періоді.



Рис. 6. Структурна схема досліджень

### Організація німецької аерофотозйомки Люфтваффе у період Другої світової війни

Аерофотозйомкою називають комплекс робіт, що виконуються для отримання топографічних планів і цифрових моделей місцевості з використанням матеріалів фотографування місцевості з атмосферних або космічних літальних апаратів.

Аерофотозйомка має виняткове значення у військовий час для рекогносцировки і точного визначення позицій та укріплень супротивника. У період Другої світової війни авіаційне фотографування отримало масове застосування. Всі країни, що мали військово-повітряні сили в Європі, займалися в тому чи іншому вигляді авіаційним фотографічним картографуванням. Але Німеччина розпочала війну зі значною перевагою в оптиці і можливостях аерофотокамер. Німецькі військові літаки документували аерофотозображення земель Польщі та України у період операції «Барбаросса» в 1941-1943 роках, а також власних окупованих територій на тих же землях перед відступом у 1944 році. На той час якість аерофотозображень Люфтваффе стала дуже високою.

Основними повітряними розвідниками німецьких Люфтваффе були літаки Junkers Ju 88A (рис. 7) та літак Фокке-Вульф W-189 "Рама" (рис. 8).



Рис. 7. Junkers Ju 88A

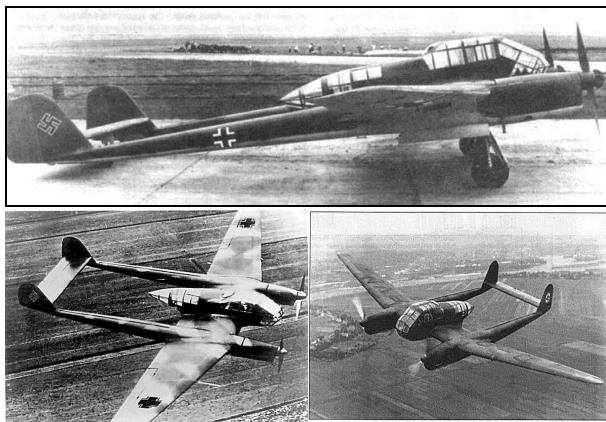


Рис. 8. Фокке-Вульф W-189 ("Рама")

У спеціальних відсіках літаків-розвідників Люфтваффе встановлювались фотокамери типів Rb20/30, Rb50/30, Rb21/18 або Rb15/8 (рис. 9).

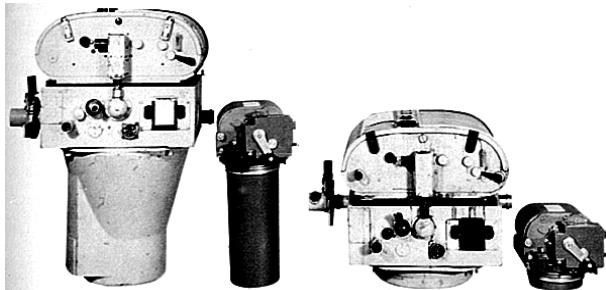


Рис. 9. Аерофотоапарати Rb20/30, Rb50/30, Rb21/18, Rb15/8

Додатково льотчик-спостерігач міг вести зйомку ручними перспективними аерофотокамерами Нк 17,5 та Нк 19 (рис. 10).

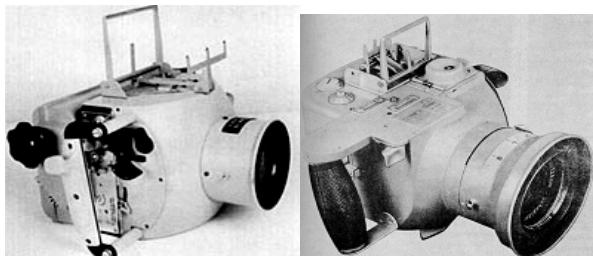


Рис. 10. Аерофотоапарати Нк 17,5 та Нк 19

Разом з тим, в радянській авіації масове застосування аерофотозйомки почалося тільки з 1943 року. У 1941 році було виконано 2800 аерознімків, в 1943 році вже майже 40000, а в 1945 році (за 5 місяців війни) — 100 000 аерознімків.

Всі союзні держави були поінформовані про німецькі досягнення у галузі аерофотозйомки, а в кінці

війни британські, американські та радянські розвідувальні підрозділи вели активний пошук архівів німецьких фотознімків. Через кілька тижнів після каптуляції Німеччини британські та американські підрозділи у декількох районах Німеччини знайшли скопанки результатів авіаційних фотозйомок.

Аерофотовідбитки упакували й доставили до Великобританії в червні 1945 року, де спільні британсько-американські заходи з сортування документації за великим переліком предметів (під назвою «Операція Дік Трейсі») тривали до 1949 року.

Всі аерофотознімки було віднесено до категорії «GX». Відповідний ярлик (рис. 11) зберігається разом з дубльованими копіями зображення, що нині надаються запитувачам Національним управлінням архівів та документації NARA (США), рис. 12, а також Національною колекцією аерофотознімків NCAP (Великобританія), рис. 13, 14.

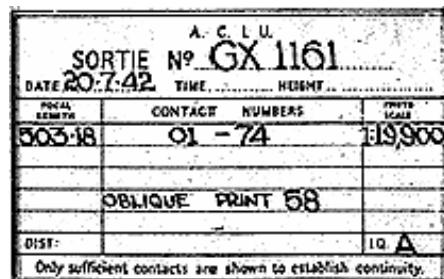


Рис. 11. Приклад ярлика для дубльованих копій аерофотоматеріалів в архівах NARA та NCAP



Рис. 12. Логотип та сайт Національного управління архівів та документації NARA (США)

Всі аерофотозображення часів Другої світової війни були розскреченні, але більшість залишається в архівах на фотоплівках або в паперовому вигляді фотовідбитків. Ці матеріали доступні за запитом, але поки ще не в режимі online.

В NARA колекція з більш ніж 1,2 мільйона зображень, ідентифікована архівним номером [306065](#), позначена як Німецькі аерофотознімки повітряної розвідки 1939–1945 pp. і є частиною групи записів 373-го Розвідувального управління Міністерства оборони.

NARA описує цю колекцію таким чином: серія складається з захоплених німецьких аерофотовідбитків контактного друку 12x12 дюймів, що охоплюють території Англії, Норвегії, Польщі, Росії, Близького Сходу та Північної Африки під час Другої світової війни. Багато з авіаційних фотографій зроблено під час битв. У колекції є аерознімки вертикальної аерофотопографічної зйомки та розвідувальної перспективної аерофотозйомки. Масштаби екземплярів колекції варіюються від 1:15000 до 1:40000.



Рис. 13. Сайт Національної колекції аерофотознімків NCAP (Великобританія)



Рис. 14. Національна колекція аерофотознімків NCAP (Великобританія)

Цінність цих німецьких аерофотознімків для нашої вітчизни велика, тому що архіви аерофотозйомки міста Харкова та його околиць, що проводилася радянською авіацією у період війни, весь час були засекреченні та недоступні тому, що, можливо й тепер, знаходяться в Подільському архіві міністерства оборони Росії.

Доля зроблених під час війни німецьких аерофотознімків цікава сама по собі. Після хіміко-фотографічної обробки вони були затребувані різними штабами німецьких збройних сил для оперативної роботи, а потім відправлені до військового архіву в Кобленце, де й потрапили до рук союзників в кінці війни. Всі захоплені аерофотовідбитки й негативи були завантажені на дві баржі, що прямували до одного з морських портів, звідки й планувалось вивезти фотоматеріали з окупованої Німеччини.

Але, з до цих пір не цілком зрозумілих причин, одна з барж незабаром пішла на дно разом зі всіма негативами, що перевозилися на ній. Це стало наслідком або німецького саботажу, або випадкового збігу обставин. Від всіх матеріалів німецької аерофотозйомки часів війни в руках американців залишилися тільки власне паперові аерофотовідбитки. На довгі роки всі німецькі знімки були засекреченні і зберігалися під контролем військових. Цінність цих трофеїних аерофотознімків, на яких була детально відображені мало не вся європейська територія Радянського союзу, важко переоцінити, адже у разі

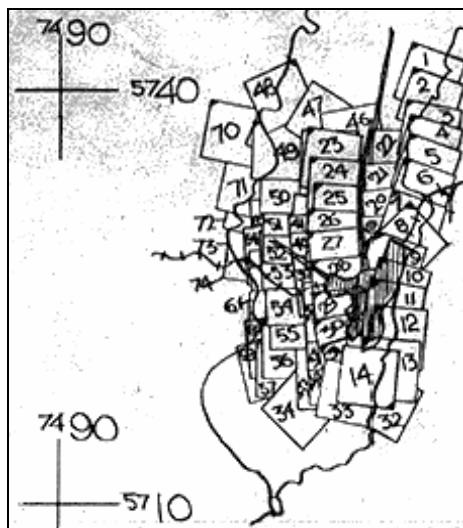
війни з СРСР США могли використовувати німецькі аерофотознімки з великою користю для своїх збройних сил. Отже, захоплені в Германії матеріали аерофотозйомки території СРСР в Пентагоні довгий час розцінювали в першу чергу як документи військово-стратегічного, а не історичного значення. Доступ до них був практично закритий. Так тривало до початку 60-х років ХХ ст., коли з появою майже нічим не обмеженими можливостями супутників-шпигунів трофеїні аерофотознімки часів Другої світової війни втратили для військового відомства США своє минуле значення. Тоді й почалася робота по розсекреченню й класифікації аерофотозйомок і багатьох захоплених у фашистів документів. Історики, нарешті, дістали до них доступ.

Робота з німецькими аерофотознімками вимагає великої ретельності, оскільки знайти потрібні кадри далеко не просто. Треба знати географічні координати потрібних листів з номенклатури топографічної карти, правильно зробити замовлення на потрібне польотне завдання, вибрати відповідний маршрут літака-розвідника з прольотом над потрібними районами місцевості й прийнятний масштаб аерофотозйомки. Тільки після цього можна замовляти аерофотографії.

На даному етапі роботи дуже важливо добре знати місцевість в районі прольоту літака-розвідника, оскільки розібратися в десятках (сотнях) отриманих з нього знімків далеко не просто. Значною допомогою при цьому може стати схема фактичного маршруту літака-розвідника з нанесеними на ній номерами знімків. Така схема, зазвичай, додається до польотного завдання (рис. 15).

### Методика цифрової обробки зображень при скануванні аерофотознімків

Структурну схему методики цифрової обробки зображень (ЦОЗ) при скануванні аерофотознімків наведено на рис. 16.



**Рис. 15.** План-схема виконання розвідувального польоту для проведення аерофотозйомки



**Рис. 16.** Методика ЦОЗ при скануванні аерофотознімків

Етапи методики ЦОЗ при скануванні матеріалів аерофотозйомки передбачають такі дії.

1. *Оцінка фізичного стану носія аерофотографічного зображення.* При уважному вивчені аерофотоплівки (відбитка) потрібно виявити на ньому пил, відбитки пальців, волокна, бруд, подряпини, злами тощо.

2. *Усунення або компенсація різних дефектів на аерофотоплівці (відбитку).* Необхідно прийняти усі можливі заходи для усунення дефектів, часткової або повної їх компенсації (промивання у проточній воді та повторне висушування, глянцевання, ретушування тощо).

3. *Правильне розміщення аерофотоплівки (відбитку).* Навіть невеликий нахил аерофотоплівки (відбитку), на 1-2 градуси, відносно направляючих

сканера може привести до спотворення зображення, що вводиться. Проте такий недолік можна усунути при використанні графічного редактора.

4. *Активування драйвера сканера.* Крім драйвера, в комплект поставки сканера звичайно включається програма редагування зображень. Для активування драйвера сканера засобами графічного редактора необхідно вибрати відповідний драйвер сканера.

5. *Вибір режиму сканування.* В любому драйвері сканера можливо вибрати режим сканування, який визначає розрядність представлення кольору при оцифровці зображення. При виборі режиму сканування необхідно враховувати таке:

- темні оригінали характеризуються вузьким діапазоном кольорів в темних областях, тому при скануванні таких зображень бажано збільшити глибину кольору, бо це дозволить перенести деталі з темних областей в більш світлі;

- сканування зображення менш контрастного оригіналу, що має мало дрібних деталей, буде виглядати краще після перетворення його в зображення із максимально можливою глибиною кольору;

- в режимі CMYK, властивому лише професійним сканерам, в процесі сканування виконується перетворення зображення з формату RGB в формат CMYK.

6. *Попереднє сканування.* Попереднє сканування, що виконується для перегляду аерофотоплівки (відбитку) з низьким розрізненням, дозволяє точно виявити область зображення для заключного сканування і провести настройку тону та кольору. Після попереднього сканування аерофотоплівки (відбитку) треба вибрати тільки ту частину зображення, яку бажано отримати в цифровому вигляді. За рахунок цього скоротиться час сканування і буде збережено дисковий простір.

7. *Кадрування області зображення.* Кадрування зображення – операція відсікання непотрібної частини зображення – проводиться шляхом вводу координат скануемої області зображення. Корисним є також режим пакетного сканування, що задає ряд областей сканування на одному знімку. Такий режим слід використовувати при необхідності оцифровки великого зображення з високим розрізненням, коли ширина в пікселях цифрового знімка буде перевищувати допустимі межі для графічних форматів, що використовуються для оцифровки аерофотозображень.

8. *Корегування тонів зображення.* Після попереднього сканування аерофотоплівки необхідно оцінити отримане тонове розрізнення і при необхідності провести корегування тонів. Зазвичай, в більшості драйверів міститься гістограма розподілення відтінків кольорів зображення. Корегування тонів попереднього сканування зображення потрібно проводити у такій послідовності:

- установка значень точок чорного та білого;
- установка параметра "гамма";
- настройка тонових діапазонів.

9. *Корегування кольору.* На цьому етапі сканування проводиться виправлення зсуву кольору. Виявлення й виправлення зсуву кольору необхідно проводити після того, як тони зображення вже скон-

реговані. Якщо використовувати ці операції в зворотній послідовності, корекція тону може знову призвести до спотворення кольору. Більшість програм сканування дозволяє провести корегування відтінку та насиченості кольору зображення, що сканується, до заключного сканування. Корегування відтінків кольору виконується, звичайно, за допомогою вказівки на кольоровій діаграмі відтінку та насиченості. В деяких драйверах сканерів виконуються регулятори балансу кольорів, що дозволяє підвищити або знизити інтенсивність одного кольору за рахунок іншого.

**10. Установка коефіцієнту масштабування.** В процесі сканування і в подальшому графічному редагуванні можна змінити розмір сканованого зображення. У драйвері сканера зміна розміру зображення виконується або шляхом вводу цифрових значень, або за допомогою слайдерів. Для виключення операцій математичного осереднення значень кольору при зміні розміру зображення слід використовувати кратні коефіцієнти масштабування (100, 200, 300%). При зміні розміру зображення в процесі сканування необхідно звертати увагу на те, щоб вхідне розрізнення зображення не перевищувало оптичного розрізнення сканера.

**11. Заключне сканування.** Для заключного сканування зображення потрібно натиснути відповідну кнопку пристрою, зазвичай, "Scan" або "Final". Якщо драйвер сканера дозволяє завантажувати і зберігати установки параметрів сканування для однотипних оригіналів, то це позбавить від необхідності кожний раз повторяти всі кроки методики сканування.

**12. Збереження зображення.** Практичний досвід сканування багатьох аерофотозображень свідчить про те, що найкращим варіантом вибору формату при збереженні файлу безпосередньо на виході зі сканера є формат BMP.

Подальше перетворення з формату BMP в інші формати проводиться з метою зменшення розміру файла, а отже й економії дискового простору. Наприклад, відсканинований кадр зі знімку розміром 0,025 на 0,025 м при розрізнювальній здатності сканеру 7200 дрі займає об'єм пам'яті 136 Мбайт у форматі BMP.

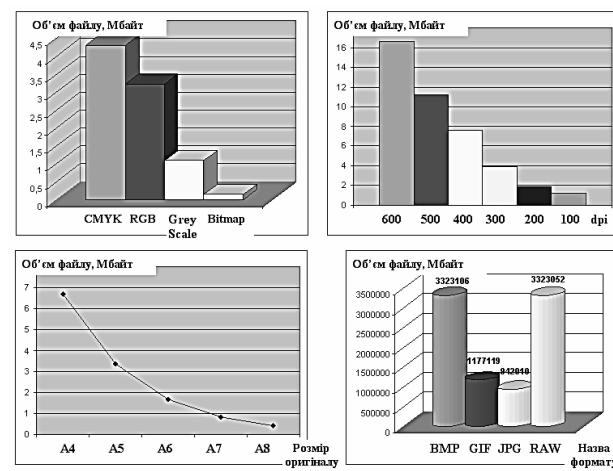


**Рис. 18.** Кадр з аерофотоплівки часів Другої світової війни



**Рис. 19.** Результати сканування із розрізненням 1051\*1065 кадру з аерофотоплівки (див. рис. 18): а – негативна копія (об'єм файла – 1,07 Мбайт); б – позитивна копія (об'єм файла – 0,246 Мбайт)

На рис. 17 наведено результати експериментально отриманих згідно запропонованій методиці розрахунків залежностей об'єму файла відсканованого аерофотозображення від заданих параметрів сканування (схеми представлення кольору, розрізнювальної здатності, розміру оригіналу та формату файла оцифрованого зображення).



**Рис. 17.** Результати досліджень з визначення об'єму файла відсканованого аерофотозображення від параметрів сканування

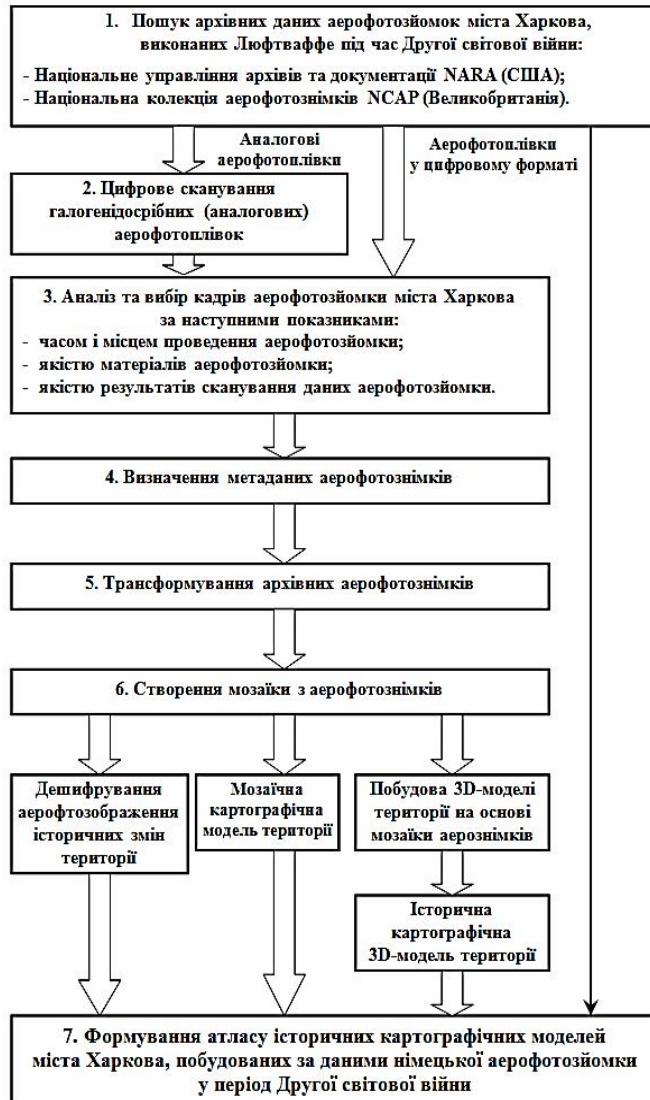
Дослідження проводились із використанням у якості вихідного матеріалу кадру з аерофотоплівки часів Другої світової війни (рис. 18). У якості апаратного забезпечення дослідження було застосовано серійний планшетний сканер Mustec BearPaw 2448TA Plus. Приклади сканування наведеного кадру з аерофотоплівки та подальшої обробки отриманих цифрових зображень наведено на рис. 19.

Збереження даних аерофотозйомок у цифровому вигляді є значно простішою задачею ніж збереження плівки, оскільки не потребує такого сурового дотримання температури, вологості тощо, а також вимагає менших площ приміщень для зберігання. Проте при оцифровці галогенідосрібних аерофотоматеріалів необхідно правильно задавати усі параметри сканування, щоб уникнути втрат вихідних значень сенситометричних та структурометричних параметрів аерофотозображень.



## Методика створення атласів історичних картографічних моделей за даними аерофотозйомки з використанням геоінформаційних технологій

Основні етапи методики створення атласів історичних картографічних моделей, що пропонується (рис. 20), відпрацьовано на прикладі міста Харкова із використанням архівних даних німецької аерофотозйомки Люфтваффе у період Другої світової війни.



**Рис. 20.** Структурна схема методики створення атласів історичних картографічних моделей за даними аерофотозйомки з використанням геоінформаційних технологій (на прикладі міста Харкова)

Особливості першого і другого етапів методики докладно розглянуто вище. На третьому етапі з 87 знімків, отриманих за запитом з сайту Національного управління архівів та документації NARA (США), частина фотоматеріалів була відбракована за такими критеріями: місце зйомки, час зйомки, якість результатів аерофотозйомки, якість сканування галогенідосрібних аерофотознімків. Врешті, були відібрані кадри з аерофільмів німецької аерофотозйомки міста Харкова від 16.09.1941 — 8 кадрів

(зразки наведено на рис. 21), а також 24.09.1941 — 10 кадрів (зразки наведено на рис. 22). Обрані знімки виконувалися на середніх висотах.

Стосовно четвертого етапу запропонованої методики у якості прикладу наведемо метадані одного з отриманих німецьких знімків (рис. 18):

1. Заголовок — TUGX1278SD-160941-014.
2. Автор — NATIONAL ARCHIVES. США: Лонгмонт, Колорадо.
3. Предмет — Аерофотозйомка, Фотомоніторинг Землі, ДЗ3.
4. Опис — Німецька аерофотозйомка міста Харкова.
5. Видавництво — NATIONAL ARCHIVES. США: Лонгмонт, Колорадо.
6. Участник — Sumitomo Corporation of America, Нью-Йорк, США.
7. Дата — 16-09-1941.
8. Тип — Відскановане зображення аерофотознімка.
9. Формат — \*.jreg.
10. Об'єм файлу — 2,8 МБ.
11. Ідентифікатор — 200906315290847240000116202 192000075139504THC.
12. Джерело — Національне управління архівів та документації (NARA) США.
13. Мова — німецька.
14. Зв'язок — <http://www.digitalglobe.com/products/data>.
15. Фокус — 75:80.
16. Номер кадру — 168.
17. Номер фільму — 4078.
18. Час зйомки 10 год. 50 хвил.
19. Авторське право — NATIONAL ARCHIVES. США: Лонгмонт, Колорадо.

На п'ятому етапі методики за допомогою професійної ГІС "Панорама" всі графічні матеріали приводяться до одного масштабу для подальшого їх опрацювання. Для цього потрібно привести матеріали до однакової системи координат, яка в даному випадку (на прикладі міста Харкова) була обрана умовною для більш зручної прив'язки архівних матеріалів.

Технічно це виконується таким чином. У ГІС "Панорама" відкривається фрагмент сучасної карти міста Харкова, в якому ГІС-програма за замовчуванням в проекції "План-схема" надає власні координати прив'язки, відповідні теперішньому часу із визначеною інструментальною похибкою.

Далі через знаходження опорних точок об'єктів місцевості, що історично не змінилися, виконується прив'язка аерофотознімків міста Харкова часів Другої світової війни (рис. 23).

Особливість виконання прив'язки полягає в тому, що усі аерофотоматеріали з часів війни не мають елементів зовнішнього орієнтування, що робить неможливим виконання ортофототрансформування для усунення деформацій зображення. Разом з тим, для створення історичних картографічних моделей не вимагається надвисокої координатної точності, адже історичний картографічний матеріал використовується в основному для наочності. З урахуванням зазначеного, в даному випадку прийнято рішення опустити етап ортофототрансформування. Грунтовність такого рішення підтвердила позити-

вним результатом під час подальшого опрацювання історичного аерофотоматеріалу.

Результати шостого етапу запропонованої методики — історичні картографічні моделі міста Харкова у вигляді мозаїки аерофотознімків, виконанні по матеріалах аерофотографування Люфтваффе

16.09.1941 р. та 24.09.1941 р. (рис. 24). Відповідні історичні картографічні 3D-моделі наведено на рис. 25. Крім зазначеного, запропонована методика передбачає експорт отриманих 3D-моделей у відеоформат \*.avi, що надає моделям більш видовищної рухомої візуалізації (рис. 26).

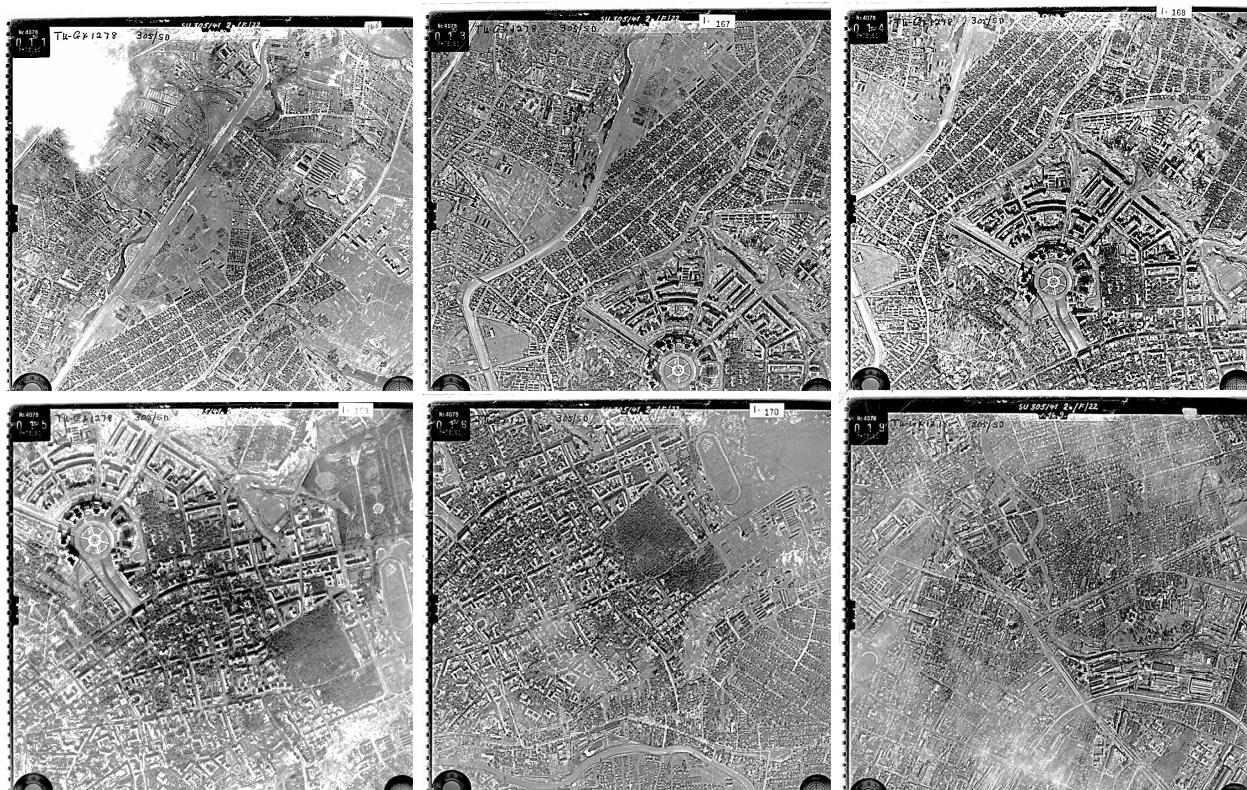


Рис. 21. Відібрані кадри з фільмів німецької аерофотозйомки міста Харкова від 16.09.1941

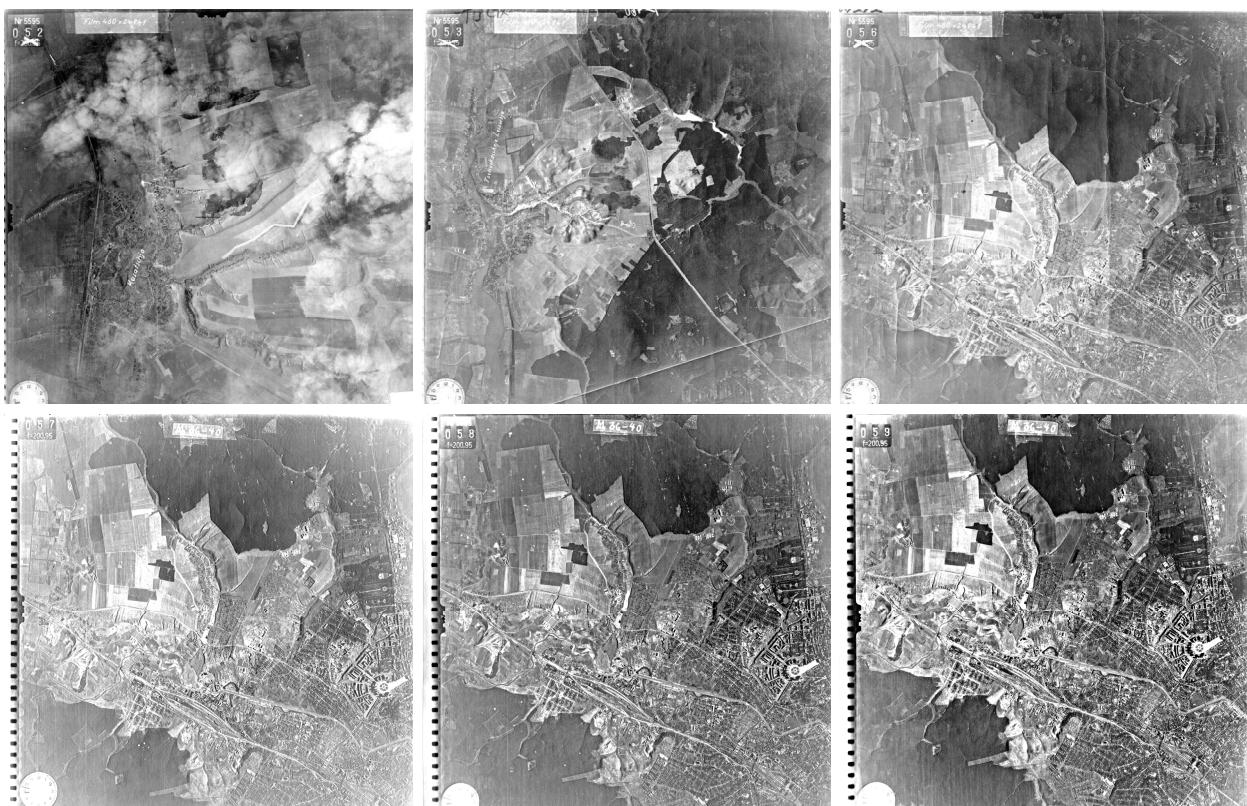
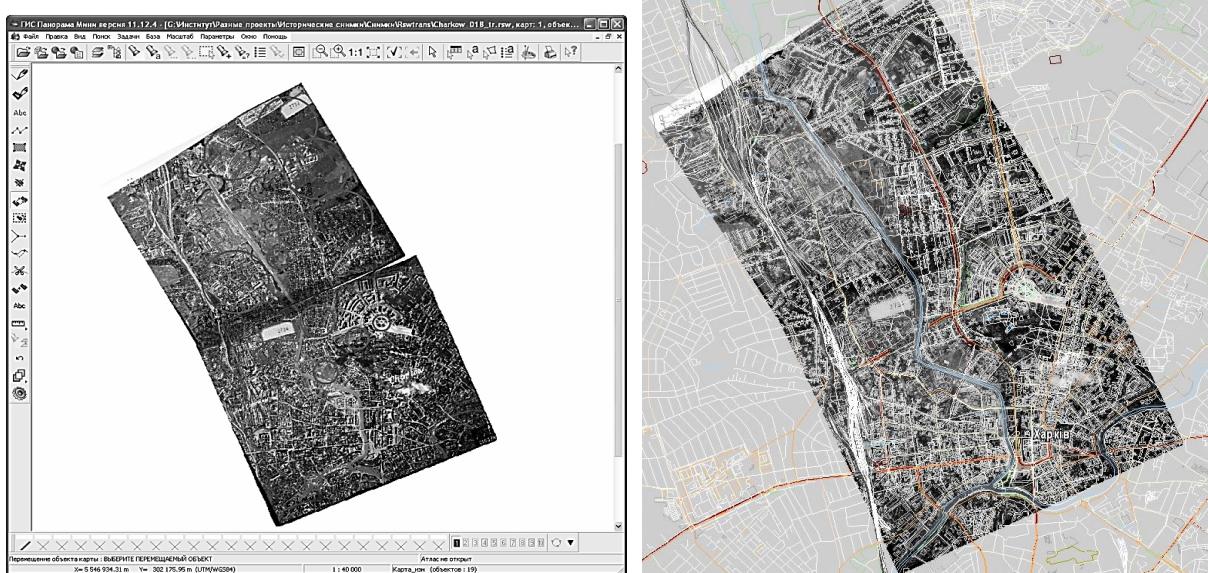
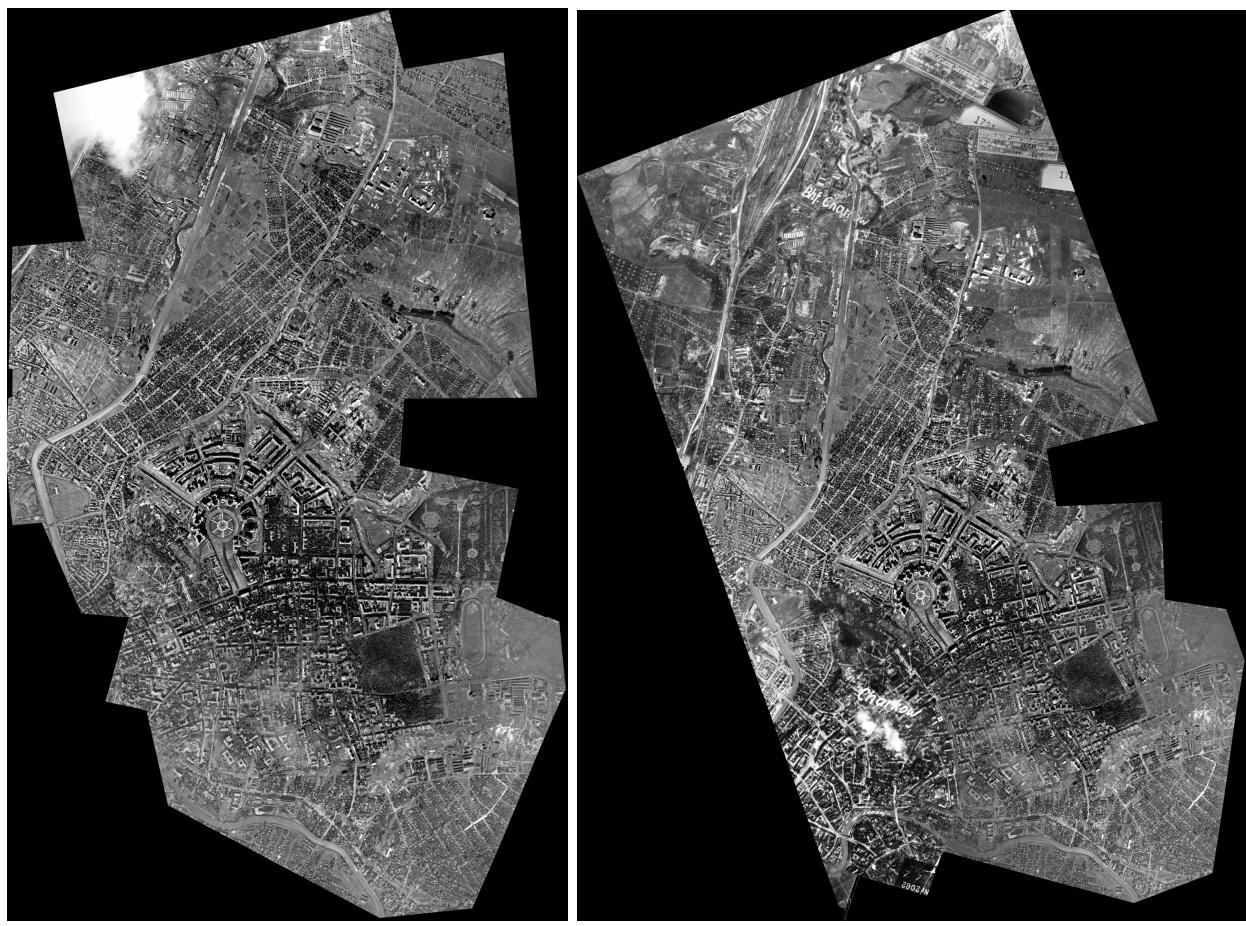


Рис. 22. Відібрані кадри з фільмів німецької аерофотозйомки міста Харкова від 24.09.1941



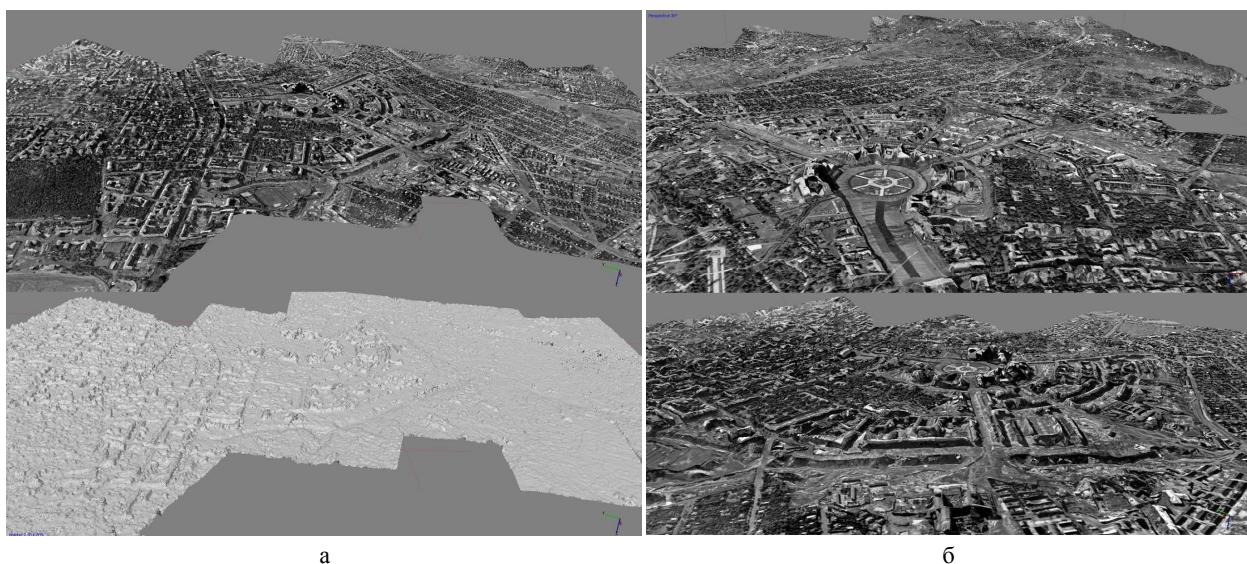
**Рис. 23.** Результати координатної прив'язки аерофотознімків міста Харкова часів Другої світової війни та накладання їх на сучасну карту Харкова



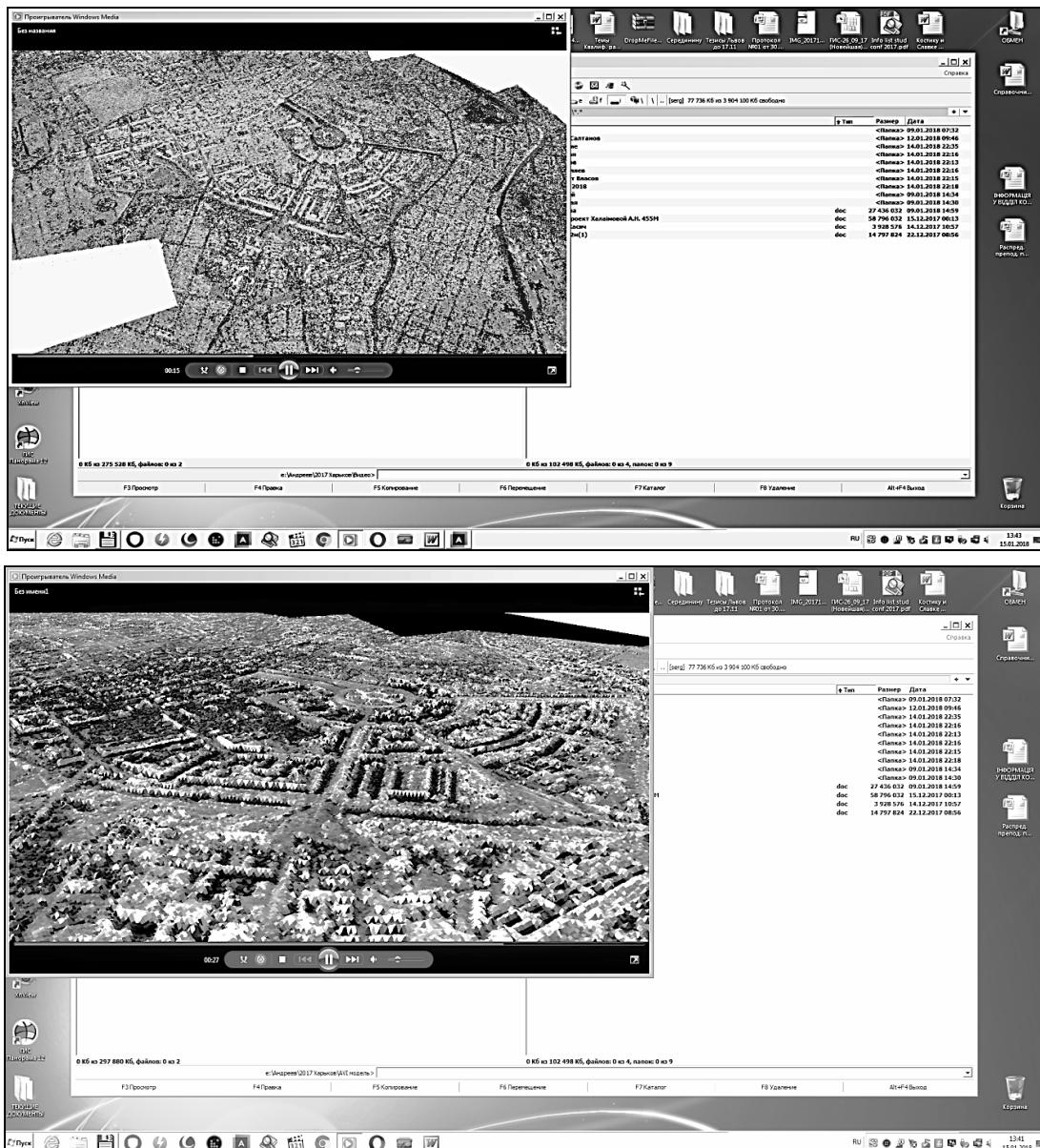
**Рис. 24.** Історична картографічна модель міста Харкова у вигляді мозаїки аерофотознімків по матеріалах аерофотографування Люфтваффе 16.09.1941 р. (а) та 24.09.1941 р. (б)

Після координатної прив'язки та накладання аерофотознімків міста Харкова часів Другої світової війни на сучасну карту Харкова можна отримати документальну фіксацію динаміки історичних змін інфраструктурі міста (рис. 27). Врешті, систематично об'єд-

нуючи отримані історичні картографічні моделі, які органічно пов'язані між собою та змістово доповнюють одна одну, отримуємо атлас історичних картографічних моделей міста Харкова за даними німецької аерофотозйомки у період 2-ої світової війни (рис. 28).



**Рис. 25.** Історична картографічна 3D-модель міста Харкова, побудована по матеріалах аерофотографування Люфтваффе 16.09.1941 р. (а) та 24.09.1941 р. (б)



**Рис. 26.** Результат перетворення історичної картографічної 3D-моделі міста Харкова у відеоформат



Рис. 27. Історичні зміни інфраструктурних об'єктів міста Харкова (1941 та 2019 роки)



Рис. 28. Зміст атласу історичних картографічних моделей міста Харкова

## Висновки

Проаналізовано існуючі зарубіжні та вітчизняні історичні картографічні моделі, які створені з використанням геоінформаційних технологій. Показано, що з середини 90-х рр. ХХ ст. у зв'язку з появою вільного програмного забезпечення та відкритих картографічних сервісів розпочався активний розвиток закордонних історичних національних проектів із застосуванням геоінформаційних технологій. Разом з тим, в Україні розробка і створення історичних картографічних моделей у теперішній час знаходяться на стадії становлення. Проте реалізація вітчизняних історичних веб-ГІС-проектів представляється перспективним напрямом «цифрової історії» та сприяє інтенсифікації гуманітарних онлайн-технологій і розвитку історико-орієнтованих інтернет-ресурсів. Тому створення атласів історичних картографічних моделей місцевостей України є вкрай актуальною задачею.

Проаналізовано організацію німецької аерофотозйомки Люфтваффе у період Другої світової війни і на підставі результатів цього аналізу сформульовано підхід до отримання зі спеціалізованих сайтів мережі Internet аерофотоматеріалів, що документують історичні змінювання інфраструктури території України. Розроблено методику цифрової обробки зображень при скануванні аерофотознімків. Експериментально встановлено функціональні залежності об'єму файлу відсканованого аерофотозображення від заданих параметрів сканування (схеми представлення кольо-

ру, розрізнювальної здатності, розміру оригіналу та формату файла оцифрованого зображення).

Запропонована методика забезпечує збереження даних аерофотозйомок у цифровому вигляді, що є значно простішою задачею ніж збереження аерофотоплівок та відбитуів, оскільки не потребує такого сувороого дотримання температури, вологості тощо, а також вимагає менших площ приміщень для зберігання. Розроблено методику створення атласів історичних картографічних моделей за даними аерофотозйомки з використанням геоінформаційних технологій. Запропоновану методику апробовано із використанням архівних даних аерофотозйомок міста Харкова часів Другої світової війни. Запропонована методика передбачає аналіз та відбір з аерофільмів кадрів, що відповідають певним спеціальним критеріям і придатні для створення атласів історичних картографічних моделей. Також методика передбачає визначення метаданих кожного знімку. Врешті, результатом застосування запропонованої методики є отримання мозаїчних історичних картографічних моделей, а також історичних 3D-моделей території. Крім того, методика забезпечує виконання дешифрування аерофотозображень історичних змін інфраструктури певної території.

Таким чином, запропонована методика є геоінформаційним програмно-технічним забезпеченням розроблення атласів історичних картографічних моделей за даними аерофотозйомки і дозволяє отримувати документальну фіксацію динаміки історичних змін інфраструктури території місцевостей, що цікавлять.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Андреєв С. М., Жилін В. А., Мельник А. П. Застосування анаморфозних картографічних моделей для аналізу геоданих. *Сучасні інформаційні системи*. 2019. Т. 3, № 3. С. 5-16. DOI: <http://dx.doi.org/10.20998/2522-9052.2019.3.01>
2. Андреєв С. М., Жилін В. А., Топчий А. С. Методика застосування бібліотек комп’ютерного зору для побудови картографічних моделей. *Системи управління, навігації та зв’язку*. Полтава: Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, 2018. Вип. 1(47). С. 3–7. DOI: <http://dx.doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.003>
3. Андреев С. М., Дмитерко Г. В., Жилин В. А., Овчаренко С. И. Методика разработки картографических моделей парковых зон. *Системы обработки информации*. Харьков : ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2015. Вип. 12 (137). С. 6-14.
4. Конвенція про охорону всесвітньої культурної і природної спадщини. ЮНЕСКО; Конвенція, Міжнародний документ від 16.11.1972. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua>
5. Хведченя С. Б. Історико-картографічний аспект у вивченні пам’яток історії та культури України. *Історико-географічні дослідження в Україні*. Київ, 2004. № 7. С. 103–117.
6. Хведченя С.Б. Картографічне забезпечення пам’яткознавства. *Спеціальні історичні дисципліни: питання теорії та методики*. К., 1997. С. 244–251.
7. Четвериков Б. Встановлення історичних меж урочища Бабин Яр на основі архівних картографічних матеріалів. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2010. Вип. II (20). С. 160–166.
8. Четвериков Б. Методика створення ситуаційного плану Сирецького концентраційного табору за архівними аероматеріалами. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2011. Вип. II (22). С. 184–187.
9. Світличний О. О., Плотницький С. В. Основи геоінформатики. Суми: ВТД “Університецька книга”, 2006. 293 с.
10. Киселев А. Н. Прогнозное биogeографическое картографирование: региональный аспект. М.: Наука, 1985. 104 с.
11. Ландшафтно-интерпретационное картографирование. Под ред. А.К. Черкашина. Новосибирск, Наука, 2005. – 423 с.
12. Модели управления природными ресурсами / Под ред. В.И. Гурмана. М.: Наука, 1981. 204 с.
13. Капралов Е. Г., КошкаРев А. В., Тикунов В. С. Основы геоинформатики. М.: Академия, 2004. 352 с.
14. Хромых В. В., Хромых О. В. Цифровые модели рельефа. Томск: ТМЛ – Пресс, 2007. 178 с.
15. Рис У. Г. Основы дистанционного зондирования. Москва: Техносфера, 2006. 336 с.

## REFERENCES

1. Andrieiev, S., Zhilin, V. and Melnyk, A. (2019), “The use of anamorphosis cartographic models for geodata analysis”, *Advanced Information Systems*, Vol. 3, No. 3, pp. 5-16, DOI: <http://dx.doi.org/10.20998/2522-9052.2019.3.01>
2. Andreev, S., Zhilin, V. and Topchiy, A. (2018), “Method of using computer vision libraries for constructing cartographic models”, *Systems of control, navigation and communication*, No. 1 (47), pp. 3-7, DOI: <http://dx.doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.003>
3. Andreev, S.M., Dmyterko, G.V., Zhilin, V.A. and Ovcharenko, S.I. (2015), “Methodology for the development of cartographic models of park areas”, *Information processing systems*, No. 12 (137), KNAFU, Kharkiv, pp. 6-14.
4. UNESCO (1972), *The UNESCO Convention on the Protection of the World Cultural and Natural Heritage*, Convention, International Document of 16.11.1972, available at: <http://zakon2.rada.gov.ua>
5. Khvedchenya, S.B. (2004), “Historical-cartographic aspect in the study of monuments of history and culture of Ukraine”, *Historical-geographical studies in Ukraine*, Kiev, No. 7, pp. 103–117.
6. Khvedchenya, S.B. (1997), “Cartographic support of monuments”, *Special historical disciplines: questions of theory and methodology*, Kiev, No. 7, pp. 244–251.
7. Chetverikov, B. (2010), “Establishment of historical boundaries of Babin Yar tract on the basis of archival cartographic materials”, *Modern achievements of geodetic science and production*, Iss. II (20), pp. 160–166.
8. Chetverikov, B. (2011), “Methods of creating a situational plan of the Syretsky concentration camp for archival materials”, *Modern achievements of geodetic science and production*, Iss. II (22), pp. 184–187.
9. Svitlichny, O.O. and Plotnitsky, S.V. (2006), *Fundamentals of Geoinformatics, drive tutorial*, University Book, Sumy, 293 p.
10. Kiselev, A.N. (1985), *Predictive biogeographic mapping: a regional dimension*, Science, Moscow, 104 p.
11. Cherkasy, A.K. (2005), *Landscape interpretation mapping*, Science, Novosibirsk, 423 p.
12. Gurman, V.I. (1981), *Natural resource management models*, Science, Moscow, 204 p.
13. Kapralov, E.G., Koshkarev, A.V. and Tikunov V.S. (2004), Fundamentals of Geoinformatics, Academy, Moscow, 352 p.
14. Khromykh, V.V. and Khromykh, O.V. (2007), Digital relief models, TML-Press, Tomsk, 178 p.
15. Ris, U.G. (2006), Fundamentals of remote sensing: trans. with English, Technosphere, Moscow, 336 p.

Received (Надійшла) 28.11.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 13.02.2020

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Андреєв Сергій Михайлович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;  
**Sergey Andrieiev** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Geoinformation Technologies and Space Monitoring of the Earth Department, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovskiy "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [AndreevSM@gmail.com](mailto:AndreevSM@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4256-2637>

**Жилін Володимир Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;  
**Volodymyr Zhilin** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Geoinformation Technologies and Space Monitoring of the Earth Department, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovskiy "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [v.zhilin@khai.edu](mailto:v.zhilin@khai.edu); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7342-3456>

**Методика создания атласов исторических картографических моделей по данным аэрофотосъёмки  
с использованием геоинформационных технологий**

С. М. Андреев, В. А. Жилин

**Аннотация.** Предметом исследования является методика создания атласов исторических картографических моделей по данным аэрофотосъемки. Объектом исследования является процесс создания различных типов тематических картографических моделей, содержащих специфическую информацию об архивных и современных картографических материалах, освещающих исторические события. Целью работы является повышение информативности и наглядности исторических картографических моделей, обеспечения целостного представления о расположении и изменениях инфраструктурных объектов определенной местности в разные исторические периоды. Выводы. Проанализированы существующие зарубежные и отечественные исторические картографические модели, созданные с использованием геоинформационных технологий. Показано, что с середины 90-х годов XX в. в связи с появлением свободного программного обеспечения и открытых картографических сервисов началось активное развитие зарубежных исторических национальных проектов с применением геоинформационных технологий. Проанализирована организация немецкой аэрофотосъемки Люфтваффе в период Второй мировой войны и на основании результатов этого анализа сформулирован подход к получению из специализированных сайтов сети Internet аэрофотоматериалов, которые документируют исторические изменения инфраструктуры территории Украины. Разработана методика цифровой обработки изображений при сканировании аэрофотоснимков. Экспериментально установлены функциональные зависимости объема файла отсканированного аэрофотозображения от заданных параметров сканирования (схемы представления цвета, разрешающей способности, размера оригинала и формата файла оцифрованного изображения). Предложенная методика обеспечивает сохранность данных аэрофотосъемки в цифровом виде, что является более простой задачей, чем хранение аэрофотопленок и отпечатков, поскольку не требует особо строгого соблюдения температуры, влажности и т. д., а также требует меньших площадей помещений для хранения. Разработана методика создания атласов исторических картографических моделей по данным аэрофотосъемки с использованием геоинформационных технологий. Предложенная методика апробирована с использованием архивных данных аэрофотосъемки города Харькова времен Второй мировой войны. Предложенная методика предусматривает анализ и отбор из аэрофильма кадров, отвечающих определенным специальным критериям и пригодных для создания атласов исторических картографических моделей. Также методика предполагает определение метаданных каждого снимка. Наконец, результатом применения предложенной методики является получение мозаичных исторических картографических моделей, а также исторических 3D-моделей местности. Кроме того, методика обеспечивает выполнение дешифрирования аэрофотоизображений исторических изменений инфраструктуры определенной территории. Таким образом, предложенная методика является геоинформационным программно-техническим обеспечением разработки атласов исторических картографических моделей по данным аэрофотосъемки и позволяет получать документальную фиксацию динамики исторических изменений инфраструктуры территорий интересующей местности.

**Ключевые слова:** геоинформационные системы; аэрофотосъемка; цифровые модели местности; дешифрирование; исторические картографические модели.

**Methodology of historical cartographic models atlases creation according to aerial photography data  
with the use of geoinformation technologies**

S. Andrieiev, V. Zhilin

**Abstract.** The subject of the study is the method of creating atlases of historical cartographic models according to aerial photography. The object of the study is the process of creating various types of thematic mapping models that contain specific information on archival and contemporary mapping materials that cover historical events. The purpose of the work is to increase the informativeness and clarity of historical mapping models, to provide a holistic view about the location and changes of the particular area infrastructural objects in different historical periods. Conclusions. Existing foreign and domestic historical mapping models, created using geoinformation technologies, are analyzed. It is shown that from the mid-90's of XX century due to the fact of free software and open mapping services appearance, the active development of foreign historical national projects with the use of geoinformation technologies began. At the same time, the development and creation of historical cartographic models in Ukraine are currently in their infancy. However, the implementation of national historical WEB-GIS projects is a promising area of "Digital history" and contributes to the intensification of humanitarian online technologies and the development of historical-oriented Internet resources. Therefore, the creation of atlases of historical cartographic models of Ukraine's terrain is an urgent task. The organization of German aerial photography of the Luftwaffe during the Second World War is analyzed, and on the basis of the results of this analysis, an approach to obtaining aerial photographs from the specialized Internet sites documenting the historical changes in the infrastructure of the territory of Ukraine is formulated. The methodology of digital image processing at aerial photography scanning is developed. Functional dependencies of the size of a scanned aerial image file and the set of scan parameters (color scheme, resolution, size of the original and file format of the digitized image) were experimentally established. The proposed method allows aerial photography to be digitally stored, which is a much simpler task than storing analog aerial films and prints, since it does not require such strict adherence to temperature, humidity, etc., and also requires less storage space. Methods for creating atlases of historical cartographic models based on aerial photography using geoinformation technologies have been developed. The proposed method was tested using archival data of aerial photographs of the city of Kharkov during World War II. The proposed methodology involves the analysis and selection of aerial film frames that meet certain special criteria and are suitable for creating atlases of historical cartographic models. The technique also involves determining the metadata of each snapshot. Ultimately, the result of the proposed method is to obtain mosaic historical mapping models as well as historical 3D models of the territory. In addition, the methodology provides the decoding of aerial photographs of historical changes in the infrastructure of a certain area. In this way, the methodology of geo-information software and technical procuring of the atlases of historical cartographic models development on the basis of the aerial photography data proposed and makes it possible to get documents and documental information about the historical changes of infrastructure of the study area.

**Keywords:** геоинформационные системы; аэро-photographic data; digital models; detailed interpretation; historical cartographic models.

І. М. Годлевський, М. Д. Туревич, В. В. Медведев

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ ВАРІАНТІВ КОНФІГУРАЦІЇ ЛОГІСТИЧНОГО КАНАЛУ ДИСТРИБУЦІЇ

**Анотація.** Предметом дослідження є процес формування логістичного каналу на основі конфігурування логістичної системи дистрибуції товарів масового використання. Мета роботи полягає у розробці інформаційної технології формування варіантів конфігурації логістичного каналу. Розглядається множина виробників продукції, центрів консолідації продукції, центрів кастомізації та множина споживачів продукції. Транспортна задача з двома проміжними вузлами декомпозується на дві. Задача розсіювання вирішує проблему прив'язки конкретних споживачів продукції до відповідних складів кастомізації. Друга транспортна задача вирішує проблему доставки готової продукції зі складів виробників до складів регіонального рівня і має проміжні вузли консолідації продукції. Для вирішення цих задач розроблена інформаційна технологія, діаграма розгортання якої складається з чотирьох вузлів: Client, Web server, Application server, Data base. Результати дослідження представлені як варіанти конфігурації логістичної системи дистрибуції. Подальше використання отриманих результатів пов'язане з визначенням рівня сервісу для конкретних варіантів конфігурації, а також їх стійкості до різноманітних надзвичайних ситуацій. Отримані результати є основою для формування організаційної структури управління логістичною системою дистрибуції.

**Ключові слова:** логістичний канал; товари масового використання; інформаційна технологія; транспортна задача; рівень страхових запасів; організаційна структура управління.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Логістична система дистрибуції функціонально розподіляється на логістичний та маркетинговий канали. Логістичний канал уявляє собою фізичний рух та розміщення готової продукції на основі низки логістичних операцій, таких як: транспортування, зберігання продукції, обробка замовів, вантажопереробка і т. і. Витрати логістики на транспортування продукції та її зберігання превалують по відношенню до інших видів операцій у логістичному каналі. Тому при стратегічному плануванні розглядаються два види (типи) операцій: транспортування готової продукції (ГП), зберігання ГП.

Маркетинговий канал формується низкою фірм, які беруть участь у купівлі та продажу ГП від її виробників до кінцевих споживачів.

Учасниками маркетингового каналу є: оптовики; роздрібні торговці; агенти або брокери; ритейлери і т. і.

Формування конфігурації логістичного каналу дистрибуції проводиться на основі його конкретизації і класифікації [1]. Звичайно за основу беруться наступні показники: сектор бізнесу, вид та параметри матеріальних потоків, логістична концепція. З точки зору перших двох позицій у роботі розглядаються промислові та продовольчі товари, які є товарами широкого вжитку і щоденного попиту. Для такого сектора бізнесу, виду та параметрів матеріальних потоків використовуються дві основні логістичні концепції: спеціалізація і асортимент. Перша логістична концепція у більшій мірі відповідає побудові маркетингового каналу. Концепція продуктового асортименту припускає, що готова продукція повинна у визначених місцях логістичного каналу бути сконцентрована, сортована та розподілена по напряму її руху від виробника до кінцевого споживача продукції. При цьому виділяються три основні

етапи, такі як: консолідація (концентрація), кастомізація та розсіювання.

Консолідація припускає наявність відповідних складів, на яких накопичують обмежену кількість найменувань ГП у великих обсягах. Основна задача консолідації продукції полягає у зменшенні кількості транзакцій з метою мінімізації логістичних витрат. Після концентрації стоїть задача сортування та групування продукції в деякі комбінації. Такий процес називається кастомізацією. Результат кастомізації визначає такі групи товарів, які задоволяють запитам споживачів. Третім етапом концепції продуктового асортименту є розсіювання, яке полягає у відправці кінцевому споживачеві унікальної асортиментної групи товарів у задане місце та час.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Конфігурування логістичної системи (КЛС) дистрибуції відповідає формуванню логістичного каналу. Відповідно до [2] логістичний канал синтезується на основі структурного та параметричного синтезу логістичної системи. При проведенні структурного синтезу в першу чергу необхідно розглянути логістичний канал з точки зору двох структурних розмірностей (складових): горизонтальної та вертикальної. У нашому випадку горизонтальна складова має чотири рівні.

1. Виробники продукції.
2. Центри консолідації продукції, які є логістичними розподільчими центрами (ЛРЦ).
3. Проміжні розподільчі центри, які реалізують процес кастомізації.

4. Локальні склади різного роду торговельних точок: супермаркети, продовольчі магазини і т. ін.

Вертикальна складова кожного рівня логістичного каналу дистрибуції визначається кількістю та місцем розташування відповідних складів [3–5].

Найкращими місцями розташування логістичних центрів є великі міста, морські та річкові порти, крупні залізничні станції. Вони призначенні для роз-

поділу товарів і знаходяться між підприємствами, продукцію яких вони отримують, і ринками, які вони обслуговують. Тому розміщення логістичних центрів залежить від розміщення виробників готової продукції та її споживачів. У роботі вважаються заданими конкретні споживачі продукції, місце їх знаходження та попит на продукцію, а також виробники продукції, її асортимент та об'єми, місце розташування кожного виробника. Таким чином, у нашому випадку структурний синтез визначає: кількість складів консолідації і кастомізації; можливі місця їх розташування та пропускну спроможність. Різні методи визначення оптимального територіального розміщення логістичних центрів в залежності від обраного критерію оптимізації розглядаються у роботах [6–9].

У роботі подалі проблема вибору ЛРЦ зводиться до вибору деякої підмножини ЛРЦ із заздалегідь заданої множини на основі методів оптимізації. Після визначення ЛРЦ-претендентів до включення у низку ланцюгів постачання вирішуються задачі параметричного синтезу на основі двох основних класів задач:

- різні модифікації транспортних задач, у тому числі транспортні задачі з проміжними вузлами;
- задачі управління запасами.

Критерієм при вирішенні цих задач є сумарні логістичні фінансові витрати на транспортування та тримання продукції на складах різного гатунку. Отже, низка логістичних потужностей (склади та транспортні засоби) є каркасом для реалізації логістичних операцій [10–12].

**Мета статті.** Побудова логістичного каналу звично базується на двох логістичних стратегіях [1]: мінімізація фінансових витрат та максимізація рівня споживчого сервісу. Зазвичай рівень сервісу залежить від кількості складів та їх розташування, тривалості логістичного функціонального циклу, стратегії управління запасами. Якщо розглядається задача стратегічного планування, необхідно забезпечити стійкість логістичного каналу по відношенню до різноманітних надзвичайних ситуацій. А метод (технологія) багатокритеріального синтезу конфігурування логістичної системи дистрибуції [13–15] повинен базуватися на трьох групах критеріїв.

1. Критерії, пов'язані з фінансовими витратами на функціонування логістичного каналу.

2. Критерії, які забезпечують рівень відповідного сервісу до споживачів продукції.

3. Критерії стійкості логістичного каналу до різноманітних надзвичайних ситуацій.

У роботі розглядається задача формування логістичного каналу на основі критеріїв першої групи. Отже, мета статті полягає у розробці інформаційної технології формування варіантів конфігурації логістичного каналу. У подальшому на основі критеріїв, рівень сервісу та стійкість до надзвичайних ситуацій, вибирається кращий варіант з множини ефективних. Отримані результати є основою для формування маркетингового каналу, конкретних виконавців бізнес-процесів та організаційної структури управління.

## Формування логістичного каналу на основі фінансових витрат

На основі конкретизації логістичного каналу розглянемо логістичну систему дистрибуції, яка складається з двох видів бізнес-процесів: транспортування ГП, зберігання ГП. Будемо вважати, що розглядаються: множина  $M_1$  виробників продукції;  $M_2$  – множина центрів консолідації продукції (національні склади);  $M_3$  – множина центрів кастомізації продукції (регіональні склади);  $M_4$  – множина споживачів продукції (рис. 1).

Фактично необхідно вирішувати транспортну задачу з двома рівнями проміжних вузлів. Це множини  $M_2$  і  $M_3$ . Сформуємо перелік вихідної інформації та управлюючих змінних, які впливають на її розв'язання.

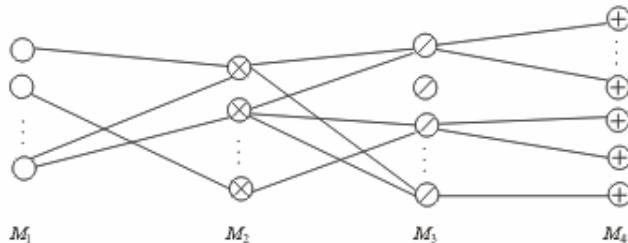


Рис. 1. Структура логістичного каналу

Попередньо розглянемо попит споживачів (множина  $M_4$ ) на готову продукцію. При стратегічному плануванні звичайно розглядається задача управління запасами з фіксованим циклом заказів ГП. Тому при заданій довжині циклу можна визначити об'єм продукції кожного виду. На основі проведених досліджень будемо вважати, що попит на кожний вид продукції має нормальній закон розподілу (НЗР) і довжина циклу однаакова для всієї номенклатури і споживачів продукції. Тому можна записати вектор параметрів множини  $M_4$  нормальних законів розподілу попиту споживачів ГП таким чином

$$\bar{a} = \left\{ \left( \hat{a}_{kp}, \check{a}_{kp} \right), k \in M_4, p \in P \right\},$$

де  $\hat{a}_{kp}$  – математичне сподівання та  $\check{a}_{kp}$  – середньо-квадратичне відхилення для  $k$ -го споживача та  $p$ -го виду продукції.  $P$  – множина видів продукції.

Аналіз просування готової продукції від виробників до центрів консолідації та кастомізації і далі до локальних складів споживачів готової продукції показав, що необхідно транспортну задачу з двома проміжними вузлами розділити (декомпозувати) на дві. Це пов'язано з наступними обставинами.

1. Великий розмір задачі (велика кількість змінних).

2. На локальному рівні (просування продукції від регіональних складів до споживачів продукції) незначні об'єми продукції окремих постачальників (виробників) не дозволяють вирішувати транспортну задачу без об'єднання з потоками продукції інших виробників.

3. Неможливість значного збільшення довжини циклу постачання продукції на локальному рівні завдяки обмеженому об'єму локальних складів.

Тому у подальшому будемо розглядати:

1) задачу розсіювання, яка вирішує проблему прив'язки конкретних споживачів продукції до відповідних складів регіонального рівня. При цьому, якщо задані допустимі місця розташування регіональних складів та їх кількість, вирішується задача вибору конкретної множини складів з переліку претендентів;

2) транспортна задача поставки продукції зі складів її виробників до складів регіонального рівня. Це задача з проміжними вузлами консолідації продукції. У якості вихідної інформації для її вирішення використовуються наступні результати розв'язання задачі розсіювання: фіксована кількість складів регіонального рівня і місця їх розташування; закони розподілу об'ємів продукції, яка повинна поступати на регіональні склади (попит продукції з боку регіональних складів).

Перейдемо до розгляду моделі транспортної задачі розсіювання готової продукції, яка фактично вироджується у задачу структурно-топологічного синтезу. Одиноцею розмірності потоку перевезень є палета, у якій може бути розміщена різна кількість одиниць конкретних видів вантажу. Будемо вважати, що немає обмежень на сумісне перевезення різного виду вантажу. Тому, зважаючи на незалежність випадкових величин попиту на продукцію різних видів, які мають нормальній закон розподілу, при виконанні центральної граничної теореми сумарний потік ГП може бути описаний випадковою величиною з нормальним законом розподілу і наступними параметрами

$$\bar{a}_k = \sum_{p \in P} \hat{a}_{kp}, \quad \bar{\bar{a}}_k = \sqrt{\sum_{p \in P} (\hat{a}_{kp})^2}, \quad k \in M_4,$$

де  $\bar{a}_k$  та  $\bar{\bar{a}}_k$  – математичне сподівання і середньоквадратичне відхилення величини сумарного потоку продукції для  $k$ -го споживача.

Модель задачі розсіювання наведено у роботі [8]. Переїдемо до розгляду транспортної задачі переміщення продукції зі складів виробників до регіональних складів. Це задача з проміжними вузлами консолідації продукції. Для її вирішення будемо використовувати наступні результати розв'язання задачі розсіювання: множина складів регіонального рівня  $\bar{M}_3$ ; множина  $\bar{M}_3 \subseteq M_3$  місця їх розташування; закони розподілу попиту на ГП, яка повинна поступати на регіональні склади; множини  $\bar{M}_{4j} \subseteq M_4$ ,  $j \in \bar{M}_3$  складів локального рівня, кожен з яких отримує продукцію з відповідного  $j$ -го регіонального складу.

Будемо вважати, що попит на кожний  $p$ -ий вид продукції множини  $\bar{M}_{4j}$  є незалежною випадковою величиною. Тому попит на  $p$ -ий вид продукції  $j$ -го регіонального складу має нормальній закон розподілу з такими характеристиками

$$\hat{\beta}_{jp} = \sum_{k \in \bar{M}_{4j}} \hat{a}_{kp}, \quad p \in P, \quad j \in \bar{M}_3, \quad (1)$$

$$\check{\beta}_{jp} = \sqrt{\sum_{k \in \bar{M}_{4j}} (\hat{a}_{kp})^2}, \quad p \in P, \quad j \in \bar{M}_3, \quad (2)$$

де  $\hat{\beta}_{jp}$  та  $\check{\beta}_{jp}$  – математичне сподівання та середньоквадратичне відхилення нормального закону розподілу величини сумарного потоку продукції  $p$ -го виду у  $j$ -му регіональному складі. Ці параметри відповідають фіксованій довжині циклу поставки ГП з регіональних складів на рівень первинних споживачів продукції. Якщо довжина циклу змінюється, то виконується корекція відповідних параметрів (1) та (2).

Модель транспортної задачі просування ГП зі складів її виробників до регіональних складів з використанням проміжних національних складів консолідації продукції наведено у роботі [8].

Перейдемо до розгляду другої складової фінансових витрат задачі конфігурування логістичного каналу дистрибуції, які пов'язані зі зберіганням ГП на складах регіонального і національного рівнів. При стратегічному плануванні ця задача розглядається з фіксованою довжиною циклу закажів ГП. Будемо вважати, що довжина циклу закажів продукції зі складів її виробників на склади національного рівня дорівнює довжині циклу закажу продукції зі складів національного рівня на склади регіонального рівня. Крім цього, ці довжини дорівнюють  $N$  довжинам циклу закажів задачі розсіювання, де  $N$  – ціле число більше одиниць.

Будемо вважати, що попит на ГП у нашому випадку є стаціонарним процесом. Тому ймовірна величина потреби у  $p$ -му виді продукції на  $j$ -му регіональному складі при довжині циклу закажів, який дорівнює  $N$  циклам локального рівня, також є ймовірною величиною з нормальним законом розподілу. Тому його математичне сподівання та середньоквадратичне відхилення визначаються таким чином:

$$\bar{\beta}_{jp} = \hat{\beta}_{jp} \cdot N, \quad p \in P, \quad j \in \bar{M}_3,$$

$$\bar{\bar{\beta}}_{jp} = \sqrt{(\hat{\beta}_{jp})^2 \cdot N}, \quad p \in P, \quad j \in \bar{M}_3.$$

У свою чергу на регіональних складах усі  $P$  видів продукції є незалежними випадковими величинами. Крім цього, вони мають одинаковий вид збереження продукції в палетах. Тому їх інтегрована величина також має нормальній закон розподілу з математичним сподіванням та середньоквадратичним відхиленням. Ці параметри нормальног закону визначаються таким чином:

$$\bar{\beta}_j^\Sigma = \sum_{p \in P} \bar{\beta}_{jp}, \quad j \in \bar{M}_3,$$

$$\bar{\bar{\beta}}_j^\Sigma = \sqrt{\sum_{p \in P} (\bar{\beta}_{jp})^2}, \quad j \in \bar{M}_3.$$

Для визначення витрат на зберігання продукції необхідно розглянути питання їх залежності від рівня задоволення потреби у запасі ГП (рівня сервісу). Будемо вважати, що інтегральний запас ГП визначається величиною  $\beta$ , а потреба у ньому – щільністю ймовірності з нормальним законом розподілу і па-

раметрами  $\bar{\beta}_j^\Sigma$ ,  $\bar{\beta}_j^\Sigma$  (рис. 2). Математичне сподівання  $\bar{\beta}_j^\Sigma$  – це середня потреба у запасі. Праворуч від математичного сподівання випадкової величини  $\beta$  знаходиться область ризику дефіциту запасу, який виникає при задоволенні потреби у ГП, який перевищує середню величину (математичне сподівання). Ліворуч від математичного сподівання випадкової величини  $\beta$  знаходиться область ризику надлишків запасу ГП. Площа, яка знаходиться під кривою функції щільності розподілу ймовірності в управлінні запасами є аналогом рівня сервісу. На рис. 2 у якості прикладу розглядаються три варіанти страхового запасу, які відповідають  $\sigma$ ,  $2\sigma$ ,  $3\sigma$ .

Якщо страховий запас дорівнює нулю, а можливість зберігання ГП на  $j$ -му регіональному складі дорівнює величині  $\bar{\beta}_j^\Sigma$ , то базовий рівень сервісу обслуговування споживачів продукції дорівнює 50 %. Якщо страховий запас дорівнює  $\sigma$ , то базовий рівень сервісу буде 84,13 %. Для страхового запасу  $2\sigma$  це 97,72 %, а для  $3\sigma$  – 99,87 %.

Отже, середньоквадратичне відхилення  $\Delta\bar{\beta}_j^\Sigma$  є величиною страхового запасу для  $j$ -го регіонального складу, яка визначає рівень сервісу для споживачів, які за ним закріплені на основі вирішення задачі розсіювання. Якщо вважати, що  $\bar{F}_j(\beta)$  функція, яка визначає витрати на оренду приміщень на  $j$ -му складі для зберігання  $\beta$ -об'єму продукції, то сумарні витрати на регіональному рівні на зберігання ГП визначаються таким чином

$$F_3 \left( \left\{ \bar{\beta}_j^\Sigma + \Delta\bar{\beta}_j^\Sigma \right\} \right) = \sum_{j \in \bar{M}_3} \bar{F}_j \left( \bar{\beta}_j^\Sigma + \Delta\bar{\beta}_j^\Sigma \right).$$

Перейдемо до визначення витрат на зберігання продукції на національному рівні. Сформувати закон розподілу попиту для складів національного рівня по аналогії з регіональними складами неможливо, тому що один і той же регіональний склад обслуговується різними національними складами. Тому запропоновано вважати, що сумарний об'єм страхового запасу для всіх складів національного рівня дорівнює сумарному страховому запасу регіонального рівня і для кожного складу національного рівня він є пропорційним величині  $\bar{\beta}_k^\Lambda$ , яка визначає сумарний об'єм ГП через  $k$ -й національний склад. Отже, об'єм страхового запасу для  $k$ -го національного складу визначається таким чином

$$\Delta\bar{\beta}_k^\Lambda = \left( \sum_{j \in \bar{M}_3} \left( \Delta\bar{\beta}_j^\Sigma \right) \cdot \bar{\beta}_k^\Lambda \right) \Bigg/ \sum_{k \in \bar{M}_2} \bar{\beta}_k^\Lambda, \quad k \in \bar{M}_2.$$

Якщо вважати, що  $\bar{F}_k(\beta)$  функція, яка визначає витрати на оренду приміщень на  $k$ -му національному складі для зберігання  $\beta$ -об'єму продукції, то

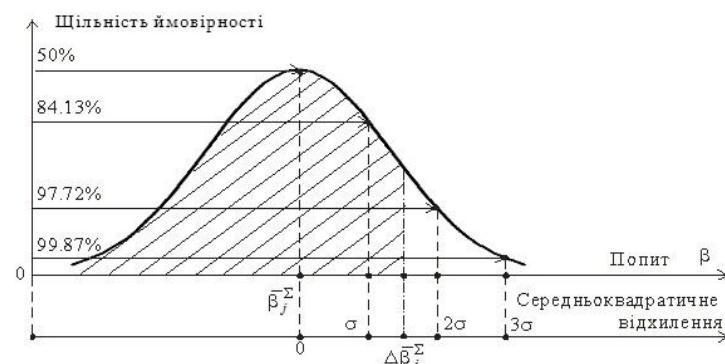


Рис. 2. Щільність нормального закону розподілу попиту

сумарні витрати на національному рівні на зберігання ГП визначаються таким чином

$$F_4 \left( \left\{ \bar{\beta}_k^\Lambda + \Delta\bar{\beta}_k^\Lambda \right\} \right) = \sum_{k \in \bar{M}_2} \bar{F}_k \left( \bar{\beta}_k^\Lambda + \Delta\bar{\beta}_k^\Lambda \right).$$

У результаті вирішення транспортних задач на основі моделей, які наведені у [8] визначаються наступні змінні:  $\bar{x}_{kj}$  – булева змінна, яка дорівнює одиниці, якщо  $k$ -й споживач продукції пов'язаний транспортною артерією з  $j$ -м регіональним складом;  $\bar{y}_{ik}^l$  – кількість транспортних засобів  $l$ -го типу, які перевозять ГП з  $i$ -го в  $k$ -й пункт;  $\bar{y}_{kj}^l$  – кількість транспортних засобів  $l$ -го типу, які перевозять ГП з  $k$ -го в  $j$ -й пункт. На основі цих змінних визначаються фінансові витрати на локальному рівні, які дорівнюють  $F_1 \left( \left\{ \bar{x}_{kj}^*, k \in \bar{M}_{4j}, j \in \bar{M}_3 \right\} \right)$  та витрати регіонального і національного рівнів

$$F_2 \left( \left\{ \bar{y}_{ik}^{l*}, \bar{y}_{kj}^{l*}, i \in \bar{M}_1, k \in \bar{M}_2, j \in \bar{M}_3, l \in L \right\} \right),$$

Отже, інтегровані фінансові витрати визначаються таким чином

$$F^* = F_1 \left( \left\{ \bar{x}_{kj}^*, k \in \bar{M}_{4j}, j \in \bar{M}_3 \right\} \right) + F_2 \left( \left\{ \bar{y}_{ik}^{l*}, \bar{y}_{kj}^{l*}, i \in \bar{M}_1, k \in \bar{M}_2, j \in \bar{M}_3, l \in L \right\} \right) + F_3 \left( \left\{ \left( \bar{\beta}_j^\Sigma + \Delta\bar{\beta}_j^\Sigma \right)^*, j \in \bar{M}_3 \right\} \right) + F_4 \left( \left\{ \left( \bar{\beta}_k^\Lambda + \Delta\bar{\beta}_k^\Lambda \right)^*, k \in \bar{M}_2 \right\} \right),$$

де «\*» визначає конкретні значення відповідних змінних, які наведено вище.

Моделі, на основі яких визначається  $F^*$ , мають такі параметри.

1. Кількість складів регіонального і національного рівнів, місця розташування яких визначаються на множинах  $M_2$  та  $M_3$ .

2. Страхові запаси:  $\Delta\bar{\beta}_j^\Sigma, j \in \bar{M}_3$ ;  $\Delta\bar{\beta}_k^\Lambda, k \in \bar{M}_2$ , відповідно, регіонального та національного рівнів.

3. Довжини циклів заказів ГП на склади локального, регіонального та національного рівнів, від яких залежать параметри законів розподілу попиту на ГП кінцевих споживачів, а також попиту на ГП для складів регіонального рівня.

Якщо задані різні варіанти параметрів, які були визначені вище, то отримаємо різні значення фі-

нансових витрат  $F^*$ , а також рівень інтегрального сервісу для кінцевих споживачів продукції. Він відрізняється від рівня сервісу, які надають окремі регіональні та національні склади в залежності від їх страхових запасів. Інтегральний рівень сервісу пропонується визначати на основі імітаційного моделювання.

### Інформаційна технологія

На діаграмі варіантів використання зображенено три актора (рис. 3):

1. Експерт – актор, який формує вихідну інформацію та має два прецеденти:

- формування вихідної інформації – прецедент, який дозволяє актору формувати вихідну інформацію для вирішення задачі КЛС, а саме: очікуваний попит на локальному рівні, можливі маршрути транспортування, вартості операцій транспортування тощо;

- введення параметрів конфігурації – прецедент сумісний з аналітиком, дозволяє актору вводити інформацію до системи.

2. Аналітик – актор, який формує варіанти конфігурації логістичної мережі та має наступні прецеденти:

- введення параметрів конфігурації – прецедент сумісний з експертом, дозволяє актору вводити інформацію до системи;

- рішення задачі розсіювання – прецедент, який дає можливість вирішити задачу прив'язки конкретних споживачів продукції до відповідних складів регіонального рівня;

- рішення транспортної задачі з проміжними пунктами – прецедент, який дає можливість вирішити задачу формування оптимальних потоків продукції зі складів її виробників до складів регіонального рівня;

- рішення задачі управління запасами – прецедент, який дає можливість вирішити задачу визначення об'єму страхового запасу продукції для складів регіонального і національного рівнів;

- побудова графу мережі – прецедент, який дає можливість будувати граф, на якому вирішується задача з проміжними транспортними пунктами;

- збереження мережі – прецедент, який дає можливість сформувати базу даних для множини варіантів вирішення задачі КЛС.

3. ОПР (особа, яка приймає рішення) – актор, який приймає рішення щодо вибору деякого прийнятного (ефективного) варіанту конфігурації логістичної мережі, має один прецедент та всі можливості Аналітика.

При розробці вимог до системи та кінцевого архітектурного рішення, були виділені такі нефункціональні вимоги:



Рис. 3. Діаграма варіантів використання

– спрощення процесу розгортання клієнтської частини програмної компоненти на стороні користувача;

– впровадження масштабованості програмного забезпечення;

- покращення захисту інформаційних ресурсів;

- незалежність від програмної платформи;

– спрощення процесу оновлення функціоналу програмного забезпечення;

- покращення надійності та супровід ПЗ за допомогою тестування.

На рис. 4 зображена діаграма розгортання для програмної компоненти [16–18]. На діаграмі розгортання зображенено три вузла.

1. Client – вузол, який відповідає за представлення інформації та має дві компоненти:

- Vis.js – компонента для побудови графу;

- Jquery – бібліотека, яка містить в функції спрощення роботи HTML;

2. Web server – вузол, який відповідає за динамічну побудову сторінки, має одну компоненту:

- Servlet container – компонента, яка містить в собі дані для динамічної побудови веб сторінки.

3. Application server – вузол, який містить в собі основну логіку ПЗ, має п'ять компонент:

- LpSolver – компонента, яка містить в собі логіку вирішення задач лінійної оптимізації;

- Spring MVC – компонента, яка містить в собі фреймворк, який відповідає шаблону MVC;

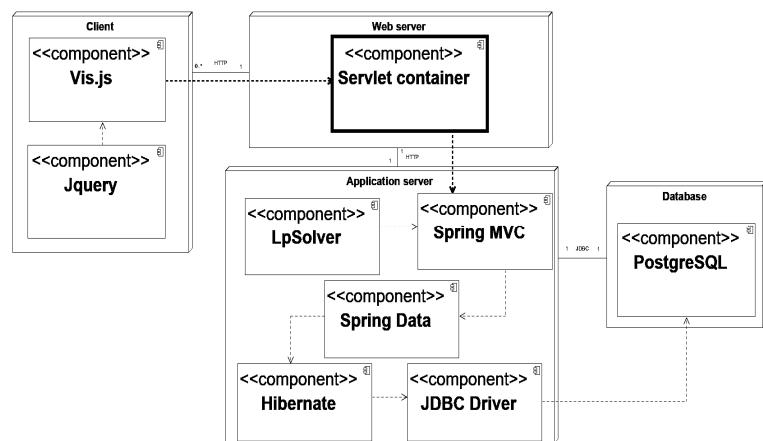


Рис. 4. Діаграма розгортання

- Spring Data – компонента, яка зв'язує бази даних з концепціями об'єктно-орієнтованих мов програмування, створює «віртуальну об'єкту базу даних»;
  - Hibernate – компонента, яка є засобом відображення між об'єктами та реляційними структурами для платформи Java;
  - JDBC Driver – компонента, яка визначає методи, з допомогою яких програмне забезпечення на Java здійснює доступ до бази даних.
4. Database – вузол, який відповідає за збереження моделі даних ПЗ, має в собі одну компоненту.
- PostgreSQL – компонента, яка являє собою систему управління базою даних.

### Аналіз результатів дослідження

У табл. 1 представлені результати вирішення задачі структурно-топологічного синтезу для різної кількості регіональних складів. Okремі рядки таблиці 1 показують зміну кількості локальних складів, прикріплених до відповідного регіонального складу в залежності від загальної кількості регіональних складів, яке було обмеженням при вирішенні задачі. Як видно із табл. 1, коли кількість складів зменшується до 7 зі списку регіональних складів зникає Дніпро, а його локальні склади переходят до Харкова та Миколаєва, коли кількість регіональних складів зменшується до 6 – зі списку регіональних складів зникає Львів. Здебільшого його локальні склади переходят до Луцька, крім одного, який приєднується до Житомиру. Зменшуючи кількість регіональних складів до 5 зі списку регіональних складів зникає Луцьк, а його локальні склади в повному обсязі приєднуються до Житомиру.

**Таблиця 1 – Результати задачі з структурно-топологічного синтезу**

Регіональний склад	Кількість складів регіонального рівня			
	5	6	7	8
Житомир	34	8	7	7
Харків	39	39	39	24
Луцьк	0	26	9	9
Київ	25	25	25	25
Дніпро	0	0	0	24
Одеса	11	11	11	11
Львів	0	0	18	18
Миколаїв	31	31	31	22

У табл. 2 приведені витрати на логістичну мережу на локальному рівні для різної кількості регіональних складів. Слід зазначити, що витрати на логістичну систему зростають нелінійно, якщо різниця між конфігураціями з 8, 7 та 6 регіональними складами являє десь 3000 гривень, то різниця конфігурацій логістичних мереж з 6 та 5 регіональними складами

6000 гривень. З метою формування набору ефективних рішень конфігурації логістичної системи в роботі були приведені прорахунки для двох варіантів базового рівня сервісу на регіональних складах: 84,13%, 97,72%. Для кожного базового рівня сервісу розглядалися тривалості циклів замовлень з виробничого на національний і далі на регіональний рівні: 2, 3 і 4 тижні. У свою чергу, для кожної тривалості циклів проведені прорахунки при варіюванні кількості складів регіонального рівня від 5 до 8.

Таким чином, сформовано 24 конфігурації логістичної мережі. Результати досліджень наведені в табл. 3. Як видно з табл. 3, витрати на логістичну мережу зростають в залежності від зменшення кількості регіональних складів, збільшення тривалості циклу доставки товарів та збільшення базового рівня страхового запасу.

**Таблиця 2 – Витрати на логістичну систему на локальному рівні**

Регіональний склад	Кількість складів регіонального рівня			
	5	6	7	8
Житомир	10419.6	374.38	223.32	223.32
Харків	6200.56	6200.56	6200.56	2203.98
Луцьк	0	3757.25	582.17	582.17
Київ	3102.51	3102.51	3102.51	3102.51
Дніпро	0	0	0	4006.91
Одеса	1068.86	1068.86	1068.86	1068.86
Львів	0	0	1474	1474
Миколаїв	6840.64	6840.64	6840.64	3864
Всього	27632,17	21344,2	19492,06	16525,75

Зменшення кількості регіональних складів збільшує вартість логістичної мережі тому що товар перевозиться на більшу відстань, збільшення тривалості циклу перевезення впливає на вартість логістичної мережі тим, що зростає плата на збереження товару на проміжних складах, а збільшення страхового запасу впливає на загальну вартість логістичної системи тим, що забезпечує кращій рівень сервісу доставки.

Аналізуючи дані таблиці 3 можна побачити, що для всіх рівнів страхового запасу найдешевшим варіантом конфігурації є логістична система з 5 регіональними складами та тривалістю циклу 2 тижні, але цей варіант не обов'язково може бути розцінений експертами, як прийнятний, тому що він може не задовольнити потреби сервісу.

### Висновки і перспектива подальших досліджень

У результаті проведених досліджень визначена актуальність проблеми побудови логістичного каналу дистрибуції і розробки інформаційної технології формування множини варіантів його конфігурації.

**Таблиця 3 – Результати дослідження**

Базовий рівень страхового запасу (%)		84,13			97,72		
Тривалість циклу (тижнів)		2	3	4	2	3	4
Кількість регіональних складів	5	210810	222392	233973	214552	228004	241456
	6	212334	223916	235497	216076	229528	242980
	7	212620	224201	235782	216361	229813	243265
	8	215377	226958	238539	219118	232570	246022

Проведено аналіз публікацій та досліджень, які є базою для подальшого їх вдосконалення у представлений роботі. На основі класифікації і конкретизації логістичної системи, а також моделях, розроблених раніше у [2; 8] авторами запропонована і апробована інформаційна технологія, яку використано для конфігурування

логістичного каналу дистрибуції на основі фінансових критеріїв. Подальші дослідження пов'язані з оцінкою логістичного сервісу сформованих варіантів логістичного каналу дистрибуції на основі агентного моделювання, а також визначення кращого з погляду стійкості до надзвичайних ситуацій.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бауэрсокс Доналл Дж., Клосс Дейвид Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок. М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2005. 640 с.
2. Годлевский М. Д., Станкевич А. А., Годлевский И. М. Технология формирования системы организационного управления логистикой дистрибуции при стратегическом планировании. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. Харків :Технологічний центр, 2012. № 4/3(58). С. 17-21.
3. Reza Zanjirani Farahani. *Logistics Operations and Management*, Elsevier Inc., 2011. 486 p.
4. Gwynne Richards. *Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse*, Kogan Page Inc., 2017. 448 p.
5. John J. Coyle. *Transportation: A Global Supply Chain Perspective*, Cengage Learning Inc., 2015. 528 p.
6. Сергеев В. И. Общие тенденции развития логистических центров за рубежом. *Логистика и управление цепями поставок*. 2012. № 5. С. 7–18.
7. Сергеев В. И. Концептуальные подходы к формированию логистических центров. *Прикладная логистика*. 2011. № 1–2. С. 12–22.
8. Годлевский И. М., Пинаева А. А. Модели транспортных задач и структурно-топологического синтеза при стратегическом управлении логистикой дистрибуции. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. Харків : НТУ «ХПІ», 2014. № 61 (1103). С. 8–13.
9. Бескоровайный В. В., Подоляка К. Е. Выбор многокритериальных решений при реинжиниринге топологических структур систем крупномасштабного мониторинга. *Системи обробки інформації*. 2016. № 5 (142). С. 80–86.
10. Федорович О. Е., Западня К. О., Еременко Н. В. Модели оптимизации и конфигурирования логистической системы дистрибуции. *Радіоелектронні і комп’ютерні системи*. 2013. № 4 (63). С. 121–124.
11. Scott C., Lundgren H., Thompson P. *Guide to Supply Chain Management*, Springer, Berlin, 2011. 190 p.
12. Christopher M. *Logistics & Supply Chain Management*, Pearson Education Limited, Great Britain, 2011. 276 p.
13. Ishizaka A., Nemery P. *Multi-criteria Decision Analysis: Method and Software*, Wiley, USA, 2013. 310 p.
14. Velasquez M., Hester P. An Analysis of Multi-criteria Decision Making Methods. *International Journal of Operations Research*. 2013. № 2. P. 56–66.
15. Christodoulos A., Pardalos M. *Recent Advances in Global Optimization*, Princeton University Press, Princeton, 2014. 648 p.
16. Rob Me, Paul Maritz, Scott Yara, Bill Cook (2020), Spring framework reference documentation, available at: <https://spring.io/docs/reference>.
17. John Rezig (2019), JQuery API reference documentation, available at: <https://api.jquery.com/>.
18. Hans Abbink, Peet van Tooren (2018), Vis.js network reference documentation, available at: <https://visjs.github.io/vis-network/docs/network/>.

#### REFERENCES

1. Bauersoks, Donall Dzh. and Kloss, Deivid Dzh. (2005), *Logistics: integrated supply chain*, Olimp-Biznes, Moscow, 640 p.
2. Godlevskii M.D., Stankovich A.A. and Godlevskii I.M. (2012), “The technology of forming a system of organizational management of distribution logistics in strategic planning”, *Skhidno-Європейський журнал передових технологій*, Tekhnologichnii tsentr, Kharkiv, № 4/3(58), pp. 17-21.
3. Farahani, Reza Zanjirani (2011), *Logistics Operations and Management*, Elsevier Inc., 486 p.
4. Gwynne, Richards (2017), *Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse*, Kogan Page Inc., 448 p.
5. Coyle, John J. (2015), *Transportation: A Global Supply Chain Perspective*, Cengage Learning Inc., 528 p.
6. Sergeev, V.I. (2012), “General trends in the development of logistics centers abroad”, *Logistika i upravlenie tsepyami postavok*, № 5, pp. 7–18.
7. Sergeev, V.I. (2011), “Conceptual approaches to the formation of logistics centers”, *Prikladnaya logistika*, No. 1–2, pp. 12–22.
8. Godlevskii, I.M. and Pinaeva, A.A. (2014), “Models of transport problems and structural and topological synthesis in the strategic management of distribution logistics”, *Visnik NTU «KhPI»*. Seriya: Sistemnyi analiz, upravlinnya ta informatsiini tekhnologii, NTU «KhPI», Kharkiv, No. 61 (1103), pp. 8–13.
9. Beskorovainyi, V.V. and Podolyaka, K.E. (2016), “The choice of multicriteria solutions for the reengineering of topological structures of large-scale monitoring systems”, *Sistemi obrobki informatsii*, No. 5 (142), pp. 80-86.
10. Fedorovich, O.E., Zapadnya, K.O., Eremenko, N.V. (2013), “Models for optimizing and configuring a logistics distribution system”, *Radioelektronni i komp'yuterni sistemi*, No. 4 (63), pp. 121–124.
11. Scott, C., Lundgren, H. and Thompson, P. (2011), *Guide to Supply Chain Management*, Springer, Berlin, 190 p.
12. Christopher, M. (2011), *Logistics & Supply Chain Management*, Pearson Education Limited, Great Britain, 276 p.
13. Ishizaka, A. and Nemery, P. (2013), *Multi-criteria Decision Analysis: Method and Software*, Wiley, USA, 310 p.
14. Velasquez, M. and Hester, P. (2013), “An Analysis of Multi-criteria Decision Making Methods”, *International Journal of Operations Research*, No. 2, pp. 56–66.
15. Christodoulos, A. and Pardalos, M. (2014), *Recent Advances in Global Optimization*, Princeton University Press, Princeton, 648 p.
16. Me, Rob, Maritz, Paul, Yara, Scott and Cook, Bill (2020), Spring framework reference documentation, available at: <https://spring.io/docs/reference>
17. Rezig, John (2019), JQuery API reference documentation, available at: <https://api.jquery.com/>

18. Abbink, Hans, van Tooren, Peet (2018), *Vis.js network reference documentation*, available at: <https://visjs.github.io/vis-network/docs/network/>

Надійшла (received) 11.12.2019  
Прийнята до друку (accepted for publication) 22.01.2020

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Годлевський Ігор Михайлович** – асистент кафедри «Системний аналіз та інформаційно-аналітичні технології», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;

**Igor Godlevskyi** – Assistant Lecturer, Department of Systems Analysis and Information-Analytical Technologies, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [godlevskyi.igor@gmail.com](mailto:godlevskyi.igor@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7651-525X>.

**Медведєв Володимир Владиславович** – студент магістратури кафедри «Системний аналіз та інформаційно-аналітичні технології», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;

**Volodymyr Medvediev** – Master's student, Department of Systems Analysis and Information-Analytical Technologies, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [medvediev.volodymyr@gmail.com](mailto:medvediev.volodymyr@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1433-0479>.

**Туревич Микола Дмитрович** – магістр з програмної інженерії кафедри «Системний аналіз та інформаційно-аналітичні технології», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;

**Kolya Turevych** – Master's Degree in Software Engineering, Department of Systems Analysis and Information-Analytical Technologies, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [trevych.kolya@gmail.com](mailto:trevych.kolya@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6939-2389>.

#### Информационная технология формирования вариантов конфигурации логистического канала дистрибуции

И. М. Годлевский, М. Д. Туревич, В. В. Медведев

**Аннотация.** Предметом исследования является процесс формирования логистического канала на основе конфигурирования логистической системы дистрибуции товаров массового использования. Цель работы состоит в разработке информационной технологии формирования вариантов конфигурации логистического канала. Рассматривается множество производителей продукции, центров консолидации продукции, центров кастомизации и множество ее потребителей. Транспортная задача с двумя промежуточными узлами декомпозируется на две. Для их решения сформированы функциональные требования. На диаграмме вариантов использования представлены три актора. Эксперт формирует исходную информацию для решения задачи конфигурирования логистической системы дистрибуции. Аналитик (лицо, формирующее решение) обеспечивает на основе исходной информации решение различных задач, которые входят в технологию конфигурирования логистической системы. Лицо, принимающее решение – актор, который выбирает решение из множества эффективных. Разработана информационная технология, диаграмма разворачивания которой состоит из четырех узлов: Client, Web server, Application server, Data base. Результаты представлены в виде вариантов конфигурации логистической системы дистрибуции. Дальнейшее их использование состоит в определении уровня сервиса для вариантов конфигурации, их устойчивости относительно различных чрезвычайных ситуаций. Результаты являются основой для формирования организационной структуры управления логистической системой дистрибуции.

**Ключевые слова:** логистический канал; товары массового использования; информационная технология; транспортная задача; уровень страховых запасов; организационная структура управления.

#### Information technology forming options for logistics distribution channel configuration

I. Godlevskyi, M. Turevych, V. Medvediev

**Abstract.** The study topic focuses on the process of establishing a logistics channel based on the configuration of the logistics system for the distribution of mass-produced goods. The aim of the research is to develop information technology for logistics channel configuration options. The logistics system consists of two types of business processes: transportation of finished products (FP), storage of FP. A number of producers, product consolidation centers, customization centers and numerous consumers are considered. A transport problem with two intermediate units is decomposed into two ones. A scattering task solves the problem of linking particular product consumers to the relevant customization warehouses. The second transportation problem solves the problem of FP delivery from manufacturers' warehouses to regional ones, and has intermediate units for product consolidation. Functional requirements are formed to solve these tasks. Three actors are represented in the use case diagram. The expert forms the background information for the task of configuring the logistics distribution system. An analyst provides input-based solutions to various tasks that are part of technology of logistics system configuring. The decision maker is the actor who chooses the solution from the many effective ones. An information technology has been developed, the deployment diagram of which consists of four nodes: Client, Web server, Application server, Data base. The results of the study are presented in the form of configurations of the logistics distribution system based on the following parameters: number of warehouse facilities for consolidation and customization of the FP; level of insurance supply; order cycles length of FP. The further use of the results obtained is to determine the level of service for the specific configuration options as well as their sustainability in relation to different emergency situations. The results obtained are the basis for the organizational structure for the management of the logistics distribution system.

**Keywords:** logistics channel; mass-produced goods; information technology; transportation task; level of insurance supply; organizational structure for management.

V. Krasnobayev<sup>1</sup>, S. Koshman<sup>1</sup>, V. Kurchanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup> NCO Military College, Poltava, Ukraine

## IMPLEMENTATION OF THE ARITHMETIC ADDITION OPERATION IN THE SYSTEM OF RESIDUAL CLASSES

**Abstract.** The subject of the article is the development of a method for implementing the arithmetic operation of addition numbers that are represented in the system of residual classes (SRC). This method is based on the use of the principle of circular shift (PCS). The purpose of the article is to reduce the time it takes to implement the arithmetic operation of addition numbers that are represented in the SRC. Tasks: to analyze and identify the shortcomings of existing number systems that are used in the construction of computer systems and components, to explore possible ways to eliminate identified deficiencies, to evaluate the implementation time of the arithmetic addition operation based on the use of the developed method. Research methods: methods of analysis and synthesis of computer systems, number theory, coding theory in SRC. The following results are obtained. It is shown that the basic principle of the implementation of arithmetic operations in positional number systems is the use of binary adders. Moreover, the use of such number systems determines the presence of inter-bit connections, which in turn increases the time it takes to implement arithmetic operations, and also cause errors to occur. It is established that the use of a non-positional number system in residual classes allows us to eliminate these shortcomings, through the use of the basic properties of SRC. The peculiarity of the developed method is the result of the operation of adding numbers can be found by successive cyclic shifts of the bits of the contents of the data blocks by the corresponding SRC modules. The use of PCS allows eliminating the influence of inter-bit bonds between the residues of the processed numbers, which allows to reduce the implementation time of the operation of adding two numbers in the SRC. Conclusions. The results of the studies showed that the use of SRC allows to eliminate the existing shortcomings of positional number systems, and also improves the speed of implementation of arithmetic operations.

**Keywords:** number system; residue number system; circular shift register; speed of implementation of arithmetic operations; reliability of calculations; computer system; computer component.

### Introduction

In positional binary number system (PBNS), the execution of the arithmetical addition operation presumes the sequential processing of digit positions of numbers by the rules determined by the content of this operation [1-3]. The processing continues until the values of all intermediate results (from low-order digit positions of a number to its high-order digit positions) are sequentially determined with allowance for all logical connections between binary places of summands. Thus, the PBNS in which data are represented and processed in modern computer systems and components (CSCs) possesses an essential drawback, namely, the presence of interbit connections between binary places of summands, which affects the speed and reliability of CSC calculations. Therefore, it is natural to search for the possibilities of creating and applying the machine arithmetic to be used in CSCs in which bitwise logical connections between binary places of the summands being processed would be weakened or would be absent at all. In this aspect, the nonpositional number system in residual classes (SRC) attracts attention [4-6].

### Problem statement

The method of representing integer numbers in SRC possesses the following three basic properties of nonpositional code structures (NCSs): independence, equal rights, and a small bit capacity of residues whose totality determines NCSs in SRC. Using these properties opens ample opportunities in constructing not only a new machine arithmetic and methods for implementing

modular arithmetic operations but also fundamentally new circuit implementation of CSCs in SRC [7-9].

The arithmetic operation of adding two numbers

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n)$$

and

$$B = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$$

in SRC is implemented by adding the corresponding residues  $a_i$  and  $b_i$  modulo  $m_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) independently of each of  $n$  bases. A small bit capacity of residues  $a_i$  and  $b_i$ , in the representation of the numbers  $A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n)$  and  $B = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$  being added allows to implement the modular addition operation  $(a_i + b_i) \bmod m_i$  using modulo adders of small bit capacity. In this case, the execution time of the operation of adding the numbers  $A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n)$  and  $B = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$  is determined by the time necessary for obtaining the result of the operation  $(a_n + b_n) \bmod m_n$  based on the greatest base  $m_n$  of ordered SRC ( $a_i < a_{i+1}$ , where  $i = \overline{1, n-1}$ ). Note the main drawbacks of the summation variant of implementing the modular arithmetic operation  $(a_i + b_i) \bmod m_i$  of addition in SRC.

1. The complexity of synthesizing binary  $k_i$ -digit adders ( $k_i = [\log_2(m_i - 1)] + 1$ ) modulo  $m_i$ .

2. Considerable time expenditures required when adding  $(a_n + b_n) \bmod m_n$  for large formats of CSC machine words determined in SRC by the value of  $m_n$ , the largest of the bases.

3. A low reliability of calculating  $(a_i + b_i) \bmod m_i$ , in view of possible errors arising in the process of determining values

$$S_i = (a_i \oplus b_i) \bmod 2 \vee c_{i-1}$$

of sums in 1-bit binary positional adders as a result of possible errors arising in the process of formations of values

$$C_{i+1} = a_{i+1} \wedge b_{i+1} \vee (a_{i+1} \vee b_{i+1}) \wedge c_i$$

of carries between 1-bit binary adders from a low-order bit of a number to its high-order bit whose totality forms a  $k_i$ -bit binary adder modulo  $m_i$

$$(k_i = [\log_2(m_i - 1)] + 1)$$

and also as a result of possible distortions of values  $C_{i+1}$  of carries when implementing the process of carrying intermediate values of the bit-by-bit summation  $(a_i + b_i) \bmod m_i$  within a given residue modulo  $m_i$  of SRC [2, 9].

**The purpose** of the article is to reduce the time of implementation of the arithmetic operation of addition numbers that are represented in the SRC.

### Method for implementing the arithmetic addition operation in residue number system

In [10], the principle of technical implementation of integer-valued arithmetic operations modulo  $m_i$ , namely, the principle of circular shift (PCS) is formulated. A peculiarity of methods for implementing arithmetic operations using PCS is that the result of, for example, the modular operation of adding numbers can be found by successive cyclic shifts of bits of the information content of a data block.

As has been noted, PCS can be used when implementing the arithmetic operation of adding numbers

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n) \text{ and } B = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$$

in SRC. In this case, the result of the arithmetic addition operation in SRC is determined by a collection of residues  $(a_i + b_i) \bmod m_i$  modulo an arbitrary  $m_i$  of SRC; this collection consists of  $\{m_i\}$  ( $i = \overline{1, n}$ ) bases. The result of the operation in the residue modulo  $m_i$  of SRC in the adding circuit  $(a_i + b_i) \bmod m_i$  is determined only due to cyclic shifts of the information content of the circular shift register (CSR). In this case, there is no need (which is present in PBNS) for determining the values of

$$S_i = (a_i \oplus b_i) \bmod 2 \vee c_{i-1}$$

and

$$C_{i+1} = a_{i+1} \wedge b_{i+1} \vee (a_{i+1} \vee b_{i+1}) \wedge c_i.$$

This allows to increase the speed of the implemented arithmetic operation of adding the numbers

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n) \text{ and } B = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$$

in SRC and also to increase the reliability of implementing this operation.

Let  $G_1 = (\mathbb{Z}, \{+\})$  be the additive Abelian group of integers, and let  $G_2 = (\mathbb{Z}_{m_i}, \oplus)$  be the additive Abelian group of residues of integers modulo  $m_i$ . We specify a mapping  $F$  of the additive Abelian group of integers  $G_1$  onto the additive Abelian group of residues of integers  $G_2$  modulo  $m_i$ . For any integer  $A$ , its image  $F(A)$  is equal to the residue  $a_i \equiv A(\bmod m_i)$  of dividing the number  $A$  by the modulus  $m_i$  of SRC. It is easily verified that, for any integers (summands)  $A$  and  $B$ , we have the equality

$$F(A + B) = F(A) + F(B),$$

i.e., for integers, the residue  $(A + B) \bmod m_i$ , of dividing the sum of numbers  $A + B$  by die modulus  $m_i$ , is equal to die sum modulo  $m_i$ , of residues  $a_i \equiv A(\bmod m_i)$  and  $b_i \equiv B(\bmod m_i)$  of dividing each summand  $A$  and  $B$  by the modulus  $m_i$ . Hence, the mapping  $F$  of the additive Abelian group of integers  $G_1$  onto the additive Abelian group of residues of integers modulo  $m_i$  is a homomorphism.

On this basis, it is possible to organize the process of determining the result of the modular arithmetic addition operation  $(a_i + b_i) \bmod m_i$  using PCS. In particular, a number in SRC is represented by a collection of  $n$  residues  $\{a_i\}$  obtained as a result of sequential division of the initial number  $A$  by  $n$  pairwise prime numbers (moduli)  $\{m_i\}$  for  $(i = \overline{1, n})$  [1, 3]. In particular, among  $n$  given different natural numbers  $m_1, m_2, \dots, m_n$  (SRC moduli), pairwise prime numbers are those of them for which the greatest common divisor (GCD) of any two different numbers is equal to 1, i.e.,  $\text{GCD}(m_i, m_j) = 1$  when  $i \neq j$ .

We note some important data properties in a Cayley table. It follows from the existence of the neutral element in the field  $GF(m_i)$  that the Cayley table for implementing the addition  $(a_i + b_i) \bmod m_i$  contains a row in which elements of this field are in ascending order. The fact that these elements are different in the residue field  $GF(m_i)$  (the order of the group is equal to  $m_i$ ) implies that each row (column) contains all elements of the field only once. According to the Cayley table, the necessary row of the table of  $(a_i + b_i) \bmod m_i$  of modular addition can be obtained by successive cyclic shift of elements of the first row. Circular shift registers that are often used in PBNS can be the systems engineering basis for synthesizing means (devices) to implement the method of arithmetic operation in SRC based on PCS.

The above-mentioned properties of a Cayley table allow to implement the operation of modular addition of numbers

$A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n)$  and  $B = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$  in SRC using PCS in the adding circuit  $(a_i + b_i) \bmod m_i$ , for each of  $n$  residues  $a_i$  of the number  $A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n)$ . For each residue  $a_i$  from a number  $n$ ,  $m_i$  digit positions are formed (from the zeroth digit position to the  $(m_i - 1)$ th digit position) of CSR. The number of bit positions in each CSR digit position is equal to

$$[\log_2(m_i - 1)] + 1.$$

The presented method for implementing the arithmetic operation of adding numbers

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n) \text{ and } B = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$$

in SRC based on PCS is as follows.

1. Based on the number  $n$  of residues of the numbers

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n) \text{ and } B = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$$

in  $n$  adding circuits  $(a_i + b_i) \bmod m_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ), the initial state of each CSR bit is set. To this end the values of the first row of Cayley table of modular addition  $(a_i + b_i) \bmod m_i$ , are assigned in binary code to the corresponding CSR bits (from the zeroth to the  $(m_i - 1)$ -th binary places (positions)).

2. Based on the value of  $a_i$ , i.e., the first summand of the sum  $(a_i + b_i) \bmod m_i$  of the number  $A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n)$ , the number of the digit position of the initial CSR information content is determined, and it is precisely this number that will represent the result of the modular operation  $(a_i + b_i) \bmod m_i$  in the  $i$ -th residue of SRC.

3. Based on the value of  $b_i$ , i.e., the second summand of the sum  $(a_i + b_i) \bmod m_i$  of the number  $B = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$ , by  $b_i$  shifts of the initial content of each CSR digit position in the positive (counterclockwise) direction, the final CSR information content is obtained.

4. The obtained information contents of bits (from the zeroth to the  $(m_i - 1)$ -th binary places) of all  $n$  CSRs determine the result of the operation of adding two numbers

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n) \text{ and } B = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$$

in SRC. The result of adding the two numbers

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n) \text{ and } B = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$$

is determined as the totality of  $n$  values of sums of residues  $(a_i + b_i) \bmod m_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) that are obtained in the corresponding CSR digit positions (see item 2).

In the general case, for an arbitrary base  $m_i$  of SRC, the initial digital structure of CSR digit positions is determined as the content of the first row of the table of the modular addition  $(a_i + b_i) \bmod m_i$  and can be represented in the following form:

$$P_{init}^{(m_i)} = [P_0(a_0) \parallel P_1(a_1) \parallel \dots \parallel P_V(a_V) \parallel \dots \parallel P_{m_i-1}(a_{m_i-1})], \quad (1)$$

where  $\parallel$  is the concatenation operation;  $P_v(a_v)$  – is the  $v$ -th ( $v = \overline{0, m_i - 1}$ ) CSR digit position;  $a_v$  is the information content of the  $v$ -th CSR digit position that is represented by an  $k$ -bit binary code ( $k = [\log_2(m_i - 1) + 1]$ ) that corresponds to a possible value of the  $a_v$ -th residue ( $a_v = \overline{0, m_i - 1}$ ) in the binary code of the corresponding number modulo  $m_i$ .

Thus, based on circular shift registers that are widely used in PBNS (in particular, in cryptography [11-13]), it is easy to implement the arithmetic operation of adding numbers in SRC. In this case, the degree  $Z$  of cyclic permutations (shifts) is defined based on structure (1) by the following expression:

$$\begin{aligned} & \left[ P_0(a_0) \parallel P_1(a_1) \parallel \dots \parallel P_{m_i-1}(a_{m_i-1}) \right]^{(Z)} = \\ & = [P_z(a_z) \parallel P_{z+1}(a_{z+1}) \parallel \dots \parallel P_{m_i-1}(a_{m_i-1}) \parallel \dots \parallel P_{z-1}(a_{z-1})]. \end{aligned} \quad (2)$$

When technically implementing the proposed method, the first summand out of  $a_i$  determines the number of the CSR digit position whose content is the result of the operation  $(a_i + b_i) \bmod m_i$ . The second summand out of  $b_i$  determines the number  $Z$  of CSR digit positions by which initial CSR content (1) should be shifted according to expression (2).

To comparatively analyze the time of executing the integer-valued arithmetic addition operation in PBNS and in SRC, we will calculate the execution time of the operation of adding two numbers  $A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n)$  and  $B = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$  in SRC using PCS. For PCS, in the circuit of determining the value of  $(a_i + b_i) \bmod m_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ), the time  $t$  of modular addition of two residues  $a_i$  and  $b_i$  is mainly determined by the time  $t_s$  of shifting the initial contents of CSR digit positions (in what follows, we assume that  $t \approx t_s$ ).

The time of shifting the digital contents of CSR digit position is described by the expression

$$t_s = Z \cdot k_i \cdot \tau, \quad (3)$$

where  $Z$  is the number of the CSR digits being shifted;  $k_i = [\log_2(m_i - 1)] + 1$  is the number of binary places in one CSR digit place (digit place) of die circuit for determining the residue of  $(a_i + b_i) \bmod m_i$ ;  $\tau = 3 \cdot \tau_g$  is the time of shifting one bit (the firing time of one trigger);  $\tau_g$  is the firing time of one logical gate (an element AND, NOT, or OR).

Taking into account the aforesaid and also that  $t \approx t_s$ , the time  $t$  of modular addition  $(a_i + b_i) \bmod m_i$  of two residues  $a_i$  and  $b_i$  is found as follows:

$$t = 3 \cdot b_i \cdot \{[\log_2(m_i - 1)] + 1\} \cdot \tau_g. \quad (4)$$

Since  $b_i = \overline{0, m_i - 1}$ , the greatest possible value of  $t$  for an arbitrary modulus  $m_i$  of SRC ( $b_i = m_i - 1 = \max$ ) is determined as follows:

$$t = 3 \cdot (m_i - 1) \cdot \{\lceil \log_2(m_i - 1) \rceil + 1\} \cdot \tau_g, \quad (5)$$

and the minimal value of  $t$  equals zero ( $b_i = 0$ ). It is obvious that the time  $t$  of modular addition  $(a_i + b_i) \bmod m_i$  of two residues  $a_i$  and  $b_i$  in using PCS depends on the value of  $b_i$ .

It is obvious that the time  $T_{SRC}^{(+)}$  of adding two numbers

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n) \text{ and } B = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$$

in SRC based on the use of PCS is determined by the time  $t$  of executing the modular operation  $(a_i + b_i) \bmod m_i$  for which the following condition is satisfied:

$$b_i \cdot k_i = \max, \quad (6)$$

out of all possible values of paired products  $b_j \cdot k_j$  ( $j = \overline{1, n}; i \neq j$ ). Condition (6) underlies the determination of the time  $T_{SRC}^{(+)}$  of executing the operation of adding two numbers

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n) \text{ and } B = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$$

in SRC.

### Examples of executing the operation of addition of two numbers in SRC

We will consider examples of concrete execution of the operation of adding two numbers

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n) \text{ and } B = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$$

in SRC for a one-byte ( $l = 1$ ) adder. Let the value of  $\rho = 8 \cdot l$  be a quantity presented in binary places being processed in a positional adder of  $l$ -byte machine words (format of adder words). In PBNS, for  $l = 1$  ( $\rho = 8 \cdot l = 8 \cdot 1 = 8$  binary places), the SRC bases can be as follows:  $m_1 = 3$ ,  $m_2 = 4$ ,  $m_3 = 5$  and  $m_4 = 7$ .

**Example 1.** Let the second summand be as follows:  $B = (10 \parallel 10 \parallel 100 \parallel 001)$ . Then

- for  $m_1 = 3$ , we have  $b_1 = 2(10)$  and  $k_1 = \lceil \log(m_1 - 1) \rceil + 1 = 2$ ;  $b_1 \cdot k_1 = 2 \cdot 2 = 4$ ;
- for  $m_2 = 4$ , we have  $b_2 = 2(10)$  and  $k_2 = \lceil \log(m_2 - 1) \rceil + 1 = 2$ ;  $b_2 \cdot k_2 = 2 \cdot 2 = 4$ ;
- for  $m_3 = 5$ , we have  $b_3 = 4(100)$  and  $k_3 = \lceil \log(m_3 - 1) \rceil + 1 = 3$ ;  $b_3 \cdot k_3 = 4 \cdot 3 = 12$ ;
- for  $m_4 = 7$ ; we have  $b_4 = 1(001)$  and  $k_4 = \lceil \log(m_4 - 1) \rceil + 1 = 3$ ;  $b_4 \cdot k_4 = 1 \cdot 3 = 3$ .

As is obvious, the greatest number (i.e., 12) of the bits being shifted is obtained in the adding circuit  $(a_3 + b_3) \bmod m_3$  for adding modulo  $m_3 = 5$ .

Thus, for Example 1, the time of addition of two numbers  $A$  and  $B$  in SRC based on PCS is determined by the value of

$$T_{SRC}^{(+)} = b_3 \cdot k_3 \cdot 3 \cdot \tau_g = 4 \cdot 3 \cdot 3 \cdot \tau_g = 36 \cdot \tau_g.$$

**Example 2.** Let the second summand be as follows:  $B = (10, 11, 001, 001)$ . Then

- for  $m_1 = 3$ , we have  $b_1 = 2(10)$  and  $k_1 = \lceil \log(m_1 - 1) \rceil + 1 = 2$ ;  $b_1 \cdot k_1 = 2 \cdot 2 = 4$ ;
- for  $m_2 = 4$ , we have  $b_2 = 3(11)$  and  $k_2 = \lceil \log(m_2 - 1) \rceil + 1 = 2$ ;  $b_2 \cdot k_2 = 3 \cdot 2 = 6$ ;
- for  $m_3 = 5$ , we have  $b_3 = 1(001)$  and  $k_3 = \lceil \log(m_3 - 1) \rceil + 1 = 3$ ;  $b_3 \cdot k_3 = 1 \cdot 3 = 3$ ;
- for  $m_4 = 7$ , we have  $b_4 = 1(001)$  and  $k_4 = \lceil \log(m_4 - 1) \rceil + 1 = 3$ ;  $b_4 \cdot k_4 = 1 \cdot 3 = 3$ .

As is obvious, the greatest number (i.e., 6) of the bits being shifted is obtained in the adding circuit  $(a_2 + b_2) \bmod m_2$  for adding modulo  $m_2 = 4$ . The time of addition of two numbers  $A$  and  $B$  in SRC based on PCS is determined by the value of

$$T_{SRC}^{(+)} = b_2 \cdot k_2 \cdot 3 \cdot \tau_g = 3 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \tau_g = 18 \cdot \tau_g.$$

A peculiarity of using PCS in SRC is that the execution time of the addition operation depends on the value of the second summand  $b_i$ , of the  $(a_i + b_i) \bmod m_i$  and can be different. The time  $T_{SRC}^{(+)}$  of adding two numbers

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n) \text{ and } B = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$$

in SRC can be characterized by both the maximal  $T_{SRC_{\max}}^{(+)}$  time and a possible average addition time  $T_{SRC_{\text{aver}}}^{(+)}$ . Hereafter, the time of addition of two numbers

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n) \text{ and } B = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$$

in SRC will be described by the expression  $T_{SRC_{\max}}^{(+)}$ . Proceeding from expression (5), the maximal time of adding two numbers

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n) \text{ and } B = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$$

in SRC is determined as

$$T_{SRC_{\max}}^{(+)} = 3 \cdot (m_n - 1) \cdot \{\lceil \log_2(m_n - 1) \rceil + 1\} \cdot \tau_g. \quad (7)$$

Note that there are algorithms that allowed to synthesize a number of technical solutions (devices) for implementing the integer modular arithmetic addition operation based on the use of PCS. In this case, the maximal time  $T_{SRC_{\max}}^{(+)}$  of executing the addition operation guaranteedly decreases at least twice [14]. In this case, the time  $T_{SRC}^{(+)}$  of adding two numbers

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n) \text{ and } B = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$$

in SRC is described by the expression

$$T_{SRC}^{(+)} = T_{SRC_{\max}}^{(+)} / 2.$$

Then the addition time of two numbers in SRC is determined as follows:

$$T_{SRC}^{(+)} = 3 \cdot (m_n - 1) \cdot \{[\log_2(m_n - 1)] + 1\} \cdot \tau_g / 2. \quad (8)$$

As is well-known [9], the time  $T_{PNS}^{(+)}$  of adding numbers  $A$  and  $B$  in PBNS is described by the formula

$$T_{PNS}^{(+)} = (2 \cdot \rho - 1)t_s = (16 \cdot l - 1) \cdot 3 \cdot \tau_g, \quad (9)$$

where  $\rho = 8 \cdot l$  is the word format of the positional adder being used;  $t_s = 3 \cdot \tau_g$  is the time of addition of the values of  $a_{i+1} + b_{i+1} + c_i$  in the  $(i+1)$ th binary place of the positional adder, i.e., the time of determining the values of  $C_{i+1}$  and  $S_{i+1}$ .

Let us perform an evaluative calculation and a comparative analysis of the execution time of the arithmetic operation of adding two numbers in PBNS and in SRC for one-byte ( $l=1$ ) and two-byte ( $l=2$ ) machine words. For  $l=1$  ( $\rho=8$  binary places), SRC is represented by the collection of the following bases:  $m_1 = 3$ ,  $m_2 = 4$ ,  $m_4 = 5$  and  $m_8 = 7$  and, for  $l=2$  ( $\rho=16$  binary places), SRC is represented by the following collection of bases:  $m_1 = 2$ ,  $m_2 = 3$ ,  $m_3 = 5$ ,  $m_4 = 7$ ,  $m_5 = 11$ , and  $m_6 = 13$ . When calculating, we will use formulas (7) - (9).

The performed comparative analysis of the results of calculations has shown the efficiency of using PCS in implementing the arithmetic operation of addition in SRC.

## Conclusions

The modularity of structure of the computational process in SRC allows to use PCS to implement main

modular integer arithmetic operations. Based on this, a method is developed in this article for implementing the arithmetic operation of addition in system of residual classes on the basis of using the principle of circular shift. Using PCS in SRC allows to eliminate the main drawback of existing CSCs operating in PBNS, namely, to get rid of the influence of interbit connections between binary places of numbers  $a_i$  and  $b_i$  in executing the operation of addition  $(a_i + b_i) \bmod m_i$ , i.e., to eliminate the effect of interbit connections between  $l$ -bit positional adders on the result of the operation of addition  $A + B$  of two numbers. This article shows that the use of PCS allows to increase the operation speed of executing the operation  $A + B$  of addition of two numbers.

Using PCS can increase the reliability of calculations (i.e., the execution of the operation of modular addition in SRC) owing to eliminating possible errors from the process of executing the arithmetic operation of addition  $(a_i + b_i) \bmod m_i$ ; such errors can occur when determining the values of sums  $S_i$  and the values  $C_i$  of carry signals. The reliability of calculations can also be increased due to eliminating the possible effect of a distorted value of a carry signal  $C_i$  in the process of carrying this signal from the  $i$ th  $l$ -bit positional binary adder to the  $(i+1)$ th  $l$ -bit positional binary adder. However, the statement about a possible increase in the reliability of executing the addition operation in SRC due to using PCS requires additional investigations. Note that the systems engineering basis for synthesizing means (devices) that implement the method of the arithmetic addition operation in SRC based on PCS can be shift registers that are widely used in PBNS.

## REFERENCES

1. Kuznetsov, O., Lutsenko, M. and Ivanenko, D. (2016), "Strumok stream cipher: Specification and basic properties", Proc. 3rd Intern. Sci.-Pract. Conf. *Problems of Infocommunications. Science and Technology (PICS&T)*, Kharkiv, pp. 59-62.
2. Krasnobayev, V. A. (2007), "Method for Realization of Transformations in Public-Key Cryptography", *Telecommunications and Radio Engineering*, vol. 66, no. 17, pp. 1559–1572.
3. Tariq Jamil (2013), *Complex Binary Number System. Algorithms and Circuits*, India: Springer, 83 p.
4. Ananda Mohan (2016), *Residue Number Systems*, Birkhäuser Basel, 351 p.
5. Chervyakov, N. I. (2017), "Residue-to-binary conversion for general moduli sets based on approximate Chinese remainder theorem", *International Journal of Computer Mathematics*, vol. 94, No. 9, pp. 1833-1849.
6. Kasianchuk, M., Yakymenko, I., Pazdriy, I. and Zastavnyy, O. (2015), "Algorithms of findings of perfect shape modules of remaining classes system", *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics*, Lviv, pp. 316-318, DOI: <https://doi.org/10.1109/CADSM.2015.7230866>
7. Amir Sabbagh Molahosseini, Leonel Seabra de Sousa and Chip-Hong Chang (2017), *Embedded Systems Design with Special Arithmetic and Number Systems*, Springer International Publishing, 389 p.
8. Patterson, D.A. and Hennessy, J.L. (2016), *Computer Organization and Design: The Hardware Software Interface: ARM Edition* [The Morgan Kaufmann Series in Computer Architecture and Design], 1st Edition: Morgan Kaufmann, 720 p.
9. Yadin, A. (2016), *Computer Systems Architecture*, CRC Press, 526 p.
10. Valvano, J. (2017), *Embedded Systems: Real-Time Operating Systems for Arm Cortex M Microcontrollers* [2nd ed. edition], CreateSpace Independent Publishing Platform, 486 p.
11. Hsu, J. Y. (2017), *Computer Architecture: Software Aspects, Coding, and Hardware*, CRC Press, 456 p.
12. Zirnbauer, M. R. (2018), "Symmetry classes", *Oxford Handbooks Online*, DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780198744191.013.3>
13. Krasnobayev, V.A., Koshman, S.A. and Mavrina, M.A. (2014), "A method for increasing the reliability of verification of data represented in a residue number system", *Cybernetics and Systems Analysis*, vol. 50, Issue 6, pp. 969-976.
14. Krasnobayev, V.A., Yanko, A.S. and Koshman S.A. (2016), "A Method for arithmetic comparison of data represented in a residue number system", *Cybernetics and Systems Analysis*, vol. 52, Issue 1, pp. 145-150.

**Краснобаєв Віктор Анатолійович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри електроніки і управлюючих систем, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна;

**Victor Krasnobayev** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Electronics and Control Systems Department, V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [v.a.krasnobaev@gmail.com](mailto:v.a.krasnobaev@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5192-9918>.

**Кошман Сергій Олександрович** – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри безпеки інформаційних систем і технологій, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна;

**Sergey Koshman** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Information Systems and Technologies Security Department, V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [s.koshman@karazin.ua](mailto:s.koshman@karazin.ua); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8934-2274>.

**Курчанов Валерій Микитович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри побудови телекомунікаційних систем, Військовий коледж сержантського складу, Полтава, Україна;

**Valerii Kurchanov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Construction of Telecommunication Systems Department, NCO Military College, Poltava, Ukraine;

e-mail: [kvnkvn@meta.ua](mailto:kvnkvn@meta.ua); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4736-6769>.

## Реалізація арифметичної операції додавання у системі залишкових класів

В. А. Краснобаєв, С. О. Кошман, В. М. Курчанов

**Анотація.** Предметом статті є розробка методу реалізації арифметичної операції додавання чисел, які представлені у системі залишкових класів (СЗК). Даний метод ґрунтується на основі використання принципу кільцевого зсуву (ПКЗ). Метою статті є зменшення часу реалізації арифметичної операції додавання чисел, які представлені у СЗК. Задачі: провести аналіз і виявити недоліки існуючих систем счислення, які використовуються при побудові комп'ютерних систем і компонентів, дослідити можливі шляхи усунення виявлених недоліків, зробити оцінку часу реалізації арифметичної операції додавання на основі використання розробленого методу. Методи дослідження: методи аналізу та синтезу комп'ютерних систем, теорія чисел, теорія кодування у СЗК. Отримано наступні результати. Показано, що основним принципом реалізації арифметичних операцій у позиційних системах счислення, є використання двійкових суматорів. При цьому використання таких систем счислення обумовлює наявність межроздрядних зв'язків, що в свою чергу збільшує час реалізації арифметичних операцій, а також зумовлює виникнення помилок. Встановлено, що використання непозиційної системи счислення у залишкових класах дозволяє усунути зазначені недоліки, за рахунок використання основних властивостей СЗК. Особливість розробленого методу полягає у тому, що результат операції додавання чисел може бути знайдений послідовними циклічними зсувами бітів вмісту блоків даних по відповідним модулям СЗК. Використання ПКЗ дозволяє виключити вплив межроздрядних зв'язків між залишками чисел, що оброблюються, це дозволяє зменшити час реалізації операції додавання двох чисел у СЗК. Висновки. Результати проведених досліджень показали, що використання СЗК дозволяє усунути існуючі недоліки позиційних систем счислення, а також підвищуючи швидкодію реалізації арифметичних операцій.

**Ключові слова:** система счислення; система залишкових класів; кільцевої реєстр зсуву; швидкодія виконання арифметичних операцій; достовірність обчислень; комп'ютерна система; комп'ютерний компонент.

## Реализация арифметической операции сложения в системе остаточных классов

В. А. Краснобаев, С. А. Кошман, В. Н. Курчанов

**Аннотация.** Предметом статьи является разработка метода реализации арифметической операции сложения чисел, которые представлены в системе остаточных классов. Данный метод основывается на основе использования принципа кольцевого сдвига (ПКС). Целью статьи является уменьшение времени реализации арифметической операции сложения чисел, которые представлены в СОК. Задачи: провести анализ и выявить недостатки существующих систем счисления, которые используются при построении компьютерных систем и компонентов, исследовать возможные пути устранения выявленных недостатков, произвести оценку времени реализации арифметической операции сложения на основе использования разработанного метода. Методы исследования: методы анализа и синтеза компьютерных систем, теория чисел, теория кодирования в СОК. Получены следующие результаты. Показано, что основным принципом реализации арифметических операций в позиционных системах счисления, является использование двоичных сумматоров. При этом использование таких систем счисления обуславливает наличие межразрядных связей, что в свою очередь увеличивает время реализации арифметических операций, а также обуславливает возникновение ошибок. Установлено, что использование непозиционной системы счисления в остаточных классах позволяет устраниить указанные недостатки, з счётом использования основных свойств СОК. Особенность разработанного метода заключается в том, что результат операции сложения чисел может быть найден последовательными циклическими сдвигами битов содержимого блоков данных по соответствующим модулям СОК. Использование ПКС позволяет исключить влияние межразрядных связей между остатками обрабатываемых чисел, что позволяет уменьшить время реализации операции сложения двух чисел в СОК. Выводы. Результаты проведённых исследований показали, что использование СОК позволяет устраниить существующие недостатки позиционных систем счисления, а также повышает быстродействие реализации арифметических операций.

**Ключевые слова:** система счисления; система остаточных классов; кольцевой регистр сдвига; быстродействие выполнения арифметических операций; достоверность вычислений; компьютерная система, компьютерный компонент.

M. Milanov<sup>1</sup>, Yu. Leshchenko<sup>1</sup>, A. Yelizieva<sup>1</sup>, R. Artiukh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovskii "Kharkiv Aviation Institute", Ukraine

<sup>2</sup>State Enterprise "National Design & Research Institute of Aerospace Industries", Kharkiv, Ukraine

## DEVELOPMENT OF THE APPLICATION OF INFORMATION SUPPORT OF MEDICAL DIAGNOSTIC AND TREATMENT CENTERS

**Abstract.** The **subject** of the article's research is the model and technology of information support for the medical diagnostic and treatment center (MDTC). The **goal** is to reduce costs and the time to organize the work a medical diagnostic and treatment center by applying and developed models and an information system. The following **problems** were solved in the paper: to conduct an analytical review of existing integrated medical information systems; to develop a model for the functioning of the MDTC; to develop software for the subsystem of information support for the MDTC functioning, including the local drug formulary. **Methods** of the theory of algorithms, automaton models and technologies for software applications development were used to solve these problems. The following **results** were obtained. Existing medical systems that allow automating the business processes of medical institutions are analyzed, their advantages and disadvantages are designated. The functional subsystems of the MDTC that automate the functions of the departments of a medical institution are designated. Automation models and expressions of the algebra of relationships have been obtained for the main departments of the MDTC, that allow to present in a formalized form the process of a medical institution functioning. The model of the functioning of the MDTC is formed on the basis of the theory of automate and an expression of the algebra of relations is obtained that describes in a formalized form the work of the medical center. The structure of the software system for information support of the MDTC is proposed. The navigation system of the web-resource of MDTC was developed. A use-case diagram was developed showing the functionality of the main categories of users. **Conclusions:** the information support of the MDTC will reduce the time for patient care due to the organized sequence of actions of department staff and reduce the risk of errors in diagnosis due to mathematical and statistical processing of the results of the diagnostics. A drug formulary was developed, which allows the patient to receive recommendations on the use of drugs based on the entered search parameters.

**Keywords:** medical diagnostic and treatment center; automation models; algebra of algorithms; information support system; use case diagram; web resource; drug formulary.

### Introduction

Today, the intensive use of information technology (IT) in medicine is becoming more widespread. It is used to solve both the general problems characteristic of health care in general and the tasks of a specific health care facility (HCF), taking into account all the peculiarities of its functioning [1]. The main goal of health informatization is to create new IT at all levels and new medical computer technologies that improve the quality of health care and assist in the implementation of the basic function of public health, that is, increase the duration of active life. The introduction of medical information systems improves diagnosis in selected medical treatment centers and affects the overall health care system in the country [2 – 7].

**Analysis of recent studies and publications.** Today, the delivery of quality medical services is impossible without information technologies that automate many HCF functions. It should be noted that there are different types of medical information systems (MIS) depending on the levels of management (Table 1). Table 2 shows the comparative characteristics of medical information systems of Ukraine, which belong to the level

of hospitals, highlights their advantages and disadvantages [8 – 10]. These medical information systems (MISs) create a single HCF information space that enables the collection of data on the performance of all departments; manage the staff and financial resources of the institution [11 - 13]. However, the implementation of IIA has the following features:

- significant cost;
- compliance of the HCF organizational structure with the MIS structure;
- inability to integrate with other software applications implemented in HCF;
- the need to configure MIS according to the HCF specialization.

Most hospitals use the automated workplaces (AWRs) of doctors, but the task of integrating AWRs into a single system of a medical facility arises. Therefore, the main functions of the following departments should be automated in HCF:

- the attending physician;
- reception office;
- medical consultants;
- diagnostic department;
- information and reference.

Table 1 – Classification of MIS

Level of management	Basic level	Level of hospitals	Territorial level
<b>Types of MIS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– reference;</li> <li>– consultative and diagnostic;</li> <li>– hardware and software complexes;</li> <li>– the doctor's AWP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– MIS of consulting centers;</li> <li>– screening systems;</li> <li>– MIS of HCF;</li> <li>– MIS for research institutes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– MIS of strategic importance;</li> <li>– MIS of specialized medical services;</li> <li>– computer telecommunication systems.</li> </ul>

Table 2 – Comparative analysis of medical information systems of Ukraine

Name of the system	Possibilities	Disadvantages
"Dr.Eleks"	<ul style="list-style-type: none"> <li>- electronic medical card of the patient;</li> <li>- doctor's office;</li> <li>- editor of document templates;</li> <li>- tracking statistics;</li> <li>- presence of the module of the registry;</li> <li>- availability of modules for personnel and reporting;</li> <li>- possibility of integration with laboratory networks and diagnostic equipment.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- the work requires staff training;</li> <li>- system configuration is required to automate the operation of specific divisions.</li> </ul>
"EMCIMED"	<ul style="list-style-type: none"> <li>- maintenance of electronic medical history of a network of institutions;</li> <li>- planning and optimization of the hospital process;</li> <li>- information support and support of hospital diagnostic processes;</li> <li>- informational support of work of the staff of the medical institution;</li> <li>- solving problems of an administrative, economic and financial nature.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- the complexity of adding solutions to specific problems;</li> <li>- no separate module for the registry.</li> </ul>
"Unimed"-7	<ul style="list-style-type: none"> <li>- workplace of family doctor;</li> <li>- registration of patients;</li> <li>- system of processing, storage and prompt access to patient cards;</li> <li>- possibility of adjustment for a specific medical institution;</li> <li>- automated workplace for ultrasound diagnostics;</li> <li>- integration of specialists' workplaces into a single hospital medical system.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- absence of AWP for medical specialists;</li> <li>- staff training is required for work.</li> </ul>
"K-MIS"	<ul style="list-style-type: none"> <li>- maintaining an electronic medical history;</li> <li>- accounting for laboratory research;</li> <li>- formation of a schedule of doctors' appointments;</li> <li>- report generation;</li> <li>- monitoring of the institution's activities.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- the work requires staff training;</li> <li>- the complexity of making changes.</li> </ul>

Based on the analysis, it is possible to determine the structure of an automated system of information support of a medical institution, which consists of the following subsystems, regardless of the type of its specialization:

- subsystem of the institution's registry;
- online consultation subsystem;
- laboratory research subsystem;
- patient electronic journal;
- statistics subsystem.

### Materials and methods

The following departments are part of a typical medical treatment and diagnostic center (MDTC) of any specialization:

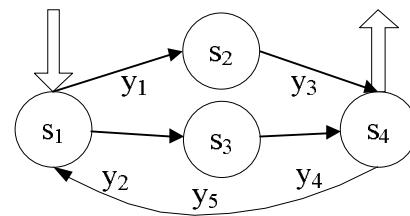
- registration;
- laboratory;
- center for statistical analysis;
- online consulting service;
- departments of specialist doctors.

The article proposes to describe the processes of functioning of MDTC departments with the help of automatic models that can be formally presented in this way [14-23]:

$$A = (X, f, a_0, F), \quad (1)$$

where  $X$  – a set of output symbols of the automaton;  $f$  – transfer function;  $a_0$  – a set of initial states of the automaton, since  $\{a_0, a_1, \dots, a_n\}$  is the set of states of the automaton;  $F$  – a set of final states.

Let us present the process of work of these departments using the algebra of relations, which allows us to formally describe the MDTC processes on the basis of a set of states [24-30]. The process of the registry is shown in the form of an automatic machine model (Fig. 1).



**Fig. 1.** Automatic model of the process of functioning of the registry

Fig. 1 shows states of the automation model that are:

- $s_1$  - referral of the patient to MDTC;
- $s_2$  - entry to a specialist doctor;
- $s_3$  - appearance of a new electronic card of the patient;
- $s_4$  - formation of medical records.

The functions of automatic model transitions are:

- $y_1$  - search for patient information in the journal;
- $y_2$  - formation of the schedule of admission of a specialist doctor;
- $y_3$  - filling in the MDTC New Patient Information;
- $y_4$  - correction of patient information;
- $y_5$  - the possibility of repetition.

Let's write the equation in the algebra of relations:

$$\begin{aligned} f_1 &= y_1 f_2 \vee y_2 f_2 = (y_1 \vee y_2) f_2; \\ f_2 &= y_3 f_4; \\ f_3 &= y_4 f_4; \quad f_4 = y_5 f_1. \end{aligned} \quad (2)$$

The function of the model is defined as a regular expression of the algebra of relations:

$$f_1 = (y_1 \vee y_2) y_3 y_4 y_5)^*. \quad (3)$$

We present in the form of an automatic model the process of work of the MDTC laboratory (Fig. 2).

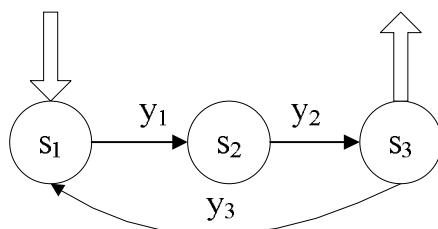
**Fig. 2.** Automatic model of laboratory work

Fig. 2 shows that states of the automation model are:

s<sub>1</sub> - receipt of records of laboratory tests;

s<sub>2</sub> - preparation for admission;

s<sub>3</sub> - formation of medical records.

The functions of automatic model transitions are:

y<sub>1</sub> - accounting for reagents;

y<sub>2</sub> - formation of a log of statistics;

y<sub>3</sub> - possibility of repetition.

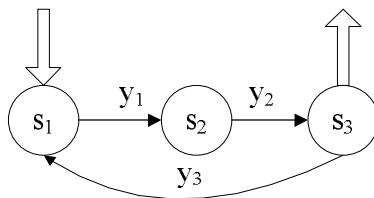
Let us write the equation in the algebra of relations:

$$f_1 = y_1 f_2; \quad f_2 = y_2 f_3; \quad f_3 = y_3 f_1. \quad (4)$$

The operation of the registry model describes the regular expression of the algebra of relations:

$$f_1 = (y_1 y_2 y_3)^*. \quad (5)$$

Let us present the process of work of the center of statistical analysis in the form of an automatic model (Fig. 3).

**Fig. 3.** Automatic model of functioning of the center of statistical analysis

In Fig. 3, the states of the automaton model are:

s<sub>1</sub> - receipt of ultrasound results;

s<sub>2</sub> - receipt of expert opinions;

s<sub>3</sub> - production of statistical reports.

Functions of automatic model transitions are:

y<sub>1</sub> - obtaining an analytical conclusion based on ultrasound results using data collection and analysis methods;

y<sub>2</sub> - obtaining probabilistic estimation of presence of a certain disease by means of mathematical apparatus;

y<sub>3</sub> - the possibility of repetition.

We write the equation in the algebra of relations:

$$f_1 = y_1 f_2; \quad f_2 = y_2 f_3; \quad f_3 = y_3 f_1. \quad (6)$$

The operation of the statistical analysis center model of operation describes the regular expression of the algebra of relations:

$$f_1 = (y_1 y_2 y_3)^*. \quad (7)$$

Here is the process of MDTC operation in the form of an automatic model (Fig. 4).

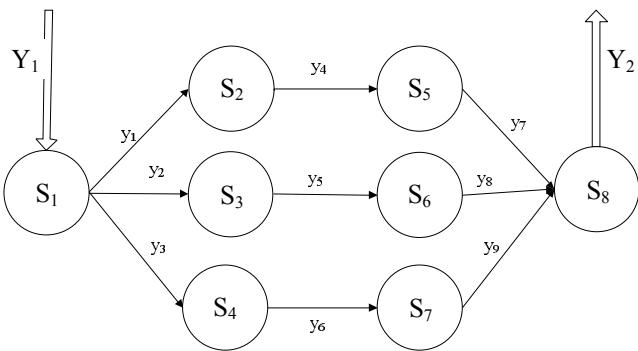
**Fig. 4.** MDTC automatic model

Fig. 4 shows states and functions of transitions:

s<sub>1</sub> - patient information;

s<sub>2</sub> - change of schedule of admission of a specialist doctor;

s<sub>3</sub> - change of schedule of reception of laboratory; s<sub>4</sub> - changing the timetable for online consultations;

s<sub>5</sub> - change of information in the patient's electronic journal;

s<sub>6</sub> - accounting for reagents;

s<sub>7</sub> - record of the result of the doctor's appointment;

s<sub>8</sub> - preparation of reporting documents;

Y<sub>1</sub> - referral of the patient to MDTC;

Y<sub>2</sub> - storing patient information in the MDTC database;

y<sub>1</sub> - processing the record with a specialist;

y<sub>2</sub> - processing the recording to the laboratory;

y<sub>3</sub> - processing an appointment for an online consultation;

y<sub>4</sub> - reception by a specialist doctor (keeping the patient's electronic journal);

y<sub>5</sub> - conducting laboratory tests;

y<sub>6</sub> - production of statistical reports;

y<sub>7</sub>, y<sub>8</sub>, y<sub>9</sub> - formation of journals, statistical documentation.

The result is an expression of the algebra of relations that describes the formalized work of MDTC:

$$f = Y_1(y_1 y_4 y_7 \vee y_2 y_5 y_8 \vee y_3 y_6 y_9)Y_2. \quad (8)$$

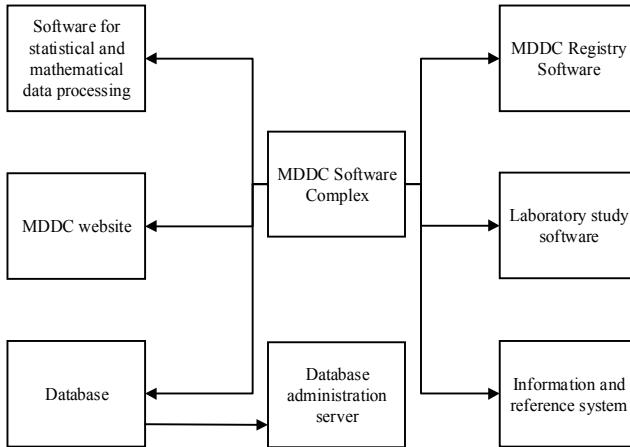
It should be mentioned that each disjunction describes the work of a particular department of the institution. The formalized representation of the MDTC workflow in the form of an automated model allows to take into account the changing processes (states) and functions of departments of a medical institution (transition functions). Regular expressions of the algebra of relations determine the sequence of processes performed by the staff of the institution. Automation of these processes will reduce the time needed to serve patients and reduce the risk of errors in the examination.

## Results of the studies

For automation of these functions (Fig. 4) the MDTC information support system is proposed, its structure consists of the following modules (Fig. 5):

- software (SW) for statistical and mathematical data processing;

- registry software;
- MDTC Website;
- laboratory research software;
- a database that communicates with the database administration server;
- information and reference system.



**Fig. 5.** Structure of the MDTC information support software system

Thus, MIS combines the types of systems of the basic level and the level of the medical institution (Table 1). Apache was selected as the server-trust for administering the database, the main advantages of which are:

- support for different operating systems;
- cross-platform;
- reliability and flexibility of configuration;
- possibility of connection of external modules for data provision;
- possibility of modification of error messages;
- the ability to process configuration files (server, virtual host, directory level);
- availability of module loading system.

MYSQL database management system (DBMS) has been selected for storing and processing information, the main advantages of which are:

- free support;
- multithreading, ie the ability to simultaneously support multiple requests;
- optimize connections with multiple data connections
- support for up to 16 keys in the table, each of which can have up to 15 fields;
- case insensitivity;
- easy to manage tables.

The Computer Health Information System has a search engine and the ability to process information from multiple medical fields. The electronic directory has the following record structure:

- name of the disease;
- a concise description;
- additional classifications;
- etiology and risk factors;
- diagnostics (screening, complaints and anamnesis, laboratory tests, consultations of specialists, etc.);
- differential diagnosis;

- treatment and rehabilitation;
- prognosis and possible complications;
- prevention (recommendations, medical examination, etc.).

However, the focus is on developing a site for MDTC information support. Fig. 6 shows the navigational structure of the MDTC Web Resource, which consists of the main menu, the search system, the link and the registration box.



**Fig. 6.** Navigation structure of the MDTC Web resource

It should be noted that the site also displays information about the software settings and the type of user currently online. The chosen scheme of implementation allows to add new materials, create sections, issue permissions to closed site resources, change the appearance with the most automated administrative section (Fig. 7).

The interface includes all the software tools that provide quality management and support for the site. Fig. 8 shows a module manager that allows to select sections of the site.

With the module manager, it is possible to choose the order of the post, its access and the position on the site. The web application is implemented using HTML (HyperText Markup Language) technologies [31], CSS (Cascading Style Sheets) [32] and Java Script [33].

One of the main sections of the MDTC Web resource is the work of an on-line diagnostic consulting service, the functionality of which is presented by two software modules - a forum and a component for hosting an Internet conference. The forum is a virtual space that offers a set of discussion sections. The work of the forum is to create topics in sections and further discussion within these topics, which are a thematic guest book. The forum hierarchy is structured as

follows: section → topics → posts. Working with the videoconference reception log is an electronic calendar

that identifies MDTC workdays with unrestricted online consultation time.

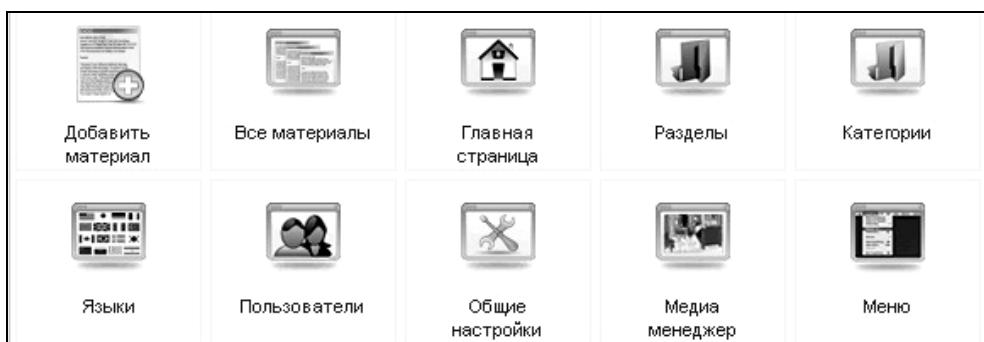


Fig. 7. Interface of automatic administration system

#	Имя модуля	Публикация	Двигать	Порядок	Доступ	Позиция	Страницы
1	Банеры				<input type="button" value="1"/>	Public	banner На всех
2	Кнопка - Главная -				<input type="button" value="1"/>	Public	icon На всех
3	Кнопка - Новости -				<input type="button" value="2"/>	Public	icon На всех
4	Кнопка - Статьи -				<input type="button" value="3"/>	Public	icon На всех
5	Кнопка - Ссылки -				<input type="button" value="4"/>	Public	icon На всех
6	Кнопка - Поиск -				<input type="button" value="5"/>	Public	icon На всех
7	Кнопка - Контакт -				<input type="button" value="6"/>	Public	icon На всех
8	Кнопка - Войти -				<input type="button" value="7"/>	Public	icon На всех
9	Кнопка - AndyR форум -				<input type="button" value="8"/>	Public	icon На всех
10	Скроллинг баннеров				<input type="button" value="9"/>	Public	icon На всех
11	Поиск				<input type="button" value="1"/>	Public	left На всех
12	Главное меню				<input type="button" value="2"/>	Public	left На всех
13	Меню пользователя				<input type="button" value="3"/>	Registered	left На всех
14	Другое меню				<input type="button" value="4"/>	Public	left На всех
15	Авторизация				<input type="button" value="5"/>	Public	left На части
16	Syndicate				<input type="button" value="6"/>	Public	left На части
17	Архивы				<input type="button" value="7"/>	Public	left Нигде

Fig. 8. The module manager

Fig. 9 shows a precedent diagram showing the basic functionality of a web application for four categories of users: user, registered user, moderator and administrator. Admin features differ from the moderator's ability to access the site management system. The moderator can view and edit the information provided on the site using the appropriate module. This simplifies the process of editing information (adding, deleting, and adjusting) without the need for site-making skills. The registered user can get a remote consultation of MDTC specialist through the relevant software modules.

Consider in more detail the electronic form of hospitals, which belongs to the information and reference system. With its help, the user is able to search for medicines by certain parameters (Fig. 10). The user interface looks like the following tables:

- departments;
- groups;
- subgroups;
- special group;
- the main table – that is medicines.

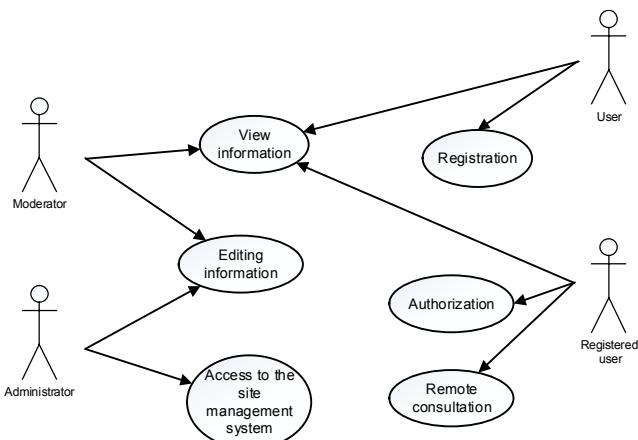


Fig. 9. Case diagram

The File menu has a search function. To search for a drug, the user must enter the name of the medicinal product in the appropriate field and go to the search results. Editing of the results is also available.

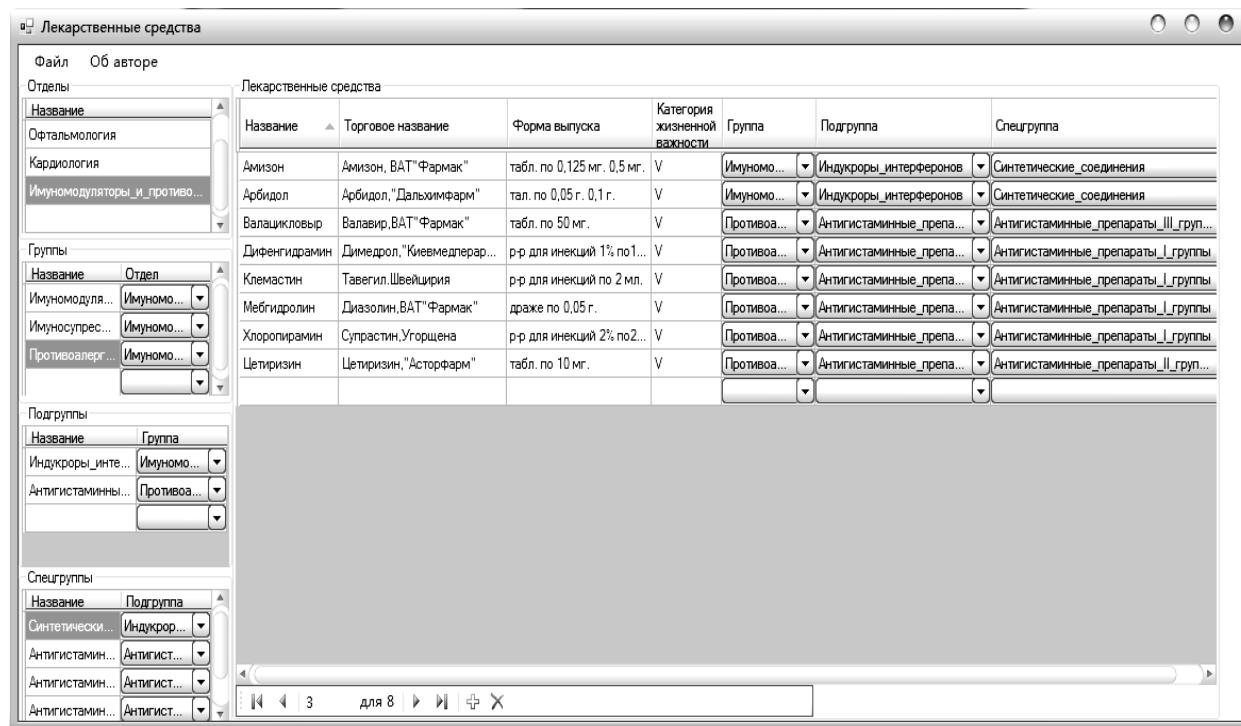


Fig. 10. The main form window

## Conclusions

The article analyzes the existing medical systems, on the basis of which the functions of the MDTC information support system are highlighted. Formed automatic models and expressions of algebra of relations allow us to describe in a formalized form the processes of functioning of branches of MDTC. The structure of information support system of medical hospital-diagnostic institution is proposed and web-resource is developed. In addition, a medicines form has been de-

veloped to provide advice on the use of certain types of drugs.

The scientific novelty of the article is a formalized representation of MDTC processes in the form of algebra of relations, which allows determining the sequence of functions performed by employees of medical institutions of different specialization.

The practical value is the ability to use the developed web-resource for MDTC information support, which allows automating the basic functions of the institution, regardless of its specialization.

## REFERENCES

1. Morris F. Collen and W. Ed Hammond (2015), "Development of Medical Information Systems", *The History of Medical Informatics in the United States*, pp. 123–206, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6732-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6732-7_3)
2. Popov V.A., Milanov M.V. and Reva S.A. (2014), "Analysis of methods and models of construction of the ramified informative system medical curatively – diagnostic center", *Radio electronic and computer systems*, No. 2 (66), pp. 146–154.
3. Belo, O. (2011), "Improving diagnosis processes through multidimensional analysis in medical institutions", *Technology and Medical Sciences, TMSi 2010 – Proc. of the 6th Int. Conf. on Technology and Medical Sciences 2011*, pp. 135–141.
4. Were, M.C., A. Siika, P.O. Ayuo, L. Atwoli and Esamai F. (2015), "Building Comprehensive and Sustainable Health Informatics Institutions in Developing Countries: Moi University Experience", *Studies in Health Technology and Informatics*, Vol. 216, pp. 520–524, DOI: <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-564-7-520>
5. Anokwa, Y., Ribeka, N., Parikh, T., Borriello, G. and Were, M.C. (2012), "Design of a Phone-Based Clinical Decision Support System for Resource-Limited Settings", *ACM International Conference Proceeding Series*, P. 13–24. DOI: <https://doi.org/10.1145/2160673.2160676>
6. Lamy, M., Pereira, R., Ferreira, J.C., Vasconcelos, J.B., Melo, F. and Velez, I. (2019), "Extracting Clinical Information from Electronic Medical Records", *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 806, pp. 113–120, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-01746-0\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01746-0_13)
7. Kyburz, P., Gfeller, S., Bürkle, T. and Denecke, K. (2019), "Exchanging Appointment Data among Healthcare Institutions", *Studies in Health Technology and Informatics*, Vol. 260, pp. 33–40, DOI: <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-971-3-33>
8. (2019), Site of company "Medical information systems", available at: <https://www.mcmed.ua/ru>
9. (2019), Site of company "Medexpert", available at: <http://medexpert.ua/services/meditsinskie-sistemy>
10. (2019), Site of company "Medspravka", available at: <https://www.medsprava.com.ua/article/1084-meditsinskie-informatsionnye-sistemy-rus>
11. (2019), Site of company "K-MIS Medical Information System", available at: <https://kai.ua/ru/products/k-mis/>
12. Yakubovska, S., Vysotska, O. and Timofeev, V. (2017), "Mathematical support of the intelligent information system of assessing the object state", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (2), pp. 93–99, DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.093>

13. Mandrikova, L., Posternakova, V., Krasovska, I. and Symovych, T. (2019), "Problems of identification in information systems", *Advanced Information Systems*, Vol. 3, No. 2, pp. 5-9, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.2.01>
14. (2019), *Medical information systems: how to choose your own*, available at: <https://imed.co.ua/ru/menedzhment/medicinskie-informacionnye-sistemy-kak-vybrat-svoju>
15. Alferova, Z.V. (1973), *Theory of algorithms*, Statistics, Moscow, 164 p.
16. 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>
17. 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.
18. Svyrydov, A., Kuchuk, H., Tsypa, O. (2018), "Improving efficiency of image recognition process: Approach and case study", *Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies*, DESSERT 2018, pp. 593–597, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409201>
19. 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>
20. 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, DOI: [http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4\\_8](http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8)
21. Kuchuk G., Nechausov S., Kharchenko, V. "Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store", *International Conference on Information and Digital Technologies. Zilina*, 2015. P. 266-271. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DT.2015.7222982>
22. 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>
23. 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>
24. Leshchenko Y., Yelizieva A. (2020), "System Model for Decision Making Support in Logistics and Quality Management Business Processes of Manufacture Enterprise". In: Ageyev D., Radivilova T., Kryvinska N. (eds) *Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, Vol. 42. Springer, Cham, P. 93–113. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-35649-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-35649-1_5)
25. Chalyi, S. and Leshchynskyi, V. (2019), "Knowledge representation in the recommendation system based on the white box principle", *Advanced Information Systems*, 2019, Vol. 3, No. 3, pp. 82–85, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.3.12>
26. Mukhin, V., Kuchuk, N., Kosenko, N., Kuchuk, H. and Kosenko, V. (2020),"Decomposition Method for Synthesizing the Computer System Architecture , Advances in Intelligent Systems and Computing", *AISC*, vol. 938, pp 289–300, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16621-2\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16621-2_27)
27. Kuchuk, N., Mozhaiev, O., Mozhaiev, M., Kuchuk, H. (2017), "Method for calculating of R-learning traffic peakedness", *2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017 – Proceedings*, pp. 359–362, DOI: <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246416>
28. Mozhaiev, M., Kuchuk, N. and Usatenko, M. (2019), "The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, Vol. 4 (10), pp. 134–140. doi: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.134>
29. Bakurova, A., Pasichnyk, M. and Tereschenko, E. (2019), "Fuzzy modeling of verbal information for production systems", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No. 4 (10), pp. 5-13, doi: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.005>
30. Malyeyeva, O., Yelizyeva, A., Kosenko, N. Neviudova, V. (2018) "Information technologies of supporting decision-making on managing the procurement of a manufacturing enterprise", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (5), pp. 57-66. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.5.057>.
31. (2019), HTML5Book. HTML and HTML5, "Description of tags by main sections", available at: <https://html5book.ru/html5-semantic-elements>
32. (2019), HTML5Book, CSS and CSS3, available at: <https://html5book.ru/css-css3/>
33. (2019), Javascript. What is javascript really? Client-side web APIs, available at: [https://developer.mozilla.org/ru/docs/Learn/Getting\\_started\\_with\\_the\\_web/JavaScript\\_basics](https://developer.mozilla.org/ru/docs/Learn/Getting_started_with_the_web/JavaScript_basics)

Received (Надійшла) 19.11.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.01.2020

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Міланов Михайло Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп’ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;  
**Mykhailo Milanov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Computer Sciences and Information Technologies Department, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovskiy " KhAI", Ukraine; e-mail: [milanov1954@gmail.com](mailto:milanov1954@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6269-5985>.

**Лещенко Юлія Олександровна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп’ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;

**Yuliia Leshchenko** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Computer Sciences and Information Technologies Department, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovskiy "KhAI", Kharkiv, Ukraine; e-mail: [j.leshchenko@khai.edu](mailto:j.leshchenko@khai.edu); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9232-697X>.

**Єлізєва Аліна Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп’ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;

**Alina Yelizieva** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Computer Sciences and Information Technologies Department, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovskiy "KhAI", Kharkiv, Ukraine; e-mail: [a.elizeva@khai.edu](mailto:a.elizeva@khai.edu); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8228-9383>.

**Артиух Роман Володимирович** – кандидат технічних наук, директор, Державне підприємство "Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості", Харків, Україна;

**Roman Artiukh** – Candidate of Technical Sciences, Chief Executive Officer, State Enterprise "National Design & Research Institute of Aerospace Industries", Kharkiv, Ukraine; e-mail: [roman.artiuh77@gmail.com](mailto:roman.artiuh77@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5129-2221>.

## Розробка підсистеми інформаційної підтримки медичних лікувально-профілактических центрів

М. В. Міланов, Ю. О. Лещенко, А. В. Єлізєва, Р. В. Артиух

**Анотація.** Предметом дослідження статті є моделі і технології інформаційної підтримки медичного лікувально-діагностичного центру (МЛДЦ). Метою є зниження витрат і скорочення часу на організацію роботи медичного лікувально-діагностичного центру, шляхом застосування розроблених моделей та інформаційної системи. В роботі вирішуються наступні задачі: проведення аналітичного огляду існуючих інтегрованих медичних інформаційних систем; розробка моделі функціонування МЛДЦ; розробка програмного забезпечення для підсистеми інформаційної підтримки функціонування МЛДЦ, включаючи локальний формулляр лікарських препаратів. Для вирішення вказані задачі були використані методи теорії алгоритмів, автоматичних моделей, технології розробки програмних додатків. Отримані наступні результати. Проаналізовано існуючі медичні системи, які дозволяють автоматизувати бізнес-процеси лікувальних установ, виділені їх переваги та недоліки. Виділено функціональні підсистеми МЛДЦ, що автоматизують функції відділень медичного закладу. Для основних відділень МЛДЦ отримані автоматні моделі і вирази алгебри алгоритмів, що дозволяють представити в формалізованому вигляді процес функціонування медичного закладу. Сформована модель функціонування МЛДЦ на основі теорії автоматів і отримано вираз алгебри відносин, яке описує в формалізованій вигляді роботу медичного центру. Запропоновано структуру програмної системи інформаційної підтримки МЛДЦ. Розроблено навігаційна система web-ресурсу МЛДЦ. Розроблено діаграму прецедентів, що показує функціональні можливості основних категорій користувачів. Висновки: інформаційна підтримка МЛДЦ дозволить скоротити час на обслуговування пацієнтів за рахунок організованої послідовності дій співробітників відділів установи і скоротити ризик виникнення помилки при діагностиці за рахунок математико-статистичної обробки результатів проведення обстежень. Також розроблений формулляр лікарських препаратів, що дозволяє отримати пацієтові рекомендації по використанню ліків на основі введених параметрів пошуку.

**Ключові слова:** медичний лікувально-діагностичний центр; автоматні моделі; алгебра алгоритмів; система інформаційної підтримки; діаграма прецедентів; веб-ресурс; формулляр лікарських препаратів.

## Разработка подсистемы информационной поддержки медицинских лечебно-профилактических центров

М. В. Миланов, Ю. А. Лещенко, А. В. Елизева, Р. В. Артиух

**Аннотация.** Предметом исследования в статье являются модели и технологии информационной поддержки медицинского лечебно-диагностического центра (МЛДЦ). Целью является снижение затрат и сокращение времени на организацию медицинского лечебно-диагностического центра, путем применения разработанных моделей и информационной системы. В работе решаются следующие задачи: проведение аналитического обзора существующих интегрированных медицинских информационных систем; разработка модели функционирования МЛДЦ; разработка программного обеспечения для подсистемы информационной поддержки функционирования МЛДЦ, включая локальный формулляр лекарственных препаратов. Для решения указанных задач были использованы методы теории алгоритмов, автоматических моделей, технологии разработки программных приложений. Получены следующие результаты. Проанализированы существующие медицинские системы, которые позволяют автоматизировать бизнес-процессы лечебных учреждений, выделены их преимущества и недостатки. Выделены функциональные подсистемы МЛДЦ, автоматизирующие функции отделений медицинского учреждения. Для основных отделений МЛДЦ получены автоматные модели и выражения алгебры алгоритмов, позволяющие представить в формализованном виде процесс функционирования медицинского учреждения. Сформирована модель функционирования МЛДЦ на основе теории автоматов и получено выражение алгебры отношений, описывающее в формализованной виде работу медицинского центра. Предложена структура программной системы информационной поддержки МЛДЦ. Разработана навигационная система web-ресурса МЛДЦ. Разработана диаграмма прецедентов, показывающая функциональные возможности основных категорий пользователей. Выводы: информационная поддержка МЛДЦ позволит сократить время на обслуживание пациентов за счет организованной последовательности действий сотрудников отделов учреждения и сократить риск возникновения ошибки при диагностике за счет математико-статистической обработки результатов проведения обследований. Так же разработан формулляр лекарственных препаратов, позволяющий получить пациенту рекомендации по использованию лекарств на основе введенных параметров поиска.

**Ключевые слова:** медицинский лечебно-диагностический центр; автоматные модели; алгебра алгоритмов; система информационной поддержки; диаграмма прецедентов; веб-ресурс; формулляр лекарственных препаратов.

# Information systems research

УДК 510 (022)

doi: 10.20998/2522-9052.2020.1.12

В. Б. Кононов<sup>1</sup>, Л. М. Сакович<sup>2</sup>, Л. А. Коротченко<sup>3</sup><sup>1</sup>Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна<sup>2</sup>Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут” ім. І. Сікорського, Київ, Україна<sup>3</sup>Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна

## МЕТОД ЗАВДАННЯ ПОСЛІДОВНОСТІ ПЕРЕВІРКИ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ КОМПЛЕКСІВ ПРИ ТЕХНІЧНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ ЗА СТАНОМ

**Анотація.** В статті розглянуті особливості технічного обслуговування радіоелектронних комплексів великої розмірності (десятки і сотні тисяч елементів), що складаються з окремих підсистем, перевірку працездатності яких, технічне обслуговування та відновлення працездатності під час поточного ремонту можливо виконувати автономно. До таких об'єктів відносяться вузли і апаратні зв'язку, радіолокаційні станції, комплекси управління польотами та інші. В статті вперше запропоновано для підвищення ефективності технічного обслуговування за станом обґрунтовано встановлювати послідовність перевірки підсистем з комплексним врахуванням надійнісних, часових, вартісних показників. Крім того, запропоновано враховувати не тільки вартість засобів вимірювань та обладнання, але і їх метрологічну надійність. Залежно від умов використання за призначенням комплексів означенні показники можуть мати різний вплив на ефективність технічної експлуатації, що запропоновано враховувати введенням коефіцієнтів, значення яких в кожному окремому випадку отримують в результаті обробки матеріалів експертного опитування провідних фахівців в цій галузі. Усі перераховані фактори об'єднуються комплексним показником, значення якого розраховують для кожної підсистеми комплексу. Для нормування значення комплексного показника вводиться імовірність переважного вибору підсистем комплексу. Потім в результаті ранжування підсистем за убиванням значення цієї імовірності визначають послідовність перевірки окремих підсистем комплексу. В такому випадку крім послідовності перевірки можливо визначити мінімальну кількість перевіряємих підсистем для забезпечення необхідного значення імовірності оцінки технічного стану виробу в цілому. В статті приведено блок-схему алгоритму реалізації методу, що дозволяє використовувати ЕОМ для автоматизації процесу. Приведений приклад використання методу і кількісна оцінка ефективності його застосування. Використання запропонованого методу приведе до впорядкування практичної реалізації технічного обслуговування за станом і підвищення його ефективності в реальних умовах експлуатації радіоелектронних комплексів великої розмірності.

**Ключові слова:** радіоелектронні комплекси; технічне обслуговування за станом; імовірність переважного вибору.

### Вступ

**Постановка задачі.** При технічному обслуговування радіоелектронних комплексів великої розмірності (десятки і сотні тисяч елементів), що складаються з окремих підсистем, необхідно виконувати перевірку їх працездатності. Під час поточного ремонту це можливо виконувати автономно, використовуючи стратегію реалізації (виконання тільки необхідного переліку робіт). Згідно з якою профілактичні роботи на об'єкті проводяться в строк та в обсязі, який встановлюється в результаті прийняття рішення за даними поточного контролю.

В ході реалізації цієї стратегії виникає проблема: в якій послідовності виконувати перевірки підсистем комплексу для визначення його реального стану з мінімальними працевитратами та при обмеженому часі, що дуже важливо в польових умовах та при веденні бойових дій, що й підкреслює актуальність цієї науково-практичної задачі.

**Аналіз літератури.** Фундаментальні теоретичні дослідження питань оптимізації виконання ТО наведені в [1], які в подальшому отримали розвиток в роботах з підвищення експлуатаційної надійності виробів [2-4]. В [3] розглянуто особливості реалізації стратегії ТО за станом з контролем параметрів об'єкту або рівня його надійності. Також обґрунтовано критерій якості ТО. В [5] проведено аналіз осо-

бливості ТО систем з часовою надлишковістю і запропоновані заходи щодо підвищення їх надійності. В сучасних роботах з технічної діагностики радіоелектронних систем для визначення послідовності перевірок, яка веде до скорочення часу локалізації дефекту, досить широко використовують імовірність переважного вибору (ЙПВ) параметрів елемента [6, 7]:

$$u_i = \lambda_i / \left( t_i \cdot \sum_{j=1}^L \lambda_j / t_j \right),$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов елемента;  $t_i$  – час виконання перевірки;  $L$  – кількість елементів в об'єкті.

В [8] запропоновано для скорочення часу ТО виконувати перевірку параметрів виробу в порядку зменшення їх ЙПВ:

$$u_i = T_{TO} \cdot C_{TO} \cdot v_i \cdot P_i / (t_i \cdot C_i \cdot q_i),$$

де  $T_{TO}, C_{TO}$  – тривалість та вартість ТО згідно інструкції;  $v_i$  – значимість впливу параметру  $i$  на працездатність виробу;  $P_i$  – імовірність того, що виріб працездатний, якщо параметр  $i$  в нормі;  $t_i, C_i$  – тривалість та вартість вимірювання значення параметра  $i$ ;  $q_i$  – імовірність помилки виконавця в оцінці значення параметра  $i$ .

Крім того, досліджена залежність впливу метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) на час виконання ТО об'єктів різноманітного призначення [9], яку в попередніх роботах щодо оптимізації часу виконання ТО не враховано.

З проведеного аналізу слідує, що в дійсний час найбільш доцільно використовувати ТО складних радіоелектронних комплексів (РЕК) за станом, при цьому необхідно комплексно враховувати надійнісні, часові і вартісні показники перевірки окремих підсистем, а також метрологічну надійність ЗВТ. Для цього необхідно запропонувати кількісний показник оцінки ЙПВ підсистем виробу з метою їх подальшого ранжування в порядку зменшення цього показника.

**Мета статті:** формалізація процесу визначення послідовності перевірок підсистем комплексу з врахуванням їх надійності, часових та вартісних показників для мінімізації часу і працевитрат на встановлення реального технічного стану об'єкту.

### Основний матеріал

Технічне обслуговування (ТО) виробів - комплекс операції чи операція підтримання справності чи працездатності під час їх технічної експлуатації. ТО є складовою частиною експлуатації виробів та передбачає головним чином перевірку на відповідність параметрів технічним умовам. Під час експлуатації встановлюються види періодичного ТО: календарне, періодичне, комбіноване.

Календарне ТО проводиться у встановленні терміні з врахуванням умов експлуатації незалежно від напрацювання, при цьому легко планувати роботи але має місце необґрунтovanий розхід сил і засобів.

ТО за наробітком проводиться з урахування умов експлуатації після заданого наробітку виробу, при цьому має місце економія сил і засобів, але виникають труднощі при плануванні.

Комбіноване ТО містить у собі календарне (планування терміну виконання заздалегідь) і обслуговування за наробітком (виконання тільки необхідного переліку робіт). Стратегія його реалізації показана в літературі, нормативних і керівних документах ТО за станом [1-3].

Стратегія ТО за станом – це стратегія згідно з якою перелік та періодичність операцій ТО визначається фактичним технічним станом виробу в момент початку обслуговування. Вона ґрунтуються на використанні поточної інформації про дійсний стан об'єкта, яка отримується в процесі його експлуатації. При цій стратегії ТО всі види профілактичних робіт на об'єкті проводяться в строк та в обсязі, який

встановлюється в результаті прийняття рішення за даними поточного контролю [3].

При організації експлуатації виробів за станом виникають такі завдання [4, 7]:

вибір мінімально необхідної кількості параметрів, що контролюються, з достатньою інформацією про стан системи в будь-який момент часу;

обґрутування допустимих меж зміни параметрів, що контролюються;

розробка алгоритмів математичного забезпечення програм експлуатації виробів за станом;

створення технічних засобів контролю, діагностування, реєстрації і оперативної обробки інформації про стан параметрів виробу.

Розглядимо метод, що призначений для формування послідовності перевірки працездатності підсистем РЕК великої розмірності, які складаються з десятки і сотень тисяч електрорадіоелементів.

Сутність методу полягає в комплексному врахуванні показників надійності підсистем, вартості і часу перевірки їх працездатності, часу усунення несправності (або резервування підсистем), а також метрологічної надійності ЗВТ і вагових коефіцієнтів окремих показників, в цьому полягає наукова новизна і відмінність методу від відомих [1-5, 8].

Вихідні дані для реалізації методу отримують в результаті дослідної експлуатації РЕК.

Схема реалізації приведена на рис. 1, де також показаний математичний апарат, результат використання, обмеження і припущення.

РЕК складається із  $M$  взаємопов'язаних підсистем (клasterів), при цьому допускається автономна перевірка їх працездатності. Для інструментальної перевірки значень параметрів використовується штатний комплект ЗВТ, який в совокупності дозволяє оцінити працездатність всіх підсистем комплексу.

Послідовність перевірки підсистем повинна бути такою, що в першу чергу необхідно перевіряти найменш надійні підсистеми, які потребують мінімальних працевитрат на вимірювання параметрів і усунення несправностей (при наявності запасних

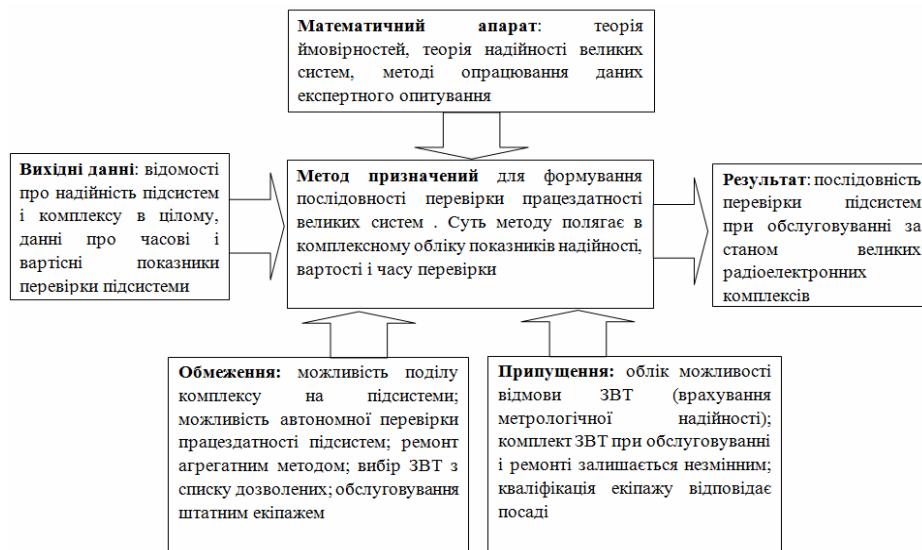


Рис. 1. Схема реалізації метода ранжування підсистем комплексу для перевірки працездатності з врахуванням надійності, часових та вартісних факторів

агрегатів можлива організація ремонту агрегатним методом) з мінімальною вартістю використовуваних ЗВТ і максимально можливим значенням їх метрологічної надійності. Крім того, в залежності від умов експлуатації і вимог користувачів послуг РЕК вводяться коефіцієнти, які враховують важливість складових комплексного показника кожної підсистеми. Результати обробки даних експертних опитувань фахівців в галузі технічної експлуатації складних систем показали, що найбільшу вагу має середній час усунення несправностей ( $k=0,4$ ), потім надійність підсистеми ( $\alpha=0,3$ ), вартість ЗВТ ( $d=0,2$ ), трудоемність перевірки ( $b=0,1$ ). Значення вагових коефіцієнтів розраховані за відомими методиками [10-12]. Надійність кожної підсистеми РЕК розраховують як

$$p_i = az_i / \sum_{j=1}^L z_j = az_i \cdot T,$$

де  $z_i$  – параметр потоку відмов підсистеми  $i$ ;  $T$  – напрацювання РЕК на відмову.

Якщо підсистеми РЕК виконані на однотипній елементній базі, то можливо використовувати вираз

$$p_i = a \cdot L_i / L; \quad l = \sum_{i=1}^M L_i$$

де  $L_i$  – кількість електрорадіоелементів підсистеми  $i$ , а  $L$  – їх загальна кількість в РЕК.

В такому випадку  $p_i/a$  - ймовірність відмови підсистеми  $i$  при відмові РЕК, тоді

$$(1/a) \cdot \sum_{i=1}^M p_i = 1$$

Відносна трудоемність (час) перевірок стану підсистем дорівнює

$$\tau_i = v \cdot t_i / \sum_{j=1}^M t_j; \quad (1/v) \cdot \sum_{i=1}^M \tau_i.$$

Відносна вартість ЗВТ для перевірки параметрів підсистеми  $i$  дорівнює

$$S_i = d \cdot C_i / \sum_{j=1}^M C_j; \quad (1/d) \cdot \sum_{i=1}^M S_i = 1,$$

де  $C_i$  – вартість ЗВТ для перевірки працездатності підсистеми  $i$ . Відносний час відновлення (заміни або резервування) підсистеми  $i$

$$f_i = k \cdot t_{vi} / \sum_{j=1}^M t_{vj}; \quad (1/k) \cdot \sum_{i=1}^M f_i;$$

де  $t_{vi}$  – час відновлення підсистеми  $i$ .

Для визначення послідовності перевірки підсистем РЕК при його ТО за станом пропонується для кожної підсистеми оцінити значення комплексного показника, що враховує всі розглянуті складові

$$u_i = p_i \cdot P_{si} / (\tau_i \cdot S_i \cdot f_i); \quad P_{si} = \prod_{j=1}^{m_i} P_{sj},$$

де  $P_{si}$  – метрологічна надійність ЗВТ для перевірки підсистеми  $i$ ;  $m_i$  – кількість ЗВТ для перевірки підсистеми  $i$ ;  $P_{sj}$  – метрологічна надійність окремих ЗВТ для перевірки підсистеми  $i$ . Значення  $u_i$  – безрозмірне і сильно відрізняється для різноманітних підсистем РЕК. Тому для ранжування підсистем доцільно використовувати їх ЙПВ перевірки

$$U_i = u_i / \left( \sum_{j=1}^M u_j \right); \quad \sum_{i=1}^M U_i.$$

Підсистеми РЕК перевіряють в послідовності убування значень  $U_i$ . При заданому значенні імовірності визначення технічного стану РЕК  $P_D$  підсистеми перевіряються згідно встановленого рангу до виконання умови

$$\sum_{i=1}^n u_i / \sum_{i=1}^M u_i \geq P_D; \quad 1 \leq n \leq M,$$

де  $n$  – кількість перевірених підсистем РЕК при ТО за станом. В такому випадку необхідний мінімальний час для перевірки РЕК

$$T_n = \sum_{i=1}^n t_i$$

а виграш у відносному часі в порівнянні з повною перевіркою підсистем РЕК складе

$$\eta = \left( \left( \sum_{i=1}^M t_i - T_n \right) / \sum_{i=1}^M t_i \right) \cdot 100\%.$$

Схема реалізації запропонованого методу ранжування підсистем РЕК при ТО за станом приведена на рис. 2.

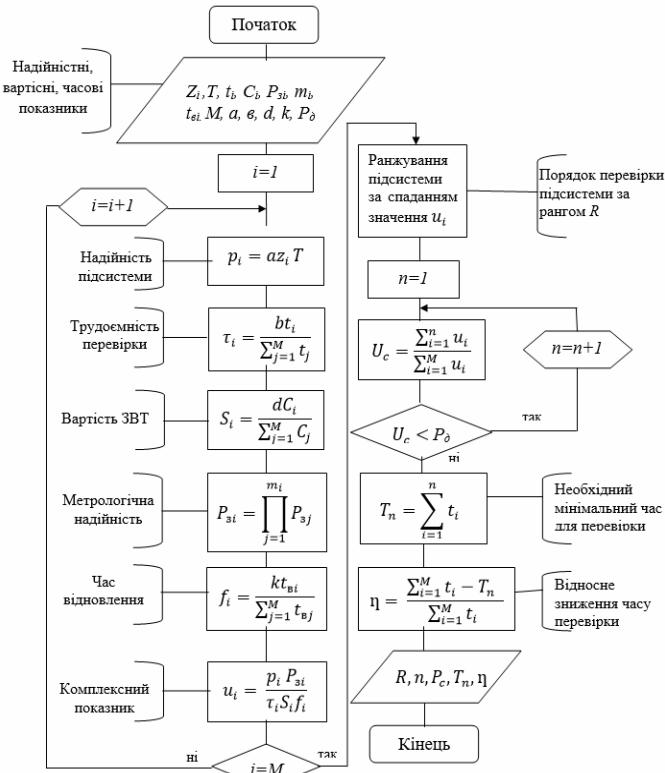


Рис. 2. Схема реалізації метода ранжування підсистем комплексу при обслуговуванні за станом

Розглянемо порядок використання методу на прикладі комплексу, приведеного в табл. 1, де показані вихідні дані і результати проміжних обчислень.

РЕК складається із  $M = 11$  підсистем,  $r_i$  – ранг підсистеми (порядковий номер перевірки). Наробіток на відмову РЕК  $T=10000$  год., параметр потоку відмов

$$z = 1 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

Таблиця 1 – Приклад ранжування підсистеми комплексу для обслуговування за станом

<i>i</i>	<i>Z<sub>i</sub></i>	<i>T<sub>i</sub></i>	<i>C<sub>i</sub></i>	<i>t<sub>ei</sub></i>	<i>P<sub>si</sub></i>	<i>p<sub>i</sub></i>	<i>τ<sub>i</sub></i>	<i>S<sub>i</sub></i>	<i>f<sub>i</sub></i>	<i>u<sub>i</sub></i>	<i>r<sub>i</sub></i>
1	$4 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	15 хв	2500 грн	10 хв	0,85	0,012	0,00811	0,02463	0,0221	1229,153	9
2	$4 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	15 хв	2000 грн	12 хв	0,88	0,012	0,00811	0,0197	0,02652	2492,317	8
3	$10 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	20 хв	1000 грн	15 хв	0,81	0,03	0,00108	0,00985	0,03315	68906,904	1
4	$10 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	20 хв	1200 грн	20 хв	0,79	0,03	0,00108	0,01182	0,0442	41992,7783	2
5	$6 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	10 хв	1800 грн	11 хв	0,91	0,018	0,0054	0,01773	0,0243	7038,938	6
6	$7 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	10 хв	2100 грн	8 хв	0,88	0,021	0,0054	0,02069	0,0177	9336,25	4
7	$6 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	10 хв	1200 грн	16 хв	0,93	0,018	0,0054	0,01182	0,0353	7410,793	5
8	$25 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	30 хв	1500 грн	25 хв	0,95	0,075	0,01621	0,01477	0,05525	5386,28	7
9	$4 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	15 хв	3500 грн	22 хв	0,89	0,012	0,00810	0,03448	0,04862	785,65	11
10	$4 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	15 хв	3000 грн	18 хв	0,87	0,012	0,00810	0,02955	0,03978	1095,11	10
11	$20 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	25 хв	500 грн	24 хв	0,88	0,06	0,01351	0,00492	0,05304	14954,924	3

Сумарний час перевірки всіх підсистем

$$\sum_{i=1}^{11} t_i = 20300 \text{ хв. ;}$$

загальна вартість використаних ЗВТ

$$\sum_{i=1}^{11} c_i = 20300 \text{ грн ;}$$

загальний час відновлення при відмові всіх підсистем

$$\sum_{i=1}^{11} t_{vi} .$$

Результати розрахунку ЙПВ підсистем РЕК наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Оцінка ймовірності пріоритетного вибору і порядку (рангу) перевірки підсистем комплексу

Номер підсистеми	Комплексний показник	Ймовірність пріоритетного вибору	Ранг підсистем
1	1229	0,00765	9
2	2492	0,01551	8
3	68907	0,42899	1
4	41993	0,26144	2
5	7039	0,04401	6
6	9336	0,05812	4
7	7411	0,04614	5
8	5386	0,03350	7
9	786	0,004899	11
10	1095	0,00682	10
11	14955	0,093106	3

На рис. 3 показана ймовірність оцінки технічного стану РЕК при перевірці підсистем за порядковими номерами (1) і після їх ранжування (2). При заданій ймовірності  $P_D = 0,9$ . Отримуємо, що в першому випадку необхідно перевірити 9 підсистем, а в другому всього 6, тобто виграш складає 33%.

Так як в першу чергу перевіряються найменш надійні підсистеми РЕК то зрозуміло, що ймовірність безвідмовної роботи (рис. 4) і напрацювання на відмову (рис. 5) перевірених підсистем буде менше, ніж при перевірці за їх номерами.

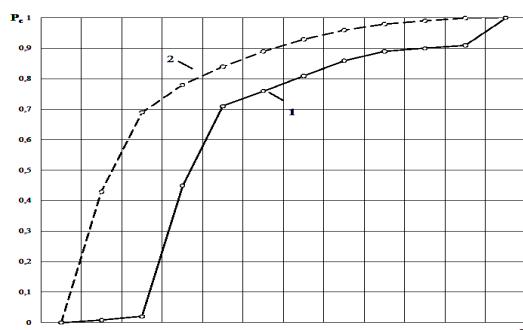


Рис. 3. Ймовірність оцінки технічного стану РЕК при перевірці підсистем за порядковими номерами (1) і після їх ранжування (2)

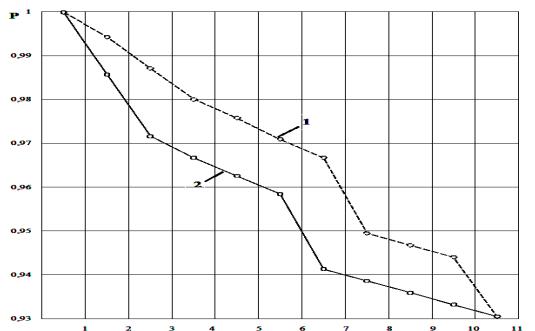


Рис. 4. Оцінка надійності перевіряємого числа підсистем за місяць роботи

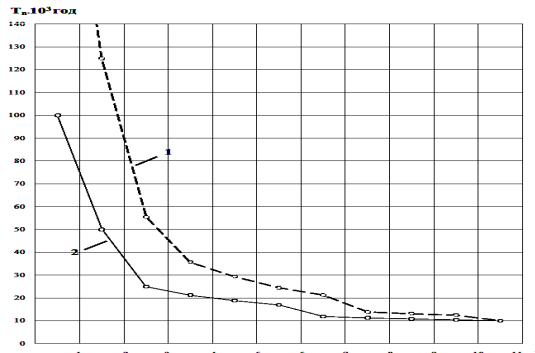


Рис. 5. Напрацювання на відмову за місяць перевірених підсистем

Наприклад, при заданій ймовірності безвідмової робота за місяць ( $t=720$  год.)

$$P = \exp\left(-t \cdot \sum_{i=1}^n Z_i\right); \quad 1 \leq n \leq M$$

рівною 0,95 отримуємо, що при реалізації запропонованого методу достатньо перевірити 6 підсистем, а при перевірці за номерами необхідна перевірка 7 підсистем, тобто виграш – 14%.

Якщо задати напрацювання перевірених підсистем  $T=20000$  год, то використовуючи запропонований метод досить перевірити 5 підсистем, а за номерами 7. Виграш за рахунок скорочення числа перевірених підсистем – 28%.

## Висновки

1. В статті вперше запропоновано метод, який заснований на комплексному використанні надійнісних, часових і вартісних показників при оцінці ймовірності переважного вибору для перевірки за станом.

2. На відміну від відомих методів також враховується метрологічна надійність засобів вимірювальної техніки і результати експертного опитування фахівців по визначенням вагових коефіцієнтів складових комплексного показника при ранжуванні підсистем перевіряемого виробу. Також відрізняється від відомих доступністю вихідних даних.

3. Реалізація методу формалізована у вигляді схеми яку можливо використовувати для розробки програмного забезпечення ЕОМ.

4. Приведений приклад практичного використання методу і показано, що ефект від його використання складає від 14% до 33% в залежності від показників, які оцінюються.

5. Подальші дослідження доцільно направити на розгляд можливості використання запропонованої ймовірності переважного вибору для розробки оптимальних алгоритмів діагностування РЕК із структурно пов'язаними підсистемами.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Барзилович Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. Москва. Высшая школа, 1982. 231 с.
- Острайковский В. А. Теория надежности. Москва. Высшая школа, 2003. 463 с.
- Василишин В. И., Женжера С. В., Чечуй С. В., Глушко А. П. Основи теорії надійності та експлуатації радіоелектронних систем. Харків : ХНУПС, 2018. 268 с.
- Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2006. 704 с.
- Креденцер Б. П. Техническое обслуживание и надежность системы с временным резервированием: монография. Киев : Феникс, 2016. 384 с.
- Ксенз С. П. Борьба с диагностическими ошибками при техническом обслуживании и ремонте систем управления связи и навигации. Санкт-Петербург : ВАС, 2006. 240 с.
- Ryzhov Ye. V, Sacovych L. N, Vankevych Petro. Optimization of requirements for measuring at metrological service of communication tools. *Measurement, Journal of International Measurement Confederation*. 2018. Vol. 123. P. 19-25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.055>.
- Сакович Л. Н., Бобро Р. А. Выбор параметров и последовательности их измерения при техническом обслуживании средств связи по состоянию. *Зв'язок*. 2006. № 3. С. 54-56.
- Сакович Л. М., Криховецький Г. Я., Небесна Я. Е. Оцінка впливу метрологічної надійності засобів вимірювань на час виконання технічного обслуговування засобів спеціального зв'язку. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. Вип. 2 (48). С.164-166. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.2.164>.
- Орлов А. И. Экспертные оценки. Москва. Наука, 2002. 150 с.
- Коваленко И. И., Драган С. В., Рыхальский М. А. Экспертные оценки в управлении информационными проектами. Николаев. НУК, 2007. 168 с.
- Шмерлин Д. С., Дубровский С. А. Экспертные оценки: методы и применения. Москва. ЭКСПО, 2001. 228 с.

## REFERENCES

- Barzilovich, E.Y. (1982), *Maintenance models for complex systems*, High School, Moscow, 231 p.
- Ostreykovsky, V.A. (2003), *Reliability theory*, Higher School, Moscow, 463 p.
- Vasilishin, V.I., Zhenzhera, S.V., Chechui, S.V. and Glushko, A.P. (2018), *Fundamentals of the theory of reliability and operation of radioelectronic systems*, KhNUPS, Kharkiv, 268 p.
- Polovko, A.M. and Gurov, S.V. (2006), *Fundamentals of reliability theory*, BHC-Petersburg, St. Petersburg, 704 p.
- Kredentzer, B. P. (2016), *Maintenance and reliability of the system with temporary redundancy*, Phoenix, Kiev, 384 p.
- Ksenz, S.P. (2006), *Combat diagnostic errors in the maintenance and repair of communication and navigation control systems*, YOU, St. Petersburg, 240 p.
- Ryzhov, Ye.V., Sacovych, L.N. and Vankevych, Petro (2018), “Optimization of requirements for measuring at metrological service of communication tools”, *Measurement, Journal of International Measurement Confederation*. Vol. 123, pp. 19-25, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.055>.
- Sakovich, L.M. and Bobro, R.A. (2006), “Choice of parameters and sequence of their measurement during maintenance of communication means by state”, *Communication*, No. 3, pp. 54-56.
- Sakovich, L.M., Krykhovetsky, G.Y. and Heavenly, Y.E. (2018), “Assessment of the impact of metrological reliability of the measuring instruments on the time of maintenance of the special communication facilities”, *Management, navigation and communication systems*, No. 2 (48), pp. 164-166, DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.2.164>.
- Orlov, A.I. (2002), *Expert assessments*, Science, Moscow, 150 p.
- Kovalenko II., Dragan, S.V. and Ryhalsky, M.A. (2007), *Expert assessments in information project management*, NUS, 168 p.
- Shmerlin, D.S. and Dubrovsky, S.A. (2001), *Expert assessments: methods and applications*, EXPO, Moscow, 228 p.

Надійшла (received) 20.11.2019  
Прийнята до друку (accepted for publication) 05.02.2020

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Кононов Володимир Борисович** – доктор технічних наук професор, начальник кафедри метрології та стандартизації, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;

**Vladimir Kononov** – Doctor of Technical Science, Professor, Chief of the Department of metrology and standardization, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [aveprofessor@gmail.com](mailto:aveprofessor@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9946-5056>.

**Сакович Лев Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "КПІ імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна;

**Lev Sakovich** – candidate of Technical Science, associate professor, associate professor of the Department of Institute of special communication and information security of National Technical University of Ukraine "KPI", Kyiv, Ukraine;

e-mail: [lev@sakovich.com.ua](mailto:lev@sakovich.com.ua); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8257-7086>.

**Коротченко Людмила Анатоліївна** – ад'юнктка, Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут. Київ, Україна;

**Liudmyla Korotchenko** – Graduated, a Heroic Kryt Military Institute of telecommunication, Kyiv, Ukraine;

e-mail: [lev@sakovich.com.ua](mailto:lev@sakovich.com.ua); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8257-7086>.

**Метод задания последовательности проверки радиоэлектронных комплексов  
при техническом обслуживании по состоянию**

Б. В. Кононов, Л. М. Сакович, Л. А. Коротченко

**Аннотация.** В статье рассмотрены особенности технического обслуживания радиоэлектронных комплексов большой размерности (десятки и сотни тысяч элементов), состоящие из отдельных подсистем, проверку работоспособности которых, техническое обслуживание и восстановление работоспособности во время текущего ремонта возможно выполнять автономно. К таким объектам относятся узлы и аппаратные связи, радиолокационные станции, комплексы управления полетами и другие. В статье впервые предложено для повышения эффективности технического обслуживания по состоянию устанавливать последовательность проверки подсистем с комплексным учетом надежностных, временных и стоимостных показателей. Кроме того, предложено учитывать не только стоимость средств измерительной техники, но и их метрологическую надежность. В зависимости от условий использования по назначению комплексов указанные показатели могут иметь различное влияние на эффективность технической эксплуатации, что предложено учитывать введением коэффициентов, значение которых в каждом конкретном случае получают в результате обработки материалов экспертного опроса ведущих специалистов в этой области. Все перечисленные факторы объединяются комплексным показателем, значение которого рассчитывают для каждой подсистемы комплекса. Для нормирования значение комплексного показателя вводится вероятность предпочтительного выбора подсистем комплекса. Затем в результате ранжирования подсистем по уменьшению значения этой вероятности определяют последовательность проверки отдельных подсистем комплекса. В такие случаи кроме последовательности проверки возможно определить минимальное количество проверяемых подсистем для обеспечения необходимого значения вероятности оценки технического состояния изделия в целом. В статье приведена блок-схема алгоритма реализации метода, позволяющая использовать ЭВМ для автоматизации процесса. Приведен пример использования метода и количественная оценка эффективности его применения. Использование предложенного метода приведет до упорядочения практической реализации технического обслуживания по состоянию и повышения его эффективности в реальных условиях эксплуатации радиоэлектронных комплексов большой размерности.

**Ключевые слова:** радиоэлектронные комплексы; техническое обслуживание по состоянию; вероятность предпочтительного выбора.

**The method of specifying the sequence of radio-electronic complexes verification  
during maintenance as of state**

V. Kononov, L. Sakovich, L. Korotchenko

**Abstract.** The article considers the features of maintenance of large-scale radio-electronic complexes (tens and hundreds of thousands of elements), consisting of separate subsystems, the verification of which can be performed autonomously during maintenance and restoration during the current repair. These facilities include nodes and communications, radars, flight management systems and more. For the first time, the article proposes to establish the sequence of subsystem verification with a comprehensive consideration of reliable, time, and cost indicators to improve the efficiency of maintenance. In addition, it is proposed to take into account not only the cost of measuring equipment, but also their metrological reliability. Depending on the conditions of use for the purpose of the complexes, the determined indicators may have different effects on the efficiency of technical operation, which is offered to take into account the introduction of coefficients, whose values are obtained in each case as a result of processing expert examination materials of leading experts in this field. All these factors are combined by a complex indicator, the values of which are calculated for each subsystem of the complex. To normalize the value of a complex indicator, the probability of preference for subsystems of the complex is introduced. Then, as a result of ranking subsystems by killing, the values of this probability determine the sequence of verification of individual subsystems of the complex. In this case, in addition to the verification sequence, it is possible to determine the minimum number of subsystems to be tested to provide the necessary probability of estimating the technical condition of the product as a whole. The block diagram of the algorithm of the method realization that allows to use the computer for process automation is presented in the article. An example of using the method and quantifying the effectiveness of its application are given. The use of the proposed method will streamline the practical implementation of maintenance on the condition and increase its efficiency in real conditions of operation of large-scale radioelectronic complexes.

**Keywords:** radioelectronic complexes, state of the art maintenance; likelihood of preference.

O. Kuznetsov<sup>1</sup>, O. Kolomietsev<sup>2</sup>, A. Kiyko<sup>1</sup>, A. Kovalchuk<sup>1</sup>, K. Sadovy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup> National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

## ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF PROVIDING OF NECESSARY EXACTNESS OF MEASURING OF SPATIAL COORDINATES OF AIR OBJECTS IN THE RADIO-LOCATION STATION OF ACCOMPANIMENT WITH PHASE AERIAL BY A GRATE

**Abstract.** Modern Phased-Array Antenna (PAA) radars are an effective mean of aerial reconnaissance and provide radar information on aerial objects in a complex environment. **The subject** of the article is the influence of the inhomogeneities of the troposphere and the earth's surface on the decrease in the accuracy of measurement of angular coordinates and altitude of air objects in radars with PAA. **The purpose** of the article is to numerically estimate the possible values of the root mean square error of measuring the angular coordinates and the height of air objects due to the influence of fluctuations of the phase edge of the radar wave. **Task:** analysis of possible mechanisms of origin and statistical characteristics of correlated phase fluctuations of a radio signal for a model of a signal with random amplitude and initial phase. **Methods used:** methods of probability theory and mathematical statistics. **The following results were obtained.** The estimation technique is developed and possible values of the mean-square errors of measurement of angular coordinates and altitude of air objects are obtained, which are caused by the influence of radar signal phase wave front fluctuations for the three-coordinate PAA radar of centimeter range. The above calculation method allows to carry out the numerical estimation of errors of measurement of angular coordinates and object height. **Conclusions.** This technique can be practically used in assessing the effect of real conditions of propagation and reflection of radar signal on the reduction of the capabilities of modern radars with PAA to perform tasks on purpose.

**Keywords:** phased array antenna; angular coordinates; height of air object; phase fluctuations; troposphere, earth surface; radio-location supervision.

### Introduction

**Formulation of the Problem in General.** The use of high technology in radar technology stimulates the search for ways to develop radar systems. One of the promising directions of such development is the creation of multifunctional and multimode radars of the tracking type [1, 2].

A fundamental feature of the tracking radar type is that this radar class is designed to support airborne objects. This is complicated by the increasing speed and altitude of airborne objects and the presence of a wide range of interfering radiation. Such radar systems provide for the possibility of adaptation to a specific air environment, choice of the optimal mode of operation (type of sounding signal, antenna beam scanning method, signal processing method, etc.).

Multifunctional radars need to solve a number of real-time tasks: space inspection, detection of aerial objects, automated selection of aerial objects for tracking, switching to coordinate tracking, formation and maintenance of trajectories in difficult air and interference conditions. Such radars should use promising technical solutions: the use of PAA with electronically controlled beam headlamps, coherent signal processing using digital filtering, the use of sophisticated sounding signals.

Tracking radars function both according to external target data, such as from radar detection and offline search mode.

The tracking radar has requirements such as completeness of information about objects, speed of viewing space, high accuracy, necessity of accompaniment of several objects at the same time.

These requirements determine the use of phased array antennas in these radars.

The use of PAA in the modern tracking radar allows to obtain complete coordinate information on many objects simultaneously with its automatic issuance to the consumer.

In many PAA radars, angular measurements are provided by the phase method, that is, phase shifts of received signals in the PAA elements carry information about the spatial position of the target.

The real conditions for the propagation of a radar signal are the source of fluctuations in the phase edge of a radar signal in the PAA elements. Fluctuation data disrupts its spatial coherence and reduces the accuracy of measuring of the angular coordinates and target height. Thus, estimation of the possible decrease in the accuracy of measuring the spatial coordinates in the radar with PAA allows to determine the degree of limitation of the quality of tracking of radar objects.

**Analysis of Recent Research and Publications.** Statistical characteristics of phase fluctuations arising from the influence of the Earth's atmosphere are analyzed in [2-6].

Mechanism of the occurrence of the angular noise of the target due to the wandering of its radar center and consequent phase fluctuations of the radar signal are described in [2, 7, 8].

As a result of the impact on the radar of the terrestrial or marine surface, an interference phenomenon occurs, the features of which were considered in [4, 7, 9, 10].

Issues of organization of spatial measurements in the conditions of the influence of phase fluctuations in the propagation of radio waves on the coastal direction

are considered in [11]. Assumptions about statistical characteristics of the reflected signals are confirmed by the results of the experimental study, which are covered in [12].

Regarding the measurement of the angular coordinates of the target in the radar with PAA in the conditions of fluctuations of the phase edge of the wave of the received signal, [13] offers a method for estimating the error of measuring the angle of arrival of a signal for different laws of change of the correlation coefficient of phase fluctuations. The relevant evaluation results are given in [14].

Numerical analysis of the influence of radar wave front fluctuations on the accuracy of measuring the angular coordinates and the target height in a tracking radar with PAA by means of the indicated technique represents the practical benefit.

**The purpose of the article** is to numerically estimate the possible values of the root mean square error of measuring of the angular coordinates and the height of air objects caused by the influence of fluctuations of the phase edge of the radar wave.

### Basic material

In radars with PAA, determination of the angular coordinates of the targets is based on the measurement of the angular position of the reflected edge of the reflected electromagnetic wave relative to the receiving aperture.

Most often, the phase-based method of measuring the angular coordinates is used in the PAA radar. Information on the angular coordinate is contained in the phase difference of the oscillations of adjacent receiving channels (elements) [1, 2]. That is, the phase method of measuring the angular coordinates lies in the determination of the direction of arrival of the electromagnetic wave front relative to the initial (reference) direction.

The angular coordinate of the target  $\theta_c$  in relation to the equal-phase direction is determined according to the expression:

$$\theta_c = \arcsin \frac{\psi_0 \lambda}{2 \pi d}, \quad (1)$$

where  $\psi_0$  – phase onset between adjacent receiving channels;  $\lambda$  – radar wavelength;  $d$  – distance between the adjacent elements of PAA.

In this case, the wave front reflected from the aerial object in the distance  $r \gg d$  is considered as flat.

By installing the appropriate phase shifts in the PAA reception channels for each expected value of the signal arrival angle from a predetermined range, it is possible to move (scan) the antenna pattern in space. In this case, the maximum of the amplitude of the signal at the output of the PAA is provided in case of arrival of electromagnetic wave from the direction of the target.

Radar sounding signals propagate in the Earth's atmosphere. Turbulence of the atmosphere leads to fluctuations in its refractive index. In the troposphere, for frequencies not exceeding 20 GHz, the refractive index is determined by the expression [5]

$$n = 1 + \frac{77,6 \cdot 10^{-4}}{T} \left( P + \frac{4810 \rho}{T} \right), \quad (2)$$

where  $T$  – absolute temperature;  $P$  – atmosphere pressure;  $\rho$  – absolute humidity.

According to (2), fluctuations of pressure, temperature and humidity in the troposphere lead to fluctuations in the refractive index and, as a result, fluctuations in the phase of the radio signal propagating through the ball and turbulent tropospheric inhomogeneities. Fluctuations of the refractive index of the troposphere are locally homogeneous, isotropic, random field in the interval of spatial scales from millimeters to hundreds of meters.

According to [3], the variance value of the refractive index fluctuations is within:

$$\sigma_n^2 = 0,25 \cdot 10^{-12} \dots 0,25 \cdot 10^{-10}.$$

Thus, when the signal is propagated in the atmosphere, it can be modulated by a random law, which can be interpreted as a modulating (multiplicative) interference.

In case of a large number of statistically independent inhomogeneities in the region essential for the propagation of radio waves, then, by the central limit theorem, phase and level fluctuations are distributed according to the normal law.

With the assumption of geometric optics, the Gaussian form of the correlation coefficient of the refractive index of the medium, according to [2], expression for the dispersion  $\sigma_\phi^2$  of phase fluctuations of the signal passing the troposphere has the following form:

$$\sigma_\phi^2 = 0,1 \cdot C_\varepsilon^2 k^2 z L_0^{5/3}, \quad (3)$$

where  $C_\varepsilon^2 = 2 \sigma_\varepsilon^2 / L_0^{2/3}$  – structural constant;  $\sigma_\varepsilon^2$  – dispersion of fluctuations of the dielectric constant of the troposphere;  $L_0$  – external scale of the troposphere turbulence;  $k = 2\pi/\lambda$  – wave number;  $z$  – path of the wave in the troposphere.

If the whole line is in a randomly inhomogeneous medium, then the expression for the radius of correlation of phase fluctuations is determined as follows:

$$\rho_\phi = \left( 11 \cdot C_\varepsilon^2 z / \lambda^2 \right)^{-3/5}. \quad (4)$$

For the troposphere with an outer scale  $L_0$  close to 1 km, the square value of the structural constant varies from  $10^{-13} \text{ cm}^{2/3}$  in the lower layers to  $10^{-18} \text{ cm}^{2/3}$  in the upper layers and practically does not depend on frequency [2].

Numerical values of the dispersion of phase fluctuations are determined by the external scale and intensity of inhomogeneities  $L_0$ .

As shown in [2], for the non-excited troposphere at the external scale of the inhomogeneity  $L_0 \approx 1$  km, for the route  $z \approx 100$  km, and the wavelength  $\lambda = 1$  cm, the

standard deviation of the phase fluctuations of the signal is  $\sigma_\phi \approx 2\pi$ . Given the dependences on the wavelength  $\sigma_\phi \equiv \lambda^{-1}$ , it follows that phase fluctuations in the troposphere are significant for centimeter and shorter waves. It is in the centimeter range of wavelengths that the radar of the tracking type usually works.

Provided that the entire track is in a randomly inhomogeneous medium, the radius of coherence in the troposphere for the given data is  $\rho \approx 40$  m, while the regularity is  $\rho \equiv \lambda^{6/5}$ .

For tracking radar the detection range of targets with an effective dispersion area of  $1 \text{ m}^2$  can be 100...200 km with conditional probabilities of correct detection  $D = 0,9$  and false alarm  $F = 10^{-6}$  [1].

Magnitudes of the dispersion and correlation radius of phase fluctuations calculated according to expressions (3) and (4) for  $C_e^2 = 10^{-13}$ ,  $\lambda = 5$  cm,  $L_0 = 1$  km and different values of  $z=50, 100, 150$  and 200 km are shown in Table 1.

*Table 1 – Magnitudes of the dispersion and correlation radius of phase fluctuations*

$z$ , km	50	100	150	200
$\sigma_\phi^2$ , rad $^2$	17	34	51	68
$\rho_\phi$ , m	98,8	65,2	51,1	23,3

We consider a case when the law of distribution of phase fluctuations is close to normal and the correlation function is approximated by exponential dependence.

Decrease in the quality of angular measurements is significantly affected by the Earth's surface. The real reflection surface is not perfectly flat. The degree of "equality" is determined by the ratio between the wavelength and the geometric parameters of inequalities.

The propagation of the propagating electromagnetic wave and its reflection from the Earth's surface give rise to changes in the signal parameters, the nature of which is difficult to predict.

Field at the point of reception is formed by the interference of a large number of scattered waves resulting in chaotic changes in the amplitude and phase of the signal. Fluctuations of these parameters cause additional components of the measurement of the angular coordinates of the target. Errors of multipath propagation are particularly significant at low target heights.

In case of multipath propagation of the radar signal [4, 7], dispersion of phase fluctuations can reach more than a dozen rad $^2$  for centimeter waves, and the radius of correlation of phase fluctuations can be at  $\rho_\phi = (140 \dots 160)\lambda$  at  $z=45 \dots 50$  km.

In [4], errors of measurement of the angular coordinates of the target obtained in radial scanning radar and beamwidth of the antenna operating at a

frequency of 2797 MHz at an antenna height of about 45 m are presented. The maximum values of the error of measurement of the angle of the place of the target reach  $2 \dots 2,5^\circ$ .

Azimuth measurement errors can be tenths of a degree and are partly caused by true azimuth measurement errors at small angles of space, which depend on surface irregularities, and partly by cross-links in the radar, since it is impossible to completely eliminate the relationship between the azimuth detection schemes and seats.

In [13] it is stated that when receiving a coherent signal with a randomly distributed initial phase and a random Rayleigh amplitude against the background of internal noise, dispersion of the angular coordinate estimation error for PAA with uniform amplitude distribution is described by the expression:

$$\frac{1}{\sigma_\theta^2} = \frac{q^2(4m^2 - 1)}{12} \left( \frac{2\pi d}{\lambda} \right)^2, \quad (5)$$

where  $\theta$  – expected angle of arrival of a signal calculated from the normal to the aperture of PAA;

$q^2$  – signal to noise ratio in power;

$m = n/2$  – number of pairs of symmetric PAA (counting is from the center of the PAA);

$n$  – number of PAA elements.

It is assumed that phase fluctuations are distributed according to the normal law with zero mean and variance  $\sigma_\phi^2$ .

The coefficient of inter-channel correlation of phase fluctuations of signals can be described by the exponential dependence:

$$K(d) = e^{-d/\rho}, \quad (6)$$

where  $\rho$  – radius of correlation of phase fluctuations for adjacent PAA elements.

As shown in [13], for the coefficient of interchannel correlation of phase fluctuations (6), the corresponding expression for the variance of the fluctuation component of the error of measuring the angle of arrival of the signal is:

$$\begin{aligned} \sigma_{\theta,fl}^2 &= \frac{9\sigma_\phi^2\lambda^2}{2\pi^2 d^2 m^2 (4m^2 - 1)^2} \times \\ &\times \left[ \sum_{j=1}^m (2j-1)^2 \cdot \left( 1 - \exp\left(-\frac{d}{\rho}(2j-1)\right) \right) \right] + \\ &+ 2 \sum_{l=1}^{m-j} \exp\left(-l\frac{d}{\rho}\right) \cdot \sum_{j=1}^{m-l} \left( \left( 1 - \exp\left(-\frac{d}{\rho}(2j-1)\right) \right) \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

Expression (7) makes it possible to numerically evaluate the effect of phase fluctuations of the signal arising from atmospheric heterogeneities and the Earth's surface on the decrease in the accuracy of measuring the angular coordinates of a target in a radar with PAA [14].

Peculiarity of radar tracking is the presence in their composition of automation systems in the distance, speed, azimuth and angle of the place. Depending on the radar mode (search, tracking, query, etc.), appearance or parameters of the signal may change.

In a tracking radar, in addition to tracers, non-tracking measuring devices can be used. This is necessary to ensure targeting of tracking systems in target or manual guidance modes.

Thus, the modern airborne tracking radar is a multifunctional radar, which is a three-coordinate, centimeter-centimeter-coil pulsed radar with PAA.

This type of antenna system is able to realize a quick and high-precision change in both the spatial position of the radiation pattern and the appearance of this diagram.

The phased antenna array forms a radiation pattern that has a beam width of  $0,7 \dots 0,9^\circ$  [1].

Tracking radars can operate autonomously or externally and provide automatic detection, capture and tracking of multiple aerodynamic objects.

In this case, to realize space inspection at the angle of the place, the beam can be sequentially moved electronically with the measurement of the angle of the target by the phase method.

In this case, the principle of measuring the angle of location is based on the determination of the vertical inclination of the wave created by the signal reflected from the target.

It is believed that an electromagnetic wave reflected from the target at an angle of location  $\varepsilon$  is incident on the vertical antenna array with the same pitch of the elements. As the target is at a distance far exceeding the size of the antenna system, the wave front is considered flat.

Signals in different receiving channels of the PAA will have phase shifts  $\psi_i$  relative to the first channel, the values of which allow to determine the angle of the target location:

$$\varepsilon_t = \arcsin \frac{\psi_i \lambda}{2 \pi (i-1) d}. \quad (8)$$

After determining the angle of the target, the height of the target can be calculated.

The target height is calculated according to the Earth's curvature and normal tropospheric refraction according to the expression:

$$H_t = D_t \sin \varepsilon_t + \frac{D_t^2}{2 R_{eE}} + h_a, \quad (9)$$

where  $D_t$  – target distance;  $R_{eE}$  – equivalent radius of the Earth;  $h_a$  – height of antenna installation.

The root mean square error of the measurement of the angle of the target  $\sigma_\varepsilon$  can be converted to the mean square error of the height measurement  $\sigma_H$  using expression (9) [15].

Values of the mean square error measurement of the height of the air object, depending on the variance of random phase distortions of the signal  $\sigma_\phi^2$  at an antenna

height of 8 m obtained for ranges of 50 km, 100 km, 150 and 200 km are given in Table 2.

*Table 2 – Values of the mean square error measurement of the height of the air object*

$\sigma_\phi^2$ , rad <sup>2</sup>	17	34	51	68
$\rho$ , m	98,8	65,2	51,1	23,3
$\sigma_{H0}$ , m	8,9	9,8	10,6	11,5
$\sigma_{H1}$ , m	169,7	568,4	1167,3	2617,1

Results are obtained for the following input data:  $m=50$ ;  $\lambda = 5$  cm;  $q^2 = 100$ ;  $d = \lambda/2$ ;  $h_a = 8$  m.;  $\sigma_\phi^2 = 17, 34, 51, 68$  rad<sup>2</sup>; the phase fluctuation correlation radius assumes appropriate values  $\rho = 98,8, 65,2, 51,1, 23,3$  m.

In the Table 2, the values of the mean square error measuring the height of the target correspond to the following cases:  $\sigma_{H0}$  – no influence of phase fluctuations (due to the influence of the internal noise of the receiving device only);  $\sigma_{H1}$  – influence of phase fluctuations with the exponential form of the inter-channel correlation coefficient.

As can be seen, with the increase in the variance of random phase distortions of the mean square error, height measurement increases by tens to hundreds of times compared to the effect of the internal noise of the receiver only.

That is, at distances of 50... 200 km of the mean square error, measuring the height of the target  $\sigma_H$  can reach values from hundreds of meters to units of kilometers while changing the correlation of phase fluctuations according to the exponential law.

The values of the mean square error of measuring the angular coordinate of the radar object in a vertical or horizontal plane calculated from normal to the aperture of the PAA for the above conditions are given in Table 3.

*Table 3 – The values of the mean square error of measuring the angular coordinate of the radar object in a vertical or horizontal plane*

$\sigma_\phi^2$ , rad <sup>2</sup>	17	34	51	68
$\rho$ , m	98,8	65,2	51,1	23,3
$\sigma_{\theta,fl}^\circ$	0,18	0,32	0,44	0,75
$\sigma_{\theta,fl}/\sigma_\theta$	3	5,3	7,3	12,5

This Table shows the values of the mean square error measurement of the angular coordinate  $\sigma_{\theta,fl}$  due to the influence of phase fluctuations of the signal in the

elements of the PAA only, and the ratio  $\sigma_{\theta,fl}/\sigma_\theta$  of this mean square error to the value of the mean square error measurement of the angular coordinate  $\sigma_\theta \approx 0,06^\circ$ , subject to the influence of the internal noise of the receiving radar device only.

It follows from the obtained results that in tracking radar the fluctuation error of measuring the angular coordinates of the objects of radar surveillance can several times exceed the corresponding potential measurement error.

Thus, the lack of consideration of phase fluctuations of the signal in its spatial processing is the cause of significant errors in the measurement of the angular coordinates and the height of the target in the radar with the PAA. In this case, the spatial coordinate

estimates are not suitable for use as targets to provide consistent tracking of airborne objects.

## Conclusions and directions of further research

The above calculation method allows to carry out numerical estimation of errors of measurement of angular coordinates and target height. This technique can be practically used in assessing the impact of real conditions of propagation and reflection of radar signal on the reduction of the capabilities of modern radars with PAA to perform tasks on purpose.

**Areas of further research are:** improvement of modern PAA with signal processing in the direction of optimization of the existing spatial measurement algorithms [16-22].

## REFERENCES

1. Sedyshev, Yu.M. (2010), *Radioelectronic systems*, Kharkiv, 418 p.
2. Shirman, Ya.D. (1999), *Radioelectronic systems*, Z.A.O. „MAKVISC”, Moscow, 828 p.
3. Shifrin, Ya.S. (1970), *Statistical antenna theory issues*, Sov. radio, Moscow, 383 p.
4. Krasyuk, N.P. (1988), *The influence of the troposphere and underlying surface on the radar's work*, Radio and communication, Moscow, 223 p.
5. Dolukhanov, M.P. (1971), *Fluctuation processes in the propagation of radio waves*, Communication, Moscow, 183 p.
6. Petrushenko, M.M. (2009), “Features of the use of radio systems of the Air Force in unstable hydrometeorological conditions and natural meteorological phenomena”, *Navigation and communication control systems*, No. 2 (10), pp. 54-57.
7. Skolnik, M. (1976), *Radar Reference Guide*, Sov. radio, Moscow, 456 p.
8. Ostrovityanov, R.V. and Basalov, F.A. (1982), *The statistical theory of radar extended targets*, Radio and communication, Moscow, 232 p.
9. Fainberg, E.L. (1999), *Propagation of radio waves along earth surface*, Science, Moscow, 496 p.
10. Kotov, A.F. (1992), “The influence of reflections from the underlying surface on the process of location of objects”, *Theory and practice of synchronization systems*, pp. 4-8.
11. Karlov, V.D., Petrushenko, N.N., Chelpanov, V.V. and Kvitkin, K.P. (2010), “The influence of the propagation medium of radio waves in the coastal direction in measuring the angular coordinates of the radar targets”, *Scientific Works of Kharkiv Air Force University*, No. 3 (25), pp. 51-53.
12. Karlov, V.D., Rodyukov, A.O. and Pichugin, I.M. (2015), “Statistical characteristics of radar signals are reflected from local objects in conditions of abnormal refraction”, *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 4 (21), pp. 71-74.
13. Kuznetsov, O.L. (2008), “Estimation of the influence of phase fluctuation of a signal on a decrease in the accuracy of measuring the angular coordinates of the target in a radars with phased antenna arrays”, *Information processing systems*, No. 1 (68), pp. 38-40.
14. Kuznetsov, O.L., Tantsyura, O.B. and Melnik, O.L. (2012), “The limitation of the quality of spatial measurement in a radar with a phased antenna array due to the influence of atmospheric inhomogeneities and the earth surface”, *Navigation and communication control systems*, No. 1 (21), pp. 49-52.
15. Kuznetsov, O.L. (2015), “Estimation of the optimization efficiency of spatial processing of a radar signal in a radar with a phased antenna array”, *Information processing systems*, No. 12 (37), pp. 30-33.
16. Shirman, Ya.D. and Manzhos, V.N. (1981), *Theory and technology of processing radar information against the background noise*, Radio and communication, Moscow, 416 p.
17. Sedyshev, Yu.M., Karpenko, V.I. and Atamanskiy, D.V. (2010), *Radioelectronic systems*, KhUPS, Kharkiv, 418 p.
18. Mozhaev O. Multiservice network security metric / O. Mozhaev, H. Kuchuk, N. Kuchuk, M. Mozhaev, M. Lohvynenco // *IEEE Advanced information and communication technologies-2017*. Proc. of the 2th Int. Conf. – Lviv, 2017. – P. 133-136. – DOI: <https://doi.org/10.1109/AICT.2017.8020083>
19. 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. – DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>
20. Svyrydov, A., Kuchuk, H., Tsiapa, O. (2018), “Improving efficiency of image recognition process: Approach and case study”, *Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies*, DESSERT 2018, pp. 593-597, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409201>
21. Kuznetsov, O.L., Kolomiytsev, O.V. and Sadovyi, K.V. (2017), “Distinction after way distance PJIC with the synthesized aerial by a grate in the conditions of influence of not homogeneity atmosphere”, *Collection of scientific works Ivan Kozhedub Kharkiv Air Force University*, Kharkiv, No. 2(51), pp. 130-133.
22. Aloshin, G.V. and Kolomiytsev, A.V. (2015), “Optimal choice of parameters of radio-location signals on the conditional criterion of a maximum of economic efficiency”, *The Informatively-managing systems are on a railway transport*, Kharkiv, No. 6, pp. 3-7.

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Кузнєцов Олександр Леонідович** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;

**Oleksandr Kuznetsov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [SAG\\_2121@ukr.net](mailto:SAG_2121@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5915-8107>.

**Коломійцев Олексій Володимирович** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, начальник кафедри Військового інституту танкових військ, Національний технічний університет «ХПІ», Харків, Україна;

**Oleksii Kolomiitsev** – Doctor of Technical Sciences, Senior Research, Chief of department Military Institute of Tank Troops, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [Alexus\\_k@ukr.net](mailto:Alexus_k@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8228-8404>.

**Кійко Андрій Сергійович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;

**Andriy Kiyko** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [andriy.kiyko@gmail.com](mailto:andriy.kiyko@gmail.com), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0786-4234>.

**Ковальчук Андрій Олексійович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;

**Andriy Kovalchuk** – Candidate of Technical Sciences, Senior Research, Associate Professor of the Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [Inna700nf@gmail.com](mailto:Inna700nf@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1269-9368>.

**Садовий Костянтин Віталійович** – кандидат технічних наук, доцент, заступник начальника кафедри, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;

**Kostiantyn Sadovyi** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Chief of the Department of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, lieutenant colonel, Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [971sadovyi@gmail.com](mailto:971sadovyi@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2703-9696>.

### Аналіз можливостей забезпечення необхідної точності вимірювання просторових координат повітряних об'єктів в радіолокаційній станції супроводження з фазованою антенною решіткою

О. Л. Кузнєцов, О. В. Коломійцев, А. С. Кійко, А. О. Ковальчук, К. В. Садовий

**Анотація.** Сучасні радіолокатори з фазованою антенною решіткою (ФАР) є ефективним засобом повітряної розвідки та забезпечують отримання радіолокаційної інформації про повітряні об'єкти у складній обстановці. **Предметом** вивчення в статті є вплив неоднорідностей тропосфери та земної поверхні на зниження точності вимірювання кутових координат та висоти повітряних об'єктів в радіолокаційних станціях (РЛС) з ФАР. **Метою** є чисельне оцінювання можливих значень середньоквадратичних похибок вимірювання кутових координат та висоти повітряних об'єктів, які обумовлені впливом флуктуацій фазового фронту хвилі радіолокаційного сигналу. **Завдання:** аналіз можливих механізмів виникнення та статистичних характеристики корелюваних фазових флуктуацій радіосигналу для моделі сигналу з випадковою амплітудою та початковою фазою. Використані **методи:** теорії ймовірності та математичної статистики. Отримані наступні **результати**. Розроблено методику оцінювання та отримано можливі значення середньоквадратичних похибок вимірювання кутових координат та висоти повітряних об'єктів, які обумовлені впливом флуктуацій фазового фронту хвилі радіолокаційного сигналу для трьохкоординатної РЛС сантиметрового діапазону з ФАР. **Висновки.** Наведена методика може бути практично використана при оцінюванні впливу реальних умов поширення і відбиття радіолокаційного сигналу на зниження можливостей сучасних РЛС з ФАР щодо виконання завдань за призначеннем.

**Ключові слова:** фазована антенна решітка; кутові координати; висота повітряного об'єкту; фазові флуктуації; тропосфера; земна поверхня; радіолокаційне спостереження.

### Анализ возможностей обеспечения необходимой точности измерения пространственных координат воздушных объектов в радиолокационной станции сопровождения с фазированной антенной решеткой

А. Л. Кузнєцов, А. В. Коломійцев, А. С. Кійко, А. А. Ковальчук, К. В. Садовий

**Аннотация.** Современные радиолокаторы с фазированной антенной решеткой (ФАР) являются эффективным средством воздушной разведки и обеспечивают получение радиолокационной информации об воздушных объектах в сложной обстановке. **Предметом** изучения в статье является влияние неоднородностей тропосферы и земной поверхности на снижение точности измерения угловых координат и высоты воздушных объектов в радиолокационных станциях (РЛС) с ФАР. **Целью** является численное оценивание возможных значений среднеквадратических ошибок измерения угловых координат и высоты воздушных объектов, которые обусловлены влиянием флуктуаций фазового фронта волны радиолокационного сигнала. **Задача:** анализ возможных механизмов возникновения и статистических характеристик коррелированных фазовых флуктуаций радиосигнала для модели сигнала со случайной амплитудой и начальной фазой. Используемые **методы:** теории вероятности и математической статистики. Получены следующие **результаты**. Разработана методика оценивания и получены возможные значения среднеквадратических ошибок измерения угловых координат и высоты воздушных объектов, которые обусловлены влиянием флуктуаций фазового фронта волны радиолокационного сигнала для трехкоординатной РЛС сантиметрового диапазона с ФАР. **Выводы.** Приведенная методика может быть практически использована при оценивании влияния реальных условий распространения и отражения радиолокационного сигнала на снижение возможностей современных РЛС с ФАР по выполнению задач по назначению.

**Ключевые слова:** фазированная антенная решетка; угловые координаты; высота воздушного объекта; фазовые флуктуации; тропосфера; земная поверхность; радиолокационное наблюдение.

Н. Г. Кучук<sup>1</sup>, В. Ю. Мерлак<sup>2</sup>, В. В. Скороделов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

<sup>2</sup> Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

## МЕТОД ЗМЕНШЕННЯ ЧАСУ ДОСТУПУ ДО СЛАБКОСТРУКТУРОВАНИХ ДАНИХ

**Анотація.** На сьогодні актуальною є проблема зберігання та обробки слабкоструктурованої інформації. Суть проблеми є в тому, що слабкоструктурованість і великі обсяги даних призводять до порушення вимог QoS, зокрема, збільшується час доступу до даних і відповідно зростає час очікування реакції на запит. Крім того, істотно зростають витрати на зберігання даних. **Предметом дослідження** є методи опрацювання та зберігання слабкоструктуриваних та неструктуриваних даних. **Мета дослідження** – розроблення методу зменшення часу доступу до неструктуриваних даних шляхом формування системи ієрархічних віджетів та планування доступу до системних ресурсів множинних запитів транзакцій окремих віджетів, що створюють черги при доступі до нереляційних ховищ даних.

**Результати.** Проаналізовані варіанти структури ховищ даних для опрацювання та зберігання слабкоструктуриваних даних. Обґрунтовано застосування системи ієрархічних віджетів при роботі із множинними запитами. Запропоновано метод перерозподілу черг до системних ресурсів. Головним критерієм при перерозподілі обрано вчасне та якнайшвидше завершення всіх транзакцій системи ієрархічних віджетів. Розроблений метод перепланування, котрий забезпечує зменшення часу обробки запитів транзакцій системи ієрархічних віджетів. **Висновки.** Показана необхідність динамічного перепланування процесу розподілу ресурсів, що необхідні для підтримки системи ієрархічних віджетів. Запропоновано метод розподілу ресурсів між транзакціями системи ієрархічних віджетів при обробці неструктуриваною інформації в нереляційних ховищах даних. Оптимізація проводилася за критерієм якнайшвидшого завершення всіх транзакцій за рахунок скорочення часу виконання найтравіліших запитів.

**Ключові слова:** віджет; слабкоструктуривана інформація; ховище даних; транзакція.

### Вступ

На сьогодні, загальний обсяг даних, що зберігаються у різних мережах та системах постійно збільшується, дані продовжують накопичуватися з величезною швидкістю практично у всіх сферах людської діяльності. Вважаючи на те, що до складу даних, що зберігаються, можуть входити різноманітні типи даних (фото, відео, аудіо, текст, дані геопозиціонування тощо) і ці дані часто оновлюються і доповнюються, то можна вважати, що **актуальною** є проблема зберігання та обробки слабкоструктуриваної інформації. Суть проблеми є в тому, що слабкоструктуриваність і великі обсяги даних призводять до порушення вимог QoS, зокрема, збільшується час доступу до даних і відповідно зростає час очікування реакції на запит. Крім того, істотно зростають витрати на зберігання даних.

**Аналіз проблеми та наукових публікацій.** Питання, котрі пов'язані з проблемами, що виникають при роботі з великими даними, особливо при зберіганні та обробці неструктуриваної інформації, розглянуті в [1-5]. Різні підходи до вирішення даних проблем в різних спеціалізованих системах, запропоновані в [6-9]. Методи оптимального розподілу ресурсів при зростанні обсягів даних запропоновані в [10-21]. Однак в цих роботах не розглядаються питання зниження часу реакції на запити транзакцій з одночасним зниженням витрат на зберігання даних.

**Постановка завдання.** Метою статті є розроблення методу зменшення часу доступу до неструктуриваних даних шляхом формування системи ієрархічних віджетів та планування доступу до системних ресурсів множинних запитів транзакцій окремих віджетів, що створюють черги при доступі до нереляційних ховищ даних.

### Вибір варіанту структури ховищ даних для опрацювання та зберігання слабкоструктуриваних даних

Для опрацювання та зберігання слабкоструктуриваних даних розглянемо варіанти використання ховищ даних (СД), що мають реляційну (*SQL*) або нереляційну (*NoSQL*) структуру. Застосування реляційної структури для зберігання неструктуриваних даних призводить до надмірності при виділенні зовнішньої пам'яті для зберігання інформації. Особливо негативно даний недолік позначається при роботі з Big Data, суттєво збільшується вартість зберігання даних.

Для роботи з неструктуриваними даними нереляційні ховища даних пропонують гнучкі схеми розробки, котрі сприяють тому, що зймання пам'яті не резервується, а для прискорення доступу до даних в більшості випадків використовуються ієрархічні структури.

Крім того, потрібно ще враховувати той факт, що при використанні реляційних структур доступ до об'єктів виконується за ключем, а в нереляційних СД доступ до документа може виконуватися за індексом, що істотно збільшує час пошуку потрібного об'єкту. На рис. 1. 2 наведені узагальнені результати експериментів, проведених з метою оцінки характеристик, які впливають на якість обслуговування та вартість системи.

При формалізації результатів використовувались такі позначення:

*Vol* – обсяг даних, що призначенні для зберігання з подальшим опрацюванням, терабайт (Tб);

*Vol<sub>z</sub>* – загальний розмір зайнятої зовнішньої пам'яті для зберігання даних обсягом *Vol*, Tб;

$Vol_{exc} = Vol_z - Vol$  – умовні непродуктивні витрати зовнішньої пам'яті, Тб:

$T_{SQL}, T_{NoSQL}$  – загальний час обробки певної сукупності транзакцій комп'ютерної системи при використанні реляційних та нереляційних структур зберігання даних відповідно, год.;

$\zeta = T_{SQL}/T_{NoSQL}$  – відносна затримка часу виконання транзакцій, що розглядається як показник оцінки якості обслуговування (за часом) для порівняння реляційних та нереляційних структур;

Так, аналізуючи графіки, наведені на рис. 1, робимо висновок щодо суттєвого зростання непродуктивних витрат зовнішньої пам'яті при перевищенні загального обсягу даних, що призначенні для зберігання, значення 40 Тб.

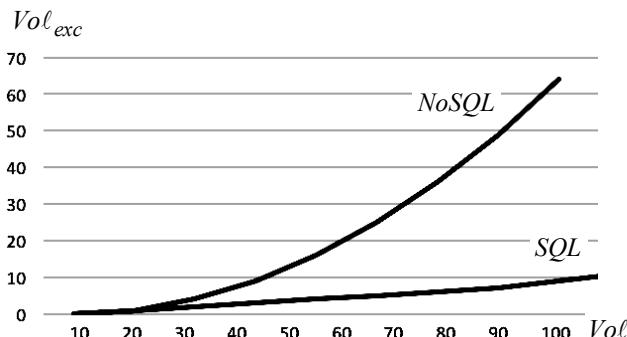


Рис. 1. Аналіз непродуктивних втрат зовнішньої пам'яті

Але індексний доступ до *NoSQL*-сховищ даних займає більше часу, ніж доступ за ключем до *SQL*-сховищ. Це наочно бачимо на рис. 2, причому чим більшим є виграш за зовнішньою пам'яттю, тим більшим є програш за часом доступу до даних, тобто збільшується значення показника оцінки якості обслуговування за часом. Це стає суттєвою проблемою, особливо при різних аспектах обробки Big Data.

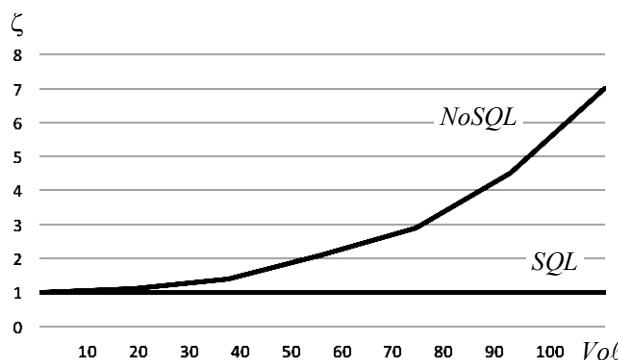


Рис. 2. Залежність відносної затримки часу виконання транзакцій від обсягу даних (Тб) V

Один з існуючих підходів для вирішення даної проблеми передбачає використання ситуаційно-орієнтованих сховищ даних (СОСД). При цьому є суттєва різниця при обробці простих та множинних запитів, сформованих транзакціями комп'ютерної системи.

Як бачимо на рис. 3, а, швидкість обробки простих запитів транзакцій при цьому збільшується десь в 1,2-1,8 разів та наближається до часу запиту в реляційних структурах.

Але для множинних запитів покращення ситуації з великим часом обробки запитів не спостерігається (рис. 3, б).

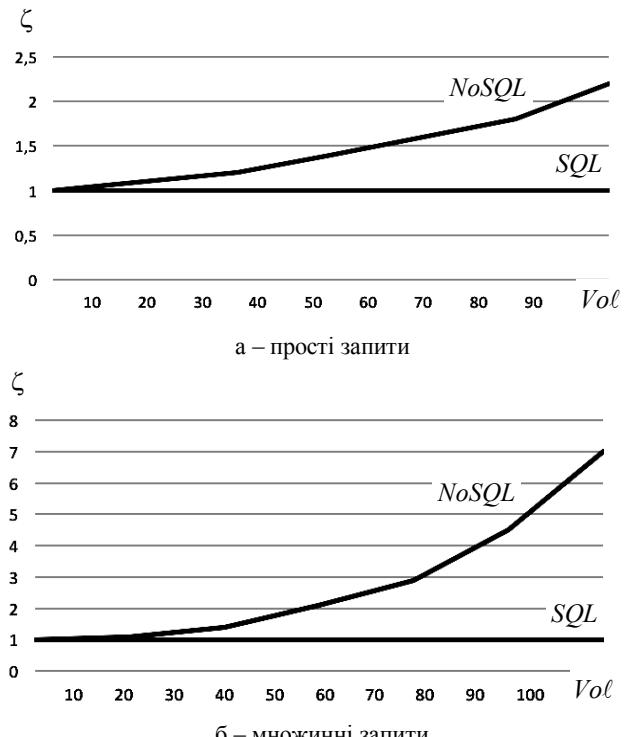


Рис. 3. Відносна затримки часу виконання запитів *NoSQL* у порівнянні із запитами *SQL*

Для зменшення сумарного часу отримання даних з використанням множинних запитів пропонується результати запитів зберігати в контейнері і відображати результат після того, як всі вони будуть виконані, тобто побудувати ієрархічну систему віджетів. Такий підхід суттєво зменшує час на отримання даних з використанням запитів *NoSQL* (рис. 4).

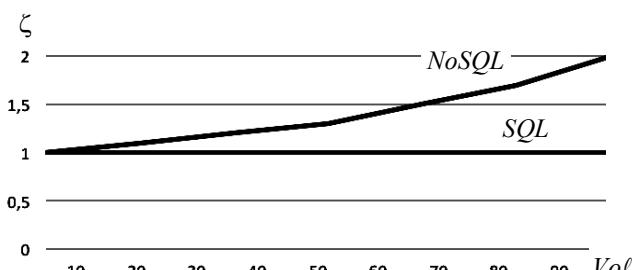


Рис. 4. Аналіз застосування ієрархічної системи віджетів

Але в цьому випадку швидкість починає спадати у випадку збільшення розмірності системи ієрархічних віджетів ( $N$ ), що наочно представлено на рис. 5.

Основна причина цього – затримки в чергах до потрібних ресурсів. Тому необхідно перепланування запитів до ресурсів, котре зменшить часи чекання ресурсів.

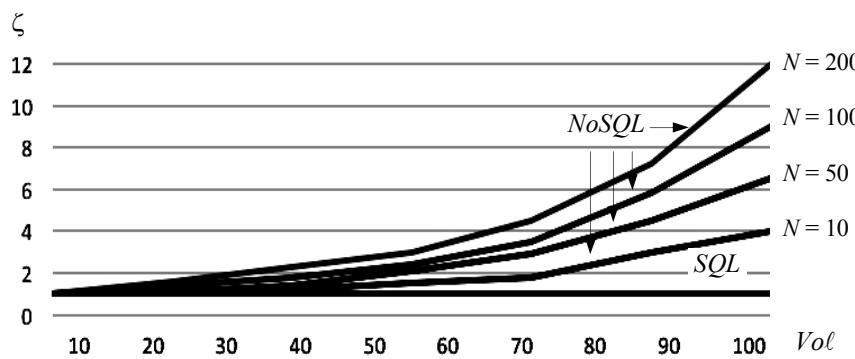


Рис. 5. Залежність відносної затримки часу виконання запитів *NoSQL* у порівнянні із запитами *SQL* від розмірності системи ієрархічних віджетів

### Метод розподілу ресурсів між транзакціями системи ієрархічних віджетів

Для вирішення проблеми оптимального розподілу ресурсів між транзакціями системи ієрархічних віджетів розробимо математичну модель даного процесу. Зробимо такі припущення:

- процес моделюється на протязі фіксованого часового проміжку  $\aleph$ ;
- проведена декомпозиція запитів транзакцій на елементарні запити;
- проведена декомпозиція ресурсів на елементарні ресурсні одиниці таким чином, що одночасно один елементарний запит може звертатися до одного елементарного ресурсу.

Нехай на протязі часового проміжку  $\aleph$  необхідно виконати  $N$  запитів системи ієрархічних віджетів,  $n$  – номер поточного запиту,  $n \in \overline{1, N}$ . Дані запити потребують  $R$  різноманітних системних ресурсів,  $r$  – номер поточного ресурсу,  $r \in \overline{1, R}$ . Також формується бінарна прямокутна матриця поточної потреби запитів у системних ресурсах  $Q = (q_{nr})$ ,  $\text{card } Q = N \times R$ , у якій кожен елемент  $q_{nr}$  є ненулевим, коли на даний момент часу  $n$ -го запит потребує ресурсу  $r$ . Зазначимо, що на початку часового проміжку  $\aleph$  у  $n$ -му рядку матриці  $Q$  однічними є елементи у стовпцях з номерами, що відповідають потрібним для  $n$ -го запиту системним ресурсам. Відповідно, по завершенню проміжку  $\aleph$  даний рядок буде нульовим у випадку успішного завершення  $n$ -го запиту.

Важаючи на те, що кожен запит має використовувати декілька елементарних ресурсів, які у загальному випадку взаємопов'язані, необхідно сформувати множину графів  $G = \{G_n\}$ ,  $\text{card } G = N$ , де  $G_n$  – граф, що відображає ієрархічну послідовність використання системних ресурсів. При цьому перший рівень відповідає цим ресурсам, використання яких не потребує попередників, а останній – ресурсам, які не є попередниками.

Крім того, важливим при розподілі ресурсів є вектор пріоритетів запитів

$$P = (p_n), \text{ card } P = N.$$

Також кожний ресурс  $r$  може бути охарактеризованим часом, що є потрібним на отримання умовної одиниці ресурсу  $t_r$ , дані значення складають вектор  $T = (t_r)$ . Відповідно складемо матрицю  $S = (s_{nr})$ ,  $\text{card } S = N \times R$ , де  $s_{nr}$  – обсяг ресурсу  $r$  у умовних одиницях для потреб  $n$ -го запиту. Вважаючи на ймовірну конкуренцію між запитами за ресурс, визначимо матрицю значень часу очікування у черзі за ресурс  $\mathfrak{T} = (\tau_{nr})$ ,  $\text{card } \mathfrak{T} = N \times R$ , де  $\tau_{nr}$  – час очікування  $n$ -го запиту у черзі до ресурсу  $r$ .

Для опису методу розподілу необхідно обрати критерій якості розподілу. Головним критерієм визначимо вчасне та якнайшвидше завершення всіх транзакцій системи ієрархічних віджетів. Це значить, що останній запит повинен бути завершеним якомога раніше. Відносний час завершення  $n$ -го запиту може бути розрахований таким чином:

$$t_{n\_rel\_end} = \sum_{r=1}^R (s_{nr} \cdot t_r + \tau_{nr}). \quad (1)$$

Тоді вищенаведений критерій можна формалізувати таким чином:

$$\max_n (t_{n\_rel\_end}) \rightarrow \min_{\tau_{nr}} \quad (2)$$

або

$$\max_n \left( \sum_{r=1}^R (s_{nr} \cdot t_r + \tau_{nr}) \right) \rightarrow \min_{\tau_{nr}}. \quad (3)$$

Зменшити час виконання запиту, що виконується найдовше, можливо за рахунок зменшення чекання ресурсів у чергах. Для цього пропонується така послідовність дій.

Нехай у момент часу ( $\tau_{n\_rel}$ ) розглядається черга конкурючих запитів до ресурсу з номером  $r_\eta$ . Черга складається із декількох запитів, що складають тимчасовий вектор

$$V_\eta = (n_{\xi_1}, \dots, n_{\xi_\eta}), \text{ card } V_\eta = \xi_\eta. \quad (4)$$

Для кожного елемента вектора  $V_\eta$  розрахуємо його вагу, котра визначить місце у черзі, зокрема,

тій запит, що буде отримувати ресурс першим. Для цього розрахуємо для кожного запиту час, що буде потрібним після отримання ресурсу  $r_\eta$ :

$$t_{\xi_i-rel} = \sum_{r \neq r_\eta} (q_{\xi_i,r} \cdot s_{\xi_i,r} \cdot t_r), \quad \xi_i \in \overline{\xi_1, \xi_\eta}. \quad (5)$$

При визначенні ваги врахуємо також пріоритети запитів, наведені у векторі  $P = (p_n)$ :

$$\begin{aligned} v_{\xi_i-rel} &= P_{\xi_i} \cdot t_{\xi_i-rel} = \\ &= p_{\xi_i} \cdot \sum_{r \neq r_\eta} (q_{\xi_i,r} \cdot s_{\xi_i,r} \cdot t_r), \quad \xi_i \in \overline{\xi_1, \xi_\eta}. \end{aligned} \quad (6)$$

Тоді першим для отримання ресурсу з номером  $r_\eta$  буде запит  $n_\eta$ , для якого виконана рівність

$$v_{n_\eta-rel} = \max_{\xi_i \in \xi_1, \dots, \xi_\eta} v_{\xi_i-rel}. \quad (7)$$

### Результати експериментів

Для дослідження можливостей запропонованого методу було проведено експерименти з різними системами ієархічних віджетів. Розглядалися варіанти різної розмірності розв'язуваної оптимізаційної задачі. Узагальнені результати експерименту показані на рис. 6.

Аналіз графіків рис. 6 свідчить про доцільність використання запропонованого метода при роботі з великими обсягами слабкоструктуреної інформації.

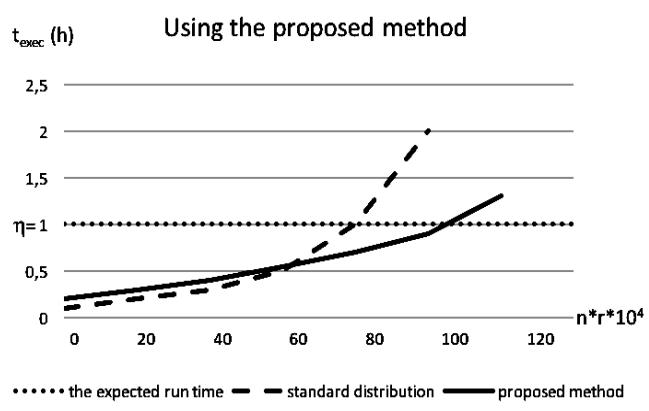


Рис. 6. Відносний час завершення системи ієархічних віджетів

### Висновок

Були проведені дослідження, які обґрунтують використання системи ієархічних віджетів для обробки великих даних. Показана необхідність динамічного перепланування процесу розподілу ресурсів, що необхідні для підтримки системи ієархічних віджетів. Запропоновано метод розподілу ресурсів між транзакціями системи ієархічних віджетів при обробці неструктурованою інформації в нереляційних базах даних. Оптимізація проводилася за критерієм якнайшвидшого завершення всіх транзакцій за рахунок скорочення часу виконання найтривалиших запитів.

**Напрям подальших досліджень** – реалізація запропонованого методу зі зняттям обмежень.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Kuchuk G., Kovalenko A., Komari I.E., Svyrydov A., Kharchenko V. 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, 2019. 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)
2. Кучук, Г.А. Синтез стратифікованої інформаційної структури інтеграційної компоненти гетерогенної складової Єдиної АСУ Збройними Силами України / Г.А. Кучук, О.П. Давікова // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: науково-технічний журнал. – Х.: ХУ ПС, 2013. – № 3(12). – С. 154-158.
3. 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>
4. 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.
5. Кучук Г.А. Розрахунок навантаження мультисервісної мережі / Г.А. Кучук, Я.Ю. Стасєва, О.О. Болюбаш // Системи озброєння і військова техніка. – 2006. – № 4 (8). – С. 130 – 134.
6. Кучук Г. А. Метод синтезу інформаційної структури зв'язного фрагменту корпоративної мультисервісної мережі / Г.А. Кучук // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2013. – № 2(35). – С. 97-102.
7. 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.
8. 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>.
9. 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>.
10. Merlac V. Resources Distribution Method of University e-learning on the Hypercovergent platform / V. Merlac, S. Smatkov, N. Kuchuk // DESSERT'2018. May 24-27, 2018. – P. 136-140. – URL <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409114>
11. 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>.
12. Кучук Г.А. Управління трафіком мультисервісної розподіленої телекомуникаційної мережі / Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ, 2007. – Вип. 2. – С. 18-27.
13. Кучук Г. А., Можаєв О. О., Воробйов О. В. Метод агрегування фрактального трафіка. Радіоелектронні та комп'ютерні системи. 2006. № 6 (18). С. 181–188.
14. Кучук Г. А. Минимизация загрузки каналов связи вычислительной сети / Г.А. Кучук // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 1998. – Вип. 1(5). – С. 149-154..

15. 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.
16. 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.
17. Mozhaev O. Multiservice network security metric / O. Mozhaev, H. Kuchuk, N. Kuchuk, M. Mozhaev, M. Lohvynenco // IEEE Advanced information and communication technologies-2017. Proc. of the 2th Int. Conf. – Lviv, 2017. – P. 133-136. – DOI: <https://doi.org/10.1109/AIACT.2017.8020083>
18. Коваленко А.А. Использование временных шкал при аппроксимации длины очередей компьютерных сетей / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук, И.В. Рубан // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – 2018. – № 2 (4). – С. 12–18. – DOI: <http://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.012>
19. 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.
20. 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 . ПНТУ, 2017. – Вип. 2(42). – С. 117.-120.
21. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускної 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. 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, DOI: [http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4\\_8](http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8).
2. Kuchuk, G.A. and Davikoza, O.P. (2013), “Synthesis of the stratified information structure of the integration component of the heterogeneous component of the Unified ACS of the Armed Forces of Ukraine”, *Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine*, KhNUPS, Kharkiv, No. 3(12), pp. 154-158.
3. 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.
4. 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>.
5. Kuchuk, G.A., Staseva Ya.Yu. and Bolyubash O.O. (2006), “Розрахунок навантаження мультисервісної мережі”, *Сучасні теми озброєння і військова техніка*, No. 4(8), pp. 130-134.
6. Kuchuk, G.A. (2013), “Method of Synthesis of Information Structure of Connected Fragment of Corporate Multiservice Network”, *Collection of Scientific Papers of Kharkov University of Air Force*, No. 2(35), pp. 97-102.
7. 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.
8. 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>.
9. 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>.
10. 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>
11. Zykov, 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>.
12. Kuchuk, G.A. (2007), “Traffic management of multiservice distributed telecommunication network”, *Systems of control, navigation and communication*, No. 2, pp. 18–27.
13. 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.
14. Kuchuk, G. A. (1998), “Minimize the load on the network holiness channels”, *Inf. Proc. Systems*, No. 1 (5), pp. 149-154.
15. 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.
16. 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.
17. Mozhaev, O., Kuchuk H., Kuchuk, N., Mozhaev, M. and Lohvynenco M. (2017), “Multiservice network security metric”, *IEEE Advanced information and communication technologies-2017*, Proc. of the 2th Int. Conf, Lviv, pp. 133-136, DOI: <https://doi.org/10.1109/AIACT.2017.8020083>.
18. Kovalenko, A.A., Kuchuk, G.A. and Ruban I.V. (2018), “The use of timelines for approximating the length of queues of computer networks”, *The current state of research and technology in industry*, No. 2(4), pp. 12–18. – DOI: <http://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.012>.
19. 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.

20. 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.
21. 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) 25.11.2019  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 20.01.2020

#### 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>.

**Мерлак Вікторія Юріївна** – аспірантка кафедри комп’ютерних систем, мереж та кібербезпеки, Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;

**Viktoria Merlak** – graduate Student of Computer Systems, Networks and Cyber security Department, National Aviation University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [v.merlak@csn.khai.edu](mailto:v.merlak@csn.khai.edu); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4096-0797>.

**Скороделов Володимир Васильович** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри обчислювальної техніки та програмування, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна;

**Vladimir Skorodelov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Computer Science and Programming Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [Skorodelov@ukr.net](mailto:Skorodelov@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-2629-6527>.

#### Метод снижения времени доступа к слабоструктуризованным данным

Н. Г. Кучук, В. Ю. Мерлак, В. В. Скороделов

**Аннотация.** На сегодня актуальна проблема хранения и обработки слабоструктурированных информации. Суть проблемы заключается в том, что слабоструктурированность и большие объемы данных приводят к нарушению требований QoS, в частности, увеличивается время доступа к данным и соответственно увеличивается время ожидания реакции на запрос. Кроме того, существенно возрастают расходы на хранение данных. **Предметом исследования** являются методы обработки и хранения слабоструктурированных и неструктурированных данных. **Цель исследования** – разработка метода уменьшения времени доступа к неструктурированным данным путем формирования системы иерархических виджетов и планирования доступа к системным ресурсам множественных запросов транзакций отдельных виджетов, которые создают очереди при доступе к нереляционным хранилищам данных. **Результаты.** Проанализированы варианты структуры хранилищ данных для обработки и хранения слабоструктурированных данных. Обосновано применение системы иерархических виджетов при работе с множественными запросами. Предложен метод перераспределения очередей к системным ресурсам. Главным критерием при перераспределении выбрано своевременное и сконцентрированное завершение всех транзакций системы иерархических виджетов. Разработан метод перепланировки, который обеспечивает уменьшение времени обработки запросов транзакций системы иерархических виджетов. **Выводы.** Показана необходимость динамической перепланировки процесса распределения ресурсов, необходимых для поддержки системы иерархических виджетов. Предложен метод распределения ресурсов между транзакциями системы иерархических виджетов при обработке неструктурированной информации в нереляционных хранилищах. Оптимизация проводилась по критерию сконцентрированного завершения всех транзакций за счет сокращения времени выполнения длительных запросов.

**Ключевые слова:** виджет; слабоструктурированная информация; хранилище данных; транзакция.

#### A method of reducing access time to poorly structured data

N. Kuchuk, V. Merlak, V. Skorodelov

**Abstract.** Today, the problem of storage and processing of poorly structured information is relevant. The essence of the problem is that poorly structured and large amounts of data lead to violation of QoS requirements. Also, the data access time increases and, accordingly, the waiting time for a response to a request increases. In addition, data storage costs increase significantly. **The subject of the research** is the processing and storage of poorly structured and unstructured data. **The purpose of the study** is to develop a method for reducing access time to unstructured data by creating a hierarchical widget system and planning access to system resources of multiple transaction requests of individual widgets, create queues when accessing non-relational data stores. **Results.** Variants of the structure of data warehouses for processing and storage of poorly structured data are analyzed. The use of a hierarchical widget system when working with multiple queries is justified. A method for redistributing queues to system resources is proposed. The main criterion for redistribution is the timely and speedy completion of all transactions of the hierarchical widget system. The developed redevelopment method, which provides a reduction in the processing time of transaction requests of the hierarchical widget system. **Conclusions.** The need for dynamic redevelopment of the resource allocation process necessary to support the hierarchical widget system is shown. A method for distributing resources between transactions of a hierarchical widget system while processing unstructured information in non-relational databases is proposed. Optimization was carried out according to the criterion of speedy completion of all transactions by reducing the execution time of long requests.

**Keywords:** widget; poorly structured information; data store; transaction.

S. Khmelevskiy, M. Pavlenko, O. Petrov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

## INFORMATION ANALYSIS METHOD ABOUT CURRENT SITUATIONS IN ACS OF SPECIAL OPERATIONS

**Abstract.** The relevance of improvement and difficulty of establishing ERP systems and methods of their development is considered. The features of the development of special mathematical and software implements strategy ERP system shows effective ways formalized description of the classes of recognizable situations in the form of membership functions corresponding regions of the feature space. In the course of developing automated ERP systems, it is necessary to apply direct methods for characterization of classes of recognizable situations. As shown by the analysis of typical SR tasks solved in ERP systems, in practice a feature space can contain many hundreds and even thousands of attributes. In this case, the number of examples of situations belonging to a particular class, as a rule, is limited to tens of units. Therefore, for classical learning algorithms, the required length of a training sequence for SR tasks of practical importance, as a rule, many times exceeds the disposable number of examples of environment. The source of information necessary for the construction of such a priori descriptions can be experts who can solve SR tasks in a non-automated way in conditions of psychological comfort.

**Keywords:** ERP system; recognition methods of situations; information subsystems.

### Introduction

At the current stage of science and especially technology development more attention paid not to the technical but to the software implementation of various storage processes, transition process, information processing and analysis in the operation of the control system. It is the software part of the system is the main component of the price of control systems for their modification and development for today [1, 8-12]. Under such approaches, the intensive development of economic and mathematical control methods, the implementation of ECM into spheres of human productive activities possessing high speed response, logical flexibility, huge memory space, served as the basis for the development of special operations automated control systems (ACS of SO which qualitatively changed the management formula and significantly increased its effectiveness.

The category of ACS of SO is usually considered the implementation of the ERP system methodology - organizational strategy for the integration of production and operations, human resources management, financial management and asset management, focused on continuous balancing and optimization of enterprise resources through a specialized integrated application software package that provides a common data model and processes for all spheres of activity.

As is known, in any control systems, data reduction processes include the solution of the following groups of tasks:

- 1) capturing, accumulation and storing of status information;
- 2) generalization and analysis of information of orientation and the issuance of the processed information to various acceptors;
- 3) making recommendations for decision making or automatic formation of teams;
- 4) bringing terms to managed objects and monitoring their implementation.

The specific content of the tasks included in the above groups depends on the purpose of the SO ACS

and many other factors. ACS of SO may vary significantly by the specific weight occupied by different groups of tasks, by the degree of automation of their solution, the rate of information updating and the duration of its storage. However, in any control systems these groups of tasks are always present.

In most ACS of CO, it is possible to clearly distinguish the complexes of technical and software facilities which are responsible for solving the first two of the above listed groups of tasks. Such complexes are called information subsystems (IS).

IS can exist in two versions. Firstly, they can be an integral part of the ACS of SO. Secondly, IS can be organizationally and technically designed as a stand alone automated systems.

Terms of reference. Despite the above-mentioned variety of IS structures and the specific composition of the tasks, under their development and improvement it is necessary to solve very similar problems. Experience of development such systems has shown that especially significant difficulties is caused by the development and maintenance of special mathematical and software that performs the functions of generalization and analysis of orientation.

Therefore, the developer is difficult to achieve that the description of the formulation of the ERP system, compiled according to the experts, contains information sufficient to develop an algorithm for solving it, and to obtain all the necessary information, it is necessary to repeatedly contact the experts. These difficulties are compounded by the lack of adequate methods of formalized representation of expertise, clear non-programmers, as well as the above-noted variation of initial data for the development of algorithms.

These difficulties are typical in the development of algorithms and programs designed to solve almost all problems of assessing the situation in any ACS of SO.

The purpose is to find ways to improve the development of special mathematics and software technology that implements the ERP strategy.

To identify the nature of these difficulties and look for effective ways to overcome them, it seems

appropriate to abstract from the specific content of such tasks and information systems in which they should be solved.

Within the traditional technology development of special mathematical support and software the limitation is the necessity for interaction between capable specialists of the subject area – end user and experts and much weaker than it orients software designers, implementing the knowledge of experts in material object – programs. In the conditions when it is impossible to make completed mathematical setting of the problem, the different nature of the professional training of these two groups of specialists becomes a source of serious difficulties in the development of special mathematical support and software. These difficulties are exacerbated by departmental disunity since end users and experts in the traditional distribution of roles between them usually belong to different organizations and departments.

The problem of developing a new information technology focused on automating of the SR tasks solutions as a combined with general theoretical foundation set of methods and techniques, the formalization of expert knowledge and methods of their usage in the data analysis on the situation was not considered in the literature.

### Main part

Abstracting from the specific content of the tasks of processing orientation solved in the IS, a generalized class of so-called situation recognition tasks (SR-tasks) (SRT) introduce into consideration.

This class includes information processing tasks that are solved by ERP systems, consisting in forming generalized conclusions about the current and (or) predicted environment by analyzing private orientation and, possibly, the results of solving other SR tasks.

According to this non-strict definition, the class of SR tasks is very wide. In particular, it includes all the tasks of processing the ERP system, more specifically, the detection of individual signs characterizing the state and activity of objects, as well as forecasting their actions through a comprehensive analysis and comparison of the signs that have appeared.

It follows from the definition that SR tasks in the general case form a hierarchy (Fig. 1).

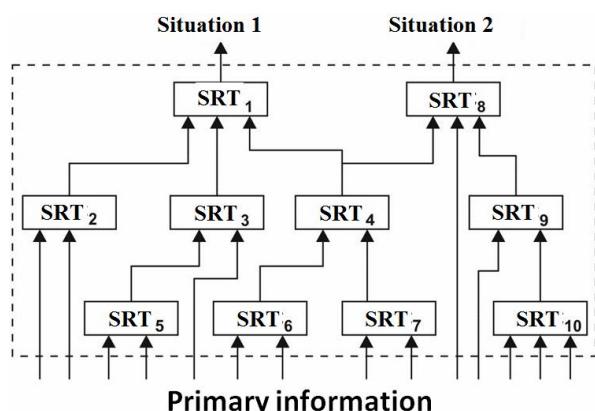


Fig. 1. Example of SR tasks hierarchy

Indeed, the results of tasks solutions that occupy the lower levels of the hierarchy can serve as input data for tasks of higher levels. This is in complete agreement with the generally accepted hierarchical principle of creating an IS ACS of SO. Thus, the object of study is rather impressive class of SR tasks, which occupies an important place in the processes of information processing that occur in the ACS of SO.

In order for better understanding the subject of this study and more clearly limiting its scope, abstract formulation of the problem of making a decision on pattern recognition is turned, slightly generalizing the classical formulation of the recognition problem given in the literature [2].

Let set (dictionary) of signs

$$Z = \langle \zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_k \rangle \quad (1)$$

taking values from some feature signs Arbitrary implementation of the feature vector denote as  $Z = \langle z_1, z_2, \dots, z_k \rangle$ . The alphabet of classes of objects to be recognized is also specified, which can be assigned to a tuple of sets in the attribute space.

$$A = \langle A_1, A_2, \dots, A_k \rangle, \text{ where } \bigcup_{r=1}^k A \subset \Omega. \quad (2)$$

To make a decision on whether a certain object is described as a particular object, described by the feature vector  $Z$ ,  $k$  close functions are set and  $\mu_r(Z, A_r)$  take values on a certain numerical interval  $[a, b]$ . The results of calculating these values are handled by the decision rule.

$$r^* = DC\mu_1(Z, A_1), \mu_2(Z, A_2). \quad (3)$$

Environment recognition tasks are fully included in the above scheme. It is important to note that in the development of recognition systems, in general, a number of issues must be addressed, including the following:

- 1) Selection of feature dictionary  $Z$ ;
- 2) The choice of the alphabet of classes of objects  $A$
- 3) Synthesis of membership functions  $\mu_r(\bar{Z}, A_r)$ ;
- 4) Choice of optimality criterion  $C$  and decision rule synthesis  $D$ .

As a rule, the third of these questions is the most difficult. Its essence is reduced to the compilation of descriptions of areas of the attribute space corresponding to the situations to be recognized. In the particular case, in the stochastic interpretation of the problem recognition of situations, the posterior probabilities of belonging the vector  $Z$  to the classes of situations  $A_r (r = 1, 2, \dots, R)$  can play the role of functions  $\mu_r(\bar{Z}, A_r)$ .

At the same time, the choice of a way to solve the third question is much less dependent on a specific subject area than the others, which allows us to talk about creating universal methods for a fairly wide class of SR tasks. Therefore, from the point of view of improving the technology of developing special mathematical and software implements the ERP strategy, it is of particular interest to create effective ways to formalize the

description of classes of recognizable situations in the form of membership functions of the corresponding areas of the feature space. Accordingly, speaking of formalization and automatized solution of SR tasks, assumed that the dictionary of attributes, the alphabet of classes of recognizable situations, the optimality criterion and the decision rule are already chosen. Only the question of the synthesis of membership functions  $\mu_r(\vec{Z}, A_r)$  remains unsolved.

In the literature devoted to the theory of pattern recognition [2–7], recognition systems are divided according to the method of constructing descriptions of recognizable classes into systems with training and without learning.

The systems with training are based on the procedures of structural and (or) parametric adaptation of the membership functions and the decision rule (3) in the process of processing the sequence of presented realizations of the feature vector, followed by instructions about their belonging to a particular class (while studying with a teacher) without such instructions (with self-study). When systems are creating without training, the so-called direct methods for constructing class descriptions are used. Such descriptions are also called a priori, since in systems with learning a priori descriptions of classes are usually used as an initial approximation to training.

With other things being equal, the possibility of creating a recognition system that has a satisfactory quality of functioning depends on the accuracy of the a priori description for systems without training, and on the length of the training sample for systems with training. Therefore, the decision whether to develop a recognition system or to resort to training or not is determined by the presence of an a priori description of the classes of recognizable objects and its accuracy. It is also necessary to take into account the presence of a training sample, the volume of which, in the absence of an a priori description or its insufficient accuracy should ensure the required quality of recognition training.

As a rule in the case of applied problems of recognizing situations, one should focus on the direct methods of describing classes, and learning can only be considered as an auxiliary method.

Obviously, the dimension of the feature vector in the general case strongly influences the quality of recognition, and the increase in the number of features

in the learning systems would seem to be accompanied by an increase in quality. However, this statement is true only under the assumption that there are no restrictions on the duration of training.

The [6] study demonstrates that the time complexity of the learning algorithm depending on the dimension of the feature vector in the general case has an exponential estimate. This means that with an increase in the number of features, the required length of the training sequence will be in terms of growth rate, many times greater than the dimension of the feature vector.

As shown by the analysis of typical SR tasks solved in ERP systems, in practice a feature space can contain many hundreds and even thousands of attributes. In this case, the number of examples of situations belonging to a particular class, as a rule, is limited to tens of units. Therefore, for classical learning algorithms, the required length of a training sequence for SR tasks of practical importance, as a rule, many times exceeds the disposable number of examples of environment.

## Conclusions

In the course of developing automated ERP systems, it is necessary to apply direct methods for characterization of classes of recognizable situations.

The source of information necessary for the construction of such a priori descriptions can be experts who can solve SR tasks in a non-automated way in conditions of psychological comfort.

The latter means that:

- the expert has positive motivations for solving the SR tasks;
- the scope of problem is not more than the psycho-physiological capabilities of a person in perception and data processing;
- there are no strict limits on the time spent on the data analysis;
- there are no adverse effects of erroneous decisions.

Experts use informal knowledge about the structure of the attribute space, which, under favorable conditions, allows them to cope successfully with solving SR tasks. Therefore, the problem of constructing a priori descriptions of classes of recognizable situations is limited to the problem of formalization, or presentation of expert knowledge.

## REFERENCES

1. Kaipei, Yang, Yaakov, Bar-Shalom and Peter Willett (2019), “The cross-covariance for heterogeneous track-to-track fusion”, *Willett Proc., Vol. 11018, Signal Processing, Sensor/Information Fusion, and Target Recognition XXVIII; 1101806 (2019)* <https://doi.org/10.1117/12.2520001>
2. Gorelik, A.L. and Skripkin, V.A. (1989), *Recognition methods*, Vyssh. shkola, Moscow, 232 p.
3. Svyyrydov, A., Kuchuk, H., Tsiaipa, O. (2018), “Improving efficiency of image recognition process: Approach and case study”, *Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2018*, pp. 593-597, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409201>
4. 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>.
5. Mozhaev, O., Kuchuk H., Kuchuk, N., Mozhaev, M. and Lohvynenko M. (2017), “Multiservice network security metric”, *IEEE Advanced information and communication technologies-2017*, Proc. of the 2th Int. Conf, Lviv, pp. 133-136, DOI: <https://doi.org/10.1109/AICT.2017.8020083>
6. Vapnik, V.N. and Chervonenkis, A.Ya. (1974), *Pattern recognition theory*, Nauka, Moscow, 416 p Moscow.

7. Khudov, V.G., Kuchuk, G.A., Makoveychuk, O.M. and Krizhny A.V. (2016), "Analysis of known image segmentation methods obtained from on-board optoelectronic surveillance systems", *Information Processing Systems*, No. 9 (146), pp. 77-80.
8. Shylo, S., Golovnyak, D., Khmelevskiy, S. and Timochko O. (2019), "Method of joint processing of coordinate and signal information in systems of radio location information of special purpose", *Control, navigation and communication systems*, PNTU, Poltava, Vol. 6 (58), pp. 123-128, DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.6.123>.
9. Grib, D.A., Demidov, B.O., Khmelevskyi, S.I. and Matiushchenko, O.H. (2019), "Intellectual technologies in the problems of structure management of dynamics of complex multiple structural military systems", *Information Processing Systems*, Vol. 3(158), pp. 15-26, DOI: <https://doi.org/10.30748/soi.2019.158.02>
10. Pavlenko, M.A., Smeliakov, S.V., Rudenko, V.N. and Khmelevskyi, S.Y. (2016), "Areas of interface interaction in automated control systems special", *Information Processing Systems*, Vol. 9 (146), pp. 51-54.
11. Dmitriev, O.M., Melnychuk, M.H., Khmelevskyi, C.I., Shcherbak, H.V. and Shylo, S.H. (2019), "Method of psycho-diagnostic tools' determination for professional selection and training of specialists in complex ergatic systems", *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, Vol. 3(61), pp. 53-62, DOI: <https://doi.org/10.30748/zups.2019.61.08>
12. Herasymov, S.V., Tymochko, O.I. and Khmelevskyi, S.I. (2017), "Synthesis method of the optimum structure of the procedure for the control of the technical status of complex systems and complexes", *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, Vol. 4(53), pp. 148-152.

Надійшла (reviewed) 10.12.2019

Прийнята до друку (accepted for publication) 12.02.2020

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Павленко Максим Анатолійович** – доктор технічних наук, професор, начальник кафедри математичного та програмного забезпечення АСУ, Харківський національний університет Повітряних Сил, Харків, Україна;  
**Maksim Pavlenko** – Doctor of technical sciences, Professor, Chair of mathematical and software ACS department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [bpgpma@ukr.net](mailto:bpgpma@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3216-1864>.

**Хмелевський Сергій Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, заступник начальника кафедри математичного та програмного забезпечення АСУ, Харківський національний університет Повітряних Сил, Харків, Україна;  
**Serhii Khmelevskiy** – Candidate of technical sciences, Associate Professor, Chair Deputy of mathematical and software ACS department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [hmelev\\_si@ukr.net](mailto:hmelev_si@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5782-552X>.

**Петров Олексій Валерійович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри математичного та програмного забезпечення АСУ, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;  
**Oleksii Petrov** – Candidate of technical sciences, senior lecturer of of mathematical and software ACS department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [ssz2007@ukr.net](mailto:ssz2007@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3062-9286>.

#### Метод аналізу інформації про ситуацію, що складається в АСУ спеціального призначення

С. І. Хмелевський, М. А. Павленко, О. В. Петров

**Анотація.** Розглянуто актуальність вдосконалення і труднощі створення ERP систем і методів їх розробки. Розглянуто особливості розробки спеціального математичного та програмного забезпечення яке реалізує стратегію ERP системи, показаний ефективний спосіб формалізованого опису класів розпізнаваних ситуацій у вигляді функцій принадлежності відповідних областей простору ознак. При розробці автоматизованих ERP систем необхідно застосовувати безпосередні методи складання описів класів було розпізнати ситуацій. Як показав аналіз типових РС-задань, що вирішуються в ERP системах, на практиці простору ознак може містити багато сотень і навіть тисячі ознак. При цьому кількість прикладів ситуацій, що відносяться до того чи іншого класу, як правило, обмежена одиницями-десяtkами. Тому для класичних алгоритмів навчання потребна довжина навчальної послідовності для РС-задань, що мають практичне значення, як правило, багаторазово перевищує число, що розташоване до прикладів ситуацій. Джерелом відомостей, необхідних для побудови таких априорних описів можуть бути експерти, які вміють вирішувати РС-задання неавтоматизованим способом в умовах психологічного комфорту.

**Ключові слова:** ERP система; задачі розпізнавання ситуацій; інформаційні підсистеми.

#### Метод анализа информации про ситуацию, сложившуюся в АСУ специального назначения

С. И. Хмелевский, М. А. Павленко, А. В. Петров

**Аннотация.** Рассмотрена актуальность совершенствования и трудности создания ERP систем и методов их разработки. Рассмотрены особенности разработки специального математического и программного обеспечения реализующий стратегию ERP системы, показанный эффективный способ формализованного описания классов распознаваемых ситуаций в виде функций принадлежности, соответствующих областей пространства признаков. При разработке автоматизированных ERP систем необходимо применять непосредственные методы составления описаний классов распознаваемых ситуаций. Как показал анализ типовых РС-задач, решаемых в ERP системах, на практике признаковое пространство может содержать многие сотни и даже тысячи признаков. При этом количество примеров ситуаций, относящихся к тому или иному классу, как правило, ограничено единицами-десятками. Поэтому для классических алгоритмов обучения потребная длина обучающей последовательности для РС-задач, имеющих практическое значение, как правило, многократно превышает предлагаемое число примеров ситуаций. Источником сведений, необходимых для построения таких априорных описаний могут быть эксперты, умеющие решать РС-задачи неавтоматизированным способом в условиях психологического комфорта.

**Ключевые слова:** ERP система; задачи распознавания ситуаций; информационные подсистемы.

A. Shyshatskyi<sup>1</sup>, S. Suhak<sup>2</sup>, M. Tiurnikov<sup>2</sup>, A. Lyashenko<sup>3</sup>, T. Bokhno<sup>3</sup>, O. Bondar<sup>4</sup>, A. Melnyk<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> Military unit A0106, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup> Military institute of telecommunications and information named after Heroes of Krut, Kyiv, Ukraine

<sup>4</sup> Military unit A0224, Mykolaiv, Ukraine

<sup>5</sup> Communication center of State Special Communications Service of Ukraine, Odessa, Ukraine

## METHOD OF ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF THE COMMUNICATION OF OPERATIONAL TROOP GROUPING SYSTEM

**Abstract.** The most distinctive features of military communications systems are the high degree of a priori uncertainty about the operational situation and the small amount of source data for communications planning. In such circumstances, it is important to make the right decision-making appraisal apparatus, which will allow the officials of the system management bodies to be confident in the decisions made. Deciding to build a communications system at any level usually involves defining the purpose of its operation, selecting metrics and justifying the evaluation criteria, synthesizing alternative structures, and finding a rational option for deploying the communications system. The practice of the troops has convincingly shown that in the theory and practice of communications, there is a need to improve the scientific and methodological apparatus, which will meet the current conditions of operation of control systems and provide a more adequate assessment of the effectiveness of deployable communications systems. In this article, the authors propose a method for evaluating the effectiveness of the communication system of the operational troop grouping. The above method is based on the first time use of the communication system accessibility indicator. In the course of this research, the authors used the basic principles of communication theory, noise immunity theory and intelligence. The novelty of the proposed method is that the communication system operational troops grouping are estimated by generalized indicator of availability of channel resources and network communications system of the operational troops grouping. The practical value of the proposed methodology is that the methodology allows for a more accurate assessment of the communications system, the identification of deployment arrangements and measures to improve the effectiveness of the operational troops grouping.

**Keywords:** communication system evaluation; effectiveness, noise immunity; intelligence; operational troop grouping.

### Introduction

The most distinctive features of military communications systems are the high degree of a priori uncertainty about the operational situation and the small amount of source data for communications planning.

In such circumstances, it is important to make the right decision-making appraisal apparatus, which will allow the officials of the system management bodies to be confident in the decisions made.

Deciding to build a communications system at any level usually involves defining the purpose of its operation, selecting metrics and justifying the evaluation criteria, synthesizing alternative structures, and finding a rational option for deploying the communications system.

The practice of the troops has convincingly shown that in the theory and practice of communications, there is a need to improve the scientific and methodological apparatus, which will meet the current conditions of operation of control systems and provide a more adequate assessment of the effectiveness of deployable communications systems.

One of the main areas of their improvement and development is the use of a new approach to determine the performance indicators and criteria that meet the current conditions and factors of combat (the purpose of the operation), as well as the requirements imposed on the communication system by the management system.

According to this approach, the effectiveness of the communication system is one of the indicators of its role and purpose. Despite the fact that the

communication system does not directly influence the execution of the tasks and causing the enemy maximum losses, its role in achieving the goal of the battle (operation) is enormous. To define this role, the concept of the effectiveness of the communication system is introduced, which means the degree of realization of its possibilities for information exchange in specific conditions of the environment [1-5].

Therefore, *the purpose of the article* is to develop a method of assessment of the efficiency of the communication of operational troop grouping system.

### Presentation of the main material

The calculation of performance indicators is directly related to the determination of the results of the evaluated solution. There are two options:

the first is related to the experimental validation of the recommendations and therefore the determination of the result is limited to evaluation;

the second arises in the priori evaluation of efficiency when the result is not yet available, but it should be predicted, as a result of which the results of the decision are determined by forecasting methods [5, 6].

The first case is the most important for theory, and the second for practice, since performance evaluation must be the first to make a decision and determine its value.

With regard to the operational troops grouping (OTG) communication system, its effectiveness must be evaluated on the basis of its characteristics.

Since the communication system has many properties, the list of indicators that should be used to

evaluate the quality of the communication system should be limited.

In practice, this means that the quality assessment should not be based on all but the most important indicators that determine the basic aspects of the performance of the communication system or its individual elements. This approach allows you to focus on the key metrics of the communication system that enable it to best address its core challenge in predictable operating conditions. Therefore, a comprehensive and objective evaluation of the effectiveness of the communication system can be carried out using a system of indicators and criteria, including the main and additional indicators on the basic and partial properties, respectively [1, 5, 10].

As a basic feature, given its special importance for the operational grouping of troops [10], it is proposed to accept the accessibility of the communication system and to obtain its dependence on other partial indicators. Since accessibility characterizes the ability of a military communications system to obtain the management resources (operational composition) of the necessary communications resources (its types, services, services), it seems that the accessibility indicator, on the one hand, should reflect the spatial aspect, on the other hand - take into account the ultimate object stability of the elements of the communication system in conditions of complex influence of the enemy.

The spatial aspect refers to such an objective (spatial and topological) position of the control system users regarding the elements of the communication system when they are always able to use the channel resource created by it, having at its disposal regular and added means of communication [3, 4].

These particularities of generating a generic accessibility indicator, arising from the fact that they are of fundamental importance to the OTG communication system, must be reflected in the corresponding advanced methodology for evaluating the effectiveness of the OTG communication system.

However, it should be understood that the accessibility of the communication system depends primarily on the structure and location of its elements in the operating space, the location of users, length of access lines, physical and geographical conditions of the terrain, availability of forces and devices of communication [1]. That is why the improved methodology for evaluating the availability of the communication system used the probability of user access to the communication system resource on the first attempt, calculated on the functionality [1, 2]

$$P^{av} = a(D, P_i^{av}). \quad (1)$$

This figure depends on the number of elements of the communication system that are potentially capable of providing users with a channel resource and can be used by them from the areas of their dislocation using the available communication devices (ie, the numerical value of the components of the accessibility vector  $D$ ) and their object stability  $P_i^{av}$ . In this case, the multiplicity of access  $i$  (the ability to provide the user

with one, two or more independent routes of information transmission) suggests a higher probability of access to the channel resource on the first attempt.

Since the OTG operational space requires a solid coverage of the communication, the spatial accessibility indicator should reflect the principle of "territorial" orientation of the communication system. In this approach, spatial accessibility is most appropriate to be estimated by a vector  $D = \{d_l\}$  whose components have some scalar value  $d_l$ . The content of the scalar value  $d_l = 0...1$  is that from the  $d_l$ -th part of the area of the operating space, the network of OTG radio access, consisting of  $L$  elements, is able to provide any user with the potential to obtain the necessary part of the channel resource of the communication system through  $l$  independent routes:

$$D = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_l, \dots, d_L\}, l = \overline{1, L}, \quad (2)$$

where  $L$  is the total number of elements of the communication system that are deployed to provide users with a channel resource.

When

$$L = \sum_{k=1}^m n_k, \quad (3)$$

where  $m$  is the number of levels in the communication system;  $n_k$  is the number of elements in the  $k$ -th echelon (levels).

Hereafter, below the echelons, we will understand the range of antenna lifting heights of radio access stations and relay transmitters.

To determine in (2) the component of vector  $D$ , it is necessary to find the ratio of the area from which the user (subscriber) is able to access the elements of the communication system to the entire area of the OTG defense band. Then

$$d_l = \frac{S_l}{S_{tot}}, \quad (4)$$

where  $S_l$  is the area of the radio access zone from  $l$  elements of the communication system;  $S_{tot}$  is the total area of OTG operating space.

Because spatial accessibility is characterized by component values  $\{d_{l_{min}}\}$  of the availability vector  $D$ , their relationship can be represented as a spatial accessibility factor  $K_{spat.av}$ . Then

$$K_{spat.av} = \frac{S_l}{S_{tot}} \text{ if } l = l_{min}. \quad (5)$$

By its nature, the radio access network is zonal. Coverage areas are part of the territory (operating space lanes) that are connected to one of the elements of the radio access network, as well as their intersection zones. The sizes of these zones depend on the tactical and technical characteristics of the radio facilities, the heights of raising their antennas, the operating frequency, the interference situation and other factors

affecting the quality of the provided radio communication [6-10].

The original product of the proposed sequence of calculations of the availability index of the OTG communication system is a matrix  $A(i)$  that has a look  $M \times N$  (where  $M$  and  $N$  are the number of the  $d_i$ -th parts of the area along the front and into the depth of the operating space, respectively), the elements of which  $a_{mn}(i)$  represent a single area on an electronic map scale. As a result of calculations for the  $i$ -th element of the communication system, the elements of the matrix take on values  $a_{mn}(i) = 1$  in case the user can access from the  $a_{mn}$ -th plots of the area to the  $i$ -th system element or  $a_{mn}(i) = 0$  otherwise [10].

The use of digital terrain information in calculating the availability of a communication system resource allows us to determine more accurately than before the actual area of coverage of each element of the communication system  $S_i$  according to the expression

$$S_i = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N a_{mn}(i), \quad (6)$$

where  $M \times N = S_{tot}$  is the total (covered) area of operating space.

Knowing that the structure of the communication system consists of  $L$  of elements in different relationships, you can calculate the vector of availability  $D$  for the whole system as a whole. You need to have this  $L$  matrices  $A(i)$  for each  $i$ -th element separately coating  $S_i$ , which determine essentially the area for each element of the communication system. Then the area of the intersection is no less than that  $l$  of its elements  $S_i$  is suggested to calculate by the formula

$$S_l = \bigcup_{i=1}^{C_L^l} \left( \bigcap_{1}^l \dots \bigcap_l S_i \right), \quad (i = \overline{1, L}; l = \overline{1, L}), \quad (7)$$

where  $C_L^l$  is the number of combinations from  $L$  to  $l$  of potentially reflective quantities overlapping area  $l$ , which may be created in the operating area of a future operation [11].

Thus, by determining the values of the quantities of the set  $\{S_l\}$ , it is possible to find, in accordance with expressions (2) and (4), the values of all components of the accessibility vector  $D$ . For calculations, while estimating the accessibility index and vector  $D$ , it is proposed to use the following approach to its calculation.

The output data for the calculations are the number of  $L$  elements of the communication system of the corresponding structure  $G$ ; the maximum number of  $M$  rows of matrices  $A$ ; the maximum number of  $N$  columns of matrices  $A$ ; many matrices  $\{A\}$ , the elements of which are calculated according to expression (6), summarized in a three-dimensional array of data  $A[1..M, 1..N, 1..L]$ .

You must have a variable  $S$  to store intermediate and output data, the multiplicity counter  $k$  and the one-dimensional array  $S[1..k]$  [5, 10].

After inputting the total area of the operating area is determined and the array of input data is zeroed. The same elements of all matrices are then checked for access. In the case of a satisfactory answer, the value of the multiplicity counter and the corresponding value of the array  $S_k$  are changed.

After the verification of all elements, calculations are made of the ratio of the area to the frequency of access to the total area and the output of the obtained results. The initial data show which part of the area of the operating area (covered or served relative to the territory) is able to access  $l$  elements of the communication network, ie, the creation of  $l$  independent routes [5-10].

Thus, the values of the components of the accessibility vector allow us to conclude how the analyzed (planned) variant of the construction of the communication system will provide users access to its channel resource. However, the values of the accessibility vector components obtained alone are not sufficient to uniquely determine the required number of independent access routes. In the face of complex adversary action, you need to have information about the projected object stability of the communications elements that provide access.

If their stability  $P_{sti}$  was ideal ( $P_{sti} = 1, i = 1, L$ ), then for each of the users, guaranteed reliable access to one element of the communication system would be sufficient for guaranteed access to the channel resource. Otherwise, a well-founded question arises as to how much of a planned communication system it is necessary to create independent routes to ensure its necessary stability.

This question can be solved in this way [6, 10, 11]. Let the user, while in a certain location of the operating space, be able to expand the  $l$  communication lines available to him in accordance with the  $l$  elements of the communication system.

Also known are the values of the object stability of its elements  $\{P_{sti}\}$ . For ease of calculation, it is assumed that all elements of the communication system providing access to users are equal to  $\{P_{sti}\} = P_i^{av}$ .

Then the probability of an occurring event  $P_{nes}^{av}$ , the user of which will gain access to the link resource of the communication system, can be found from the expression [11]:

$$P_{nes}^{av} = 1 - \prod_{i=1}^l \left( 1 - P_i^{av} \right). \quad (8)$$

By determining the value  $P_i^{av}$  and demanding the value of the indicator  $P_{nes}^{av}$ , you can find the minimum required number  $l_{min}$  of elements of the communication system to which the user must be provided access:

$$l_{\min} = \log_{1-P^{av}} \left[ 1 - P_{nes}^{av} \right]. \quad (9)$$

Determining the minimum level of number of independent routes for the user in the specific conditions of the enemy's influence, corresponding to the requirements on the stability of the communication system, the values of the components of the accessibility vector (4) are estimated and the reasoned conclusion about the sufficiency or insufficiency of the values of this structural characteristic for a particular variant of the implementation of the communication system is made. In contrast to the known methods [1-3, 5-7], the object stability of the access elements is taken into account in the calculations of the spatial accessibility of the communication system.

Based on the requirements of the management system, each user, along with the possibility of spatial access, should be provided with the necessary (sufficient) resource capacity of the communication system, which, as a rule, for the analog version of its practical implementation is quantified in the communication channels, and for digital is the bit rate (bit/s). Thus,

$$A_i = \min(B_{anc}; C_{radio}; Z_{sec}), \quad (10)$$

where  $B_{anc}$  is the channel capacity of the anchor lines;  $C_{radio}$  is the number of radio access channels;  $Z_{sec}$  is the availability of secrecy equipment.

For the purpose of determining the availability of a communication system, which characterizes its capabilities in providing users with the required channel resource, which reflects the content of the bandwidth, the coefficient of availability on the bandwidth can be used for analog transmission systems (ATS)

$$K_{av\ band}^{ATS} = \min \left\{ \frac{A_i}{A_{nes}}, 1 \right\}, \quad (11)$$

where  $A_{nes}$  is the required number of communication channels. To determine the availability of a communication system using a digital transmission system (DTS), it is advisable to enter a bandwidth availability factor in the form

$$K_{av}^{DTS} = \min \left\{ \frac{V_{plan}}{V_{nes}}, 1 \right\}, \quad (12)$$

where  $V_{plan}$  is the planned (implemented) transmission speed;  $V_{nes}$  is the required transmission speed.

If the value is bigger than 1, then the reserve of information resources of the network is calculated by using the following expression:

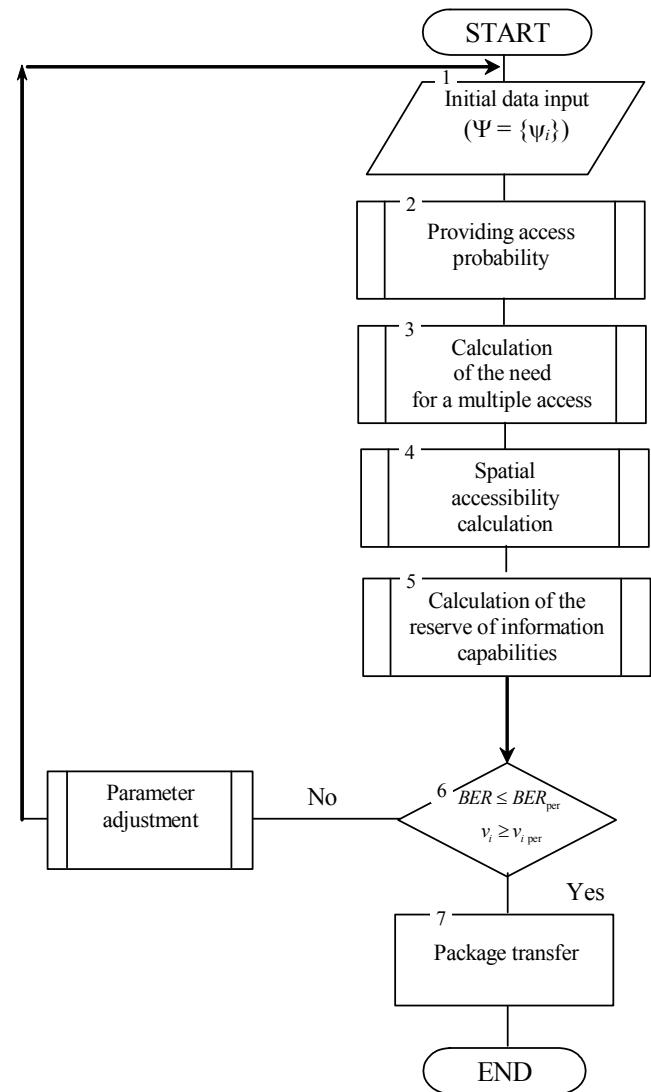
$$Q_{res} = K_{av\ band} - 1. \quad (13)$$

Because the coefficients calculated using expressions (5), (11), (12) reflect the physical content of the spatial (in terms of coverage) and channel (in terms of capacity) types of accessibility, the requirements have to be met together, it makes sense to enter a generic indicator of the communication system

$$K_{CS} = \min \{ K_{av\ band}; K_{spat.\ av} \}.$$

In order to increase the validity of the adopted decision on the choice of the structure of the communication system in accordance with the requirement for the information exchange, and therefore access to it by the officials of the control bodies, the criteria values of the generalized indicator (13) should be set in accordance with the degree of satisfaction of the needs of the bandwidth control system as the main indicator of effectiveness, reflecting the most essential feature of the military communication system.

The structure of the proposed method of assessment of the efficiency of the communication of operational troop grouping system is presented in Fig. 1.



**Fig. 1.** Methodology for evaluating the effectiveness of the communication system

The proposed approach to the evaluation of the effectiveness of the communication system is advantageous and obviously different from the known ones [1-9].

Thus, the methods used to evaluate the effectiveness of the communication system at this time

reflect, as a rule, one or more of its partial properties, such as security [1, 5], stability (in the aspect of structural survivability) [6, 8] or throughput [2, 7], which, from the point of view of the systematic approach, is insufficient, since the individual properties, even if significant, but considered separately, do not reflect their mutual influence on each other.

For this reason, the evaluation of the effectiveness of the communication system is formally versatile but not complex. In an improved methodology, the accessibility indicator binds to the basic throughput and integral stability index, which includes partial indicators of survivability, noise immunity and reliability, which allows a comprehensive evaluation of the OTG communication system, and therefore, to make a more reasonable decision on its building.

### Conclusions

1. The identified contradictions between the needs of the management system and the capabilities of the communication system, as well as the differences in the estimates of its predicted and real efficiency in the main indicators can be resolved:

Organizationally can be resolved on the basis of the application of the principle of systematic, justification and implementation of a new territorially distributed structure, including the radio access network;

technically can be resolved by digitizing the communication system and translating it into a higher-quality technological platform with the predominant use of domestic communication means;

methodologically can be resolved by improving the methodology for evaluating its effectiveness and developing scientifically sound recommendations for the practical implementation and formation of the structure of a communications system that meets the modern and promising requirements of commanding troops.

2. Also, it is necessary to look not for an optimal solution, but for a rational solution between the required efficiency and the acceptable cost.

The direction of further research should be considered the development of methodological bases for the operational management of military radio communication facilities.

### REFERENCES

- 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.
- Korneyko, O.V., Kuvshinov, O.V. and Lezhniuk, O.P. (2010), *The basics of the theory of telecommunication*, Kyiv, 786 p.
- Varakin, L.E. (1970), *Theory of complex signals*, Radio, Mocsow, 304 p.
- Sklyar, B. (2007), *Digital communication. Theoretical foundations and practical application*, Williams, Moscow, 1104 p.
- Zhuk, O.G., Shyshatskiy, A.V., Zhuk, P.V. and Zhyvotovskyi, 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>
- Shyshatskyi, A.V., Olshanskyi, V.V. and Zhyvotovskyi, R.M. (2016), "Algorithm of the choosing working frequencies for facilities of military radio communication in the conditions of intentional interference", *Systems of armament and military equipment*, No. 2, pp. 62-66.
- Romanenko, I.O., Shyshatskyi, A.V., Zhyvotovskyi, R.M. and Petruk, S.M. (2017), "The concept of the organization of interaction of elements of military radio communication systems", *Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine*. No 1, pp. 97-100.
- Sova O.Ya., Romanuk, V.A. Zuk, P.V. and Umanec, Ya.L. (2012), "Synthesis methodology of smart nodes management systems of perspective mobile radio networks with dynamic topology", *Collection of scientific works of HUPS*, No 3. pp. 51-60.
- Sova, O.Ya., Minochkin, D.A., Romanyuk, V.A. and Zhuk, P.V. (2015), "Model of organization of information resources of intelligent management systems of nodes of mobile radio networks of the class MANET", *Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine*, No. 2(19). pp. 51-57.
- Golubtsov, S.G. and Leonovich G.A. (2009), "Methodology for assessing the effectiveness of the functioning of the field backbone communication network of an association by a comprehensive accessibility indicator", *Science and military security*, No. 3. pp. 23-29.

Надійшла (received) 08.11.2019  
Прийнята до друку (accepted for publication) 15.01.2020

### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**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>.

**Тюрніков Михайло Миколайович** – старший офіцер, Військова частина А0106, Київ, Україна;  
**Mykhailo 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>.

**Сугак Сергій Олександрович** – старший офіцер, Військова частина А0106, Київ, Україна;  
**Serhii Suhak** – competitor, Military unit A0106, Kyiv, Ukraine;  
e-mail: [sugak\\_01@ukr.net](mailto:sugak_01@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4687-323X>.

**Бондар Олексій Петрович** – начальник відділу, Військова частина А0224, Миколаїв, Україна;  
**Oleksii Bondar** – Head of Department, Military unit A0224, Mykolaiv, Ukraine;  
e-mail: [phoenix791981@ukr.net](mailto:phoenix791981@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5658-1495>.

**Мельник Артур Олександрович** – начальник вузла, Вузол зв’язку Державної служби Спеціального зв’язку та захисту інформації України, Одеса, Україна;  
**Artur Melnyk** – Head of the node, State Service of Special Communication and Information Protection Service of Ukraine, Odessa, Ukraine;  
e-mail: [Shooter3101@gmail.com](mailto:Shooter3101@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9215-889X>.

**Бохно Тарас Романович** – начальник редакційно-видавничого відділу, Військовий інститут телекомуникацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна;  
**Taras Bokhno** – Head of the editorial and publishing department, Military institute of telecommunications and informatization named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine;  
e-mail: [Taras.Bokhno@ukr.net](mailto:Taras.Bokhno@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7033-8723>.  
**Ляшенко Ганна Тарасівна** – науковий співробітник науково-дослідного відділу, Військовий інститут телекомуникацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна;  
**Anna Lyashenko** – Research Associate, Military institute of telecommunications and informatization named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine;  
e-mail: [Anutka-2-0-0-8@ukr.net](mailto:Anutka-2-0-0-8@ukr.net); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5318-8663>.

### **Методика оцінки ефективності системи зв’язку оперативного угрупування військ**

А. В. Шишацький, С. О. Сугак, М. М. Тюрніков, Г. Т. Ляшенко, Т. Р. Бохно, О. П. Бондар, А. О. Мельник

**Анотація.** Найбільш характерними особливостями побудови систем зв’язку військового призначення є високий ступінь априорної невизначеності стосовно оперативної обстановки та малий обсяг вихідних даних для планування зв’язку. У таких умовах важливий правильний вибір апарату оцінки прийнятих управлінських рішень, який дозволить посадовим особам органів управління системою зв’язку бути впевненим у рішеннях, що приймаються. Прийняття рішення на побудову системи зв’язку будь-якого рівня, як правило, включає визначення мети її функціонування, вибір показників і обґрутування критеріїв оцінки, синтез альтернативних структур і пошук раціонального варіанту розгортання системи зв’язку. Практика військ переконливо показала, що в теорії та практиці організації зв’язку виникла необхідність в удосконаленні науково-методичного апарату, що буде відповідати сучасним умовам функціонування систем управління та забезпечувати більш адекватну оцінку ефективності систем зв’язку, що розгортаються. В зазначеній статті авторами запропоновано методику оцінки ефективності системи зв’язку оперативного угрупування військ. Зазначена методика заснована на використання показника доступності системи зв’язку з першого разу. В ході зазначеного дослідження авторами використані основні положення теорії зв’язку, теорії завадостійкості та розвідзахищеності. Новизна запропонованої методики полягає в тому, що система зв’язку оперативного угрупування військ оцінюється по узагальненному показнику доступності канальних та мережевих ресурсів системи зв’язку оперативного угрупування військ. Практичне значення запропонованої методики полягає в тому, що зазначена методика дозволяє більш точніше оцінити систему зв’язку, визначити заходи щодо розгортання системи зв’язку та виробити заходи стосовно підвищення ефективності системи зв’язку оперативного угрупування військ.

**Ключові слова:** оцінювання системи зв’язку; ефективність; завадозахищеність; розвідзахищеність; оперативне угрупування військ.

### **Методика оценки эффективности системы связи оперативной группировки войск**

А. В. Шишацкий, С. А. Сугак, М. Н. Тюрников, А. Т. Ляшенко, Т. Р. Бохно, А. П. Бондарь, А. А. Мельник

**Аннотация.** Наиболее характерными особенностями построения систем связи военного назначения является высокая степень априорной неопределенности относительно оперативной обстановки и малый объем исходных данных для планирования связи. В таких условиях важен правильный выбор аппарата оценки принимаемых управлительских решений, который позволит должностным лицам органов управления системой связи быть уверенным в решениях, которые принимаются. Принятие решения на построение системы связи любого уровня, как правило, включает определение цели ее функционирования, выбор показателей и обоснование критерии оценки, синтез альтернативных структур и поиск рационального варианта развертывания системы связи. Практика войск убедительно показала, что в теории и практике организации связи возникла необходимость в совершенствовании научно-методического аппарата, который будет соответствовать современным условиям функционирования систем управления и обеспечивать более адекватную оценку эффективности систем связи, разворачиваются. В указанной статье авторами предложена методика оценки эффективности системы связи оперативной группировки войск. Указанная методика основана на использовании показателя доступности системы связи с первого раза. В ходе указанного исследования авторами использованы основные положения теории связи, теории помехоустойчивости и разведзахищённости. Новизна предложенной методики заключается в том, что система связи оперативной группировки войск оценивается по обобщенному показателю доступности канальных и сетевых ресурсов системы связи оперативной группировки войск. Практическое значение предложенной методики заключается в том, что указанная методика позволяет более точно оценить систему связи, определить меры по развертыванию системы связи и выработать меры по повышению эффективности системы связи оперативной группировки войск.

**Ключевые слова:** оценка системы связи; эффективность; помехозащищенность; разведзахищённость; оперативная группировка войск.

# Intelligent information systems

УДК 004. 932.2:004.93'1

doi: 10.20998/2522-9052.2020.1.17

В. О. Гороховатський<sup>1</sup>, Д. В. Пупченко<sup>1</sup>, Н. І. Стяглик<sup>2</sup><sup>1</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна<sup>2</sup> Харківський навчально-науковий інститут ДВНЗ Університет банківської справи, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСФОРМАЦІЙ ПРОСТОРУ ДАНИХ ПРИ НАВЧАННІ МЕРЕЖІ КОХОНЕНА У МЕТОДАХ СТРУКТУРНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

**Анотація.** Предметом досліджень статті є модифікація засобів навчання мережі Кохонена задля класифікації зображень у системах комп’ютерного зору. **Метою** є визначення нового простору даних для навчання мережі та створення ефективного методу класифікації на основі множини дескрипторів ключових точок. **Завдання:** застосування нейронної мережі Кохонена для навчання системи класифікації у визначеному просторі даних, трансформація простору даних навчання мережі, вивчення адаптаційних можливостей і оцінювання ефективності функціонування мережі засобами програмного моделювання. **Методами:** є: інтелектуальний аналіз даних, апарат структурної класифікації зображень, детектор ORB для визначення дескрипторів ключових точок, засоби навчання мережі Кохонена, програмне моделювання. Отримані такі **результати.** Запропоновано моделі трансформації даних, які підвищують результивність навчання. Проведено порівняльний аналіз розроблених методів навчання та класифікації. Здійснена програмна реалізація системи класифікації, експериментально проведено дослідження її ефективності та оцінювання часу оброблення. **Висновки.** Наукова новизна дослідження полягає в удосконаленні методів структурної класифікації з використанням навчання мережі Кохонена шляхом впровадження нового простору даних на базі центрів описів еталонів та згортання даних, що сприяє забезпечення високої результивності класифікації при достатній швидкодії та дає можливість використовувати модифіковані методи у застосунках реального часу. **Практичну значимість** роботи складають отримані моделі програмного забезпечення для оцінювання ефективності класифікаторів у системах комп’ютерного зору, підтверджена ефективність розробок на прикладах баз даних зображень.

**Ключові слова:** комп’ютерний зір; структурне розпізнавання зображень; ключові точки зображення; дескриптор; детектор ORB; мережа Кохонена; навчання мережі; простір даних; програмне моделювання; база зображень.

### Вступ

У комп’ютерних системах розпізнавання візуальних об’єктів визначними показниками є результивність та час оброблення. У зв’язку з цим у прикладних задачах набули поширення методи структурної класифікації зображень, побудовані на вживанні нейронних мереж для виявлення закономірностей на множині ознак структурних описів бази зразків [1-3]. Останнім часом впроваджуються структурні методи, засновані на детектуванні ключових точок (КТ) зображень [3-6]. КТ – це числовий вектор (дескриптор), що координатно зафіксований у точці зображення і відображає властивості деякого околу. Основні переваги сучасних детекторів, таких як ORB, BRISK [5, 6], полягають в забезпеченні високої швидкодії при порівняльній або кращій точності, ніж у їх аналогів SIFT та SURF, за рахунок істотного спрощення процесу обробки впровадженням дескрипторів бінарного типу.

Цікавим для науки про дані є вивчення адаптаційних властивостей і параметричних характеристик нейронних мереж стосовно навчання в задачах класифікації зображень за множиною дескрипторів КТ [7-9], де спостерігається необмежена різноманітність аналізованих даних, важливим є також дослідження ефективності схем навчання мереж, які враховують ступінь близькості елементів різних класів у просторі ознак.

Імплементація мереж Кохонена у процес класифікації дає можливість універсально і з успіхом на-

лаштовуватися на довільні набори візуальних даних [2, 7]. Якість класифікації напряму залежить від результатів навчання мережі на множині описів навчальної вибірки. Провідним для класифікації є вивчення можливостей і властивостей процесу навчання нейронної мережі в плані найбільш ефективного використання чи трансформацій простору даних, а також дослідження поглиблених схем навчання.

**Метою роботи** є створення високоефективного методу класифікації в межах бази еталонів на основі детектування дескрипторів КТ та визначення нового простору даних для навчання мережі. Завданнями роботи є застосування нейронної мережі Кохонена для навчання системи класифікації у визначеному просторі даних, вивчення адаптаційних можливостей і оцінювання ефективності функціонування мережі засобами програмного моделювання.

### Класифікація на основі навчання мережі Кохонена

Нехай  $W = \{x | x \in R^n\}$ ,  $W \subseteq R^n$  – простір структурних ознак (дескрипторів КТ) зображень. База описів еталонів  $Z \subset W$  задана як множина  $Z = \{Z^j\}_{j=1}^J$ ,  $s_j = \text{card } Z^j$ ,  $s = \text{card } Z$ ,  $s = \sum_j s_j$ . Кожна ознака  $x_i^j \in Z^j$  асоціюється з деяким еталоном  $Z^j$  в плані належності до його складу, бо база зразків задана. Основною задачею навчання мережі є налагодження класифікатора на ефективне використання розміщеної в описах еталонної інформації.

Розглянемо навчання як послідовність етапів.

1. Виберемо елементи навчальної множини у вигляді сукупності  $Z = \{Z^j\}_{j=1}^J$  описів усіх з елементів бази еталонів.

2. Ініціюємо матрицю  $M = \{m_j\}_{j=1}^J$  ваг, рядками якої є сформовані вектора нейронів  $m_j$  – центрів класів так, що  $m_j = x_i^j$ ,  $x_i^j \in Z^j$ , де  $i$  – номер довільного вектора із класу зразків  $Z^j$ .

3. Виберемо поточний елемент  $z \in Z$ , для кожного  $j \in [1, 2, \dots, J]$  обчислимо відстань  $q_j = \rho(z, m_j)$  і визначимо клас  $d$  нейрона-переможця:  $d = \arg \min_j q_j$ .

4. Обчислимо зміни ваг для нейронів вихідного шару мережі

$$\Delta m_j = h(j, d, t) \cdot \eta \cdot (z - m_j),$$

де  $\eta$  – коефіцієнт швидкості навчання;  $h(j, d, t)$  – значення функції околиці для нейрона з номером  $j$  в момент часу навчання  $t$ ; зазвичай  $h(j, d, t) = \exp[-\rho(j, d)/\sigma(t)]$  визначають у вигляді гаусової функції, а радіус  $\sigma(t) = 1/\exp(t^{-2})$  околиці зменшують зі збільшенням параметра  $t$ ,  $t = 1, \dots, s$ .

5. Коректуємо матрицю ваг  $M = M + \Delta M$  на кроці  $t$ .

6. Продовжуємо навчання (п. 3-5) до завершення списку  $Z$ .

7. Перевіряємо виконання умови припинення навчання. При невиконанні умови продовжуємо навчання, вибір даних із набору  $Z$  здійснюється у фіксованому або випадковому порядку.

Застосуємо поширений критерій зупинки навчання у вигляді фіксованої кількості ітерацій [7]. Цей вибір зроблено для оцінювання та порівняння часу навчання у сформованих просторах даних.

У результаті навчання отримуємо систему, адаптовану для розпізнавання довільних структурних описів на підставі навчальної вибірки бази еталонів. Вибір метрики у п. 3 визначається простором дескрипторів і способом формування центрів. Для здійснення навчання у експериментах використаємо квадрат евклідової метрики, зважаючи на те, для бінарних ознак значення метрики Хемінга та евклідової відстані співпадають.

Якість класифікації безпосередньо залежить від результатів навчання системи і від змісту структурних описів навчальної вибірки.

Розглянемо прикладні варіанти модифікації для визначення простору навчальних даних:

а) множини дескрипторів для кожного зразка;  
б) множини дескрипторів зразків, для яких по-передньо застосовано процедури формування центрів класів [2];

в) центри для кожного зразка класу; цей варіант відрізняється від б) тим, що центри кожного зразка вважаються самостійною одиницею у мережі, на якій проходить навчання і класифікація;

г) використання процедури згортки для множини дескрипторів кожного зразка.

Ефективність класифікації безпосередньо залежить від таких факторів: початкова база даних, простір даних для навчання, застосовані методи по-передньої обробки (метод формування дескрипторів чи центрів), метрика для порівняння дескрипторів, кортеж адаптованих нейронів. Критерієм для оцінювання якості класифікації (значення помилки) виберемо величину, що підраховує частку елементів навчальної вибірки  $Z$ , що за результатом класифікації потрапили «не в свої» класи:

$$\beta = \sum_{j=1}^J (s_j - a_j) / s, \quad (1)$$

де  $a_j$  – кількість ознак із загальної їх кількості  $s_j$  в описі еталона  $Z^j$ , віднесеніх у процесі класифікації до класу  $j$ . Значення  $\beta$  відображає рівень помилкових рішень при класифікації множини  $Z$ . Чим більше  $\beta$  до нуля, тим вище досягнуто якість класифікації на навчальній вибірці.

### Способи трансформації простору для навчального процесу мережі

З огляду на бінарне подання дескрипторів ORB, для кожного еталонного опису  $Z^i$  визначимо вектор центру класу на основі логічного правила, яке порівнює загальну кількість одиниць для кожного з 256 бітів усієї множини дескрипторів опису з половиною від їх числа [2, 3]:

$$m_i(b) = \begin{cases} 1, & \sum_{d=1}^{s(i)} x_d(b) \geq s(i)/2; \\ 0, & \sum_{d=1}^{s(i)} x_d(b) < s(i)/2; \end{cases} \quad (2)$$

$$x_d \in Z^i, b = 1, \dots, 256,$$

де  $x_d(b)$  – біт з номером  $b$  дескриптора з номером  $d$  в описі еталону.

Відповідно до (2) значення кожного з бітів центру  $m_i$  визначається значеннями бітів всіх дескрипторів, що належать еталону з номером  $i$ . Центр (2) відражає властивості еталона (класу).

Важливою характеристикою для варіантів а) та б) навчання мережі Кохонена є час навчання [8]. Потенційна необхідність збільшувати кількість КТ, через те що не всі КТ сприяють результативній класифікації, вносить необхідність розглянути альтернативи методу (2), з метою скорочення часу навчання та класифікації. Іншим варіантом є використання методів по-передньої обробки для отримання опису зображення. Головний функціонал нейромереж – це узагальнення системи ознак. Наприклад у згорткових нейромережах обробленням досягається суттєве скорочення кількості параметрів моделі для мінімізації перенавчання [8, 13].

Інтерпретуємо карту характеристик зображення, що описана дескрипторами еталону  $Z$ , у вигляді вектору ймовірностей

$$p^i = \left[ \sum_{d=1}^{s(i)} x_d(b) \right] / s(i), \quad (3)$$

у значеннях вектору  $p^i$  інтегрується просторова інформація опису  $Z^i$  шляхом додавання значень бітів дескрипторів для отримання скороченої моделі даних [12]. Вектор  $p^i$  узагальнює характеристики зображення через подання частоти появи одиниці в кожному з 256 бітів дескриптору ORB.

Подаємо нормовані вектори (3) на вхід нейронної мережі і тренуємо мережу тільки на них. Класифікація за варіантом г) також ґрунтуються на значеннях (3). На рис. 1 наведено приклад фрагменту значень вектору (3) для зображення.

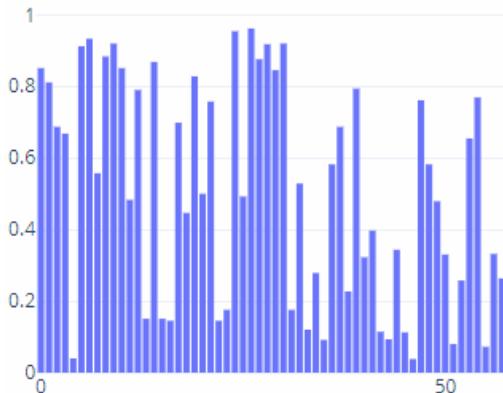


Рис. 1. Приклад фрагменту вектору  $p^i$

Вектори  $p^i$  можна використовувати для довільних типів мереж, що загалом значно знижує час навчання за рахунок обробки одного вектору там, де традиційно оброблялися сотні векторів.

### Результати експериментальних досліджень

Для реалізації методу класифікації обрано середовище VS Community 2019 і засоби бібліотеки OpenCV [18]. Бібліотека OpenCV має більше 2500 оптимізованих класичних та сучасних алгоритмів комп'ютерного зору і машинного навчання.

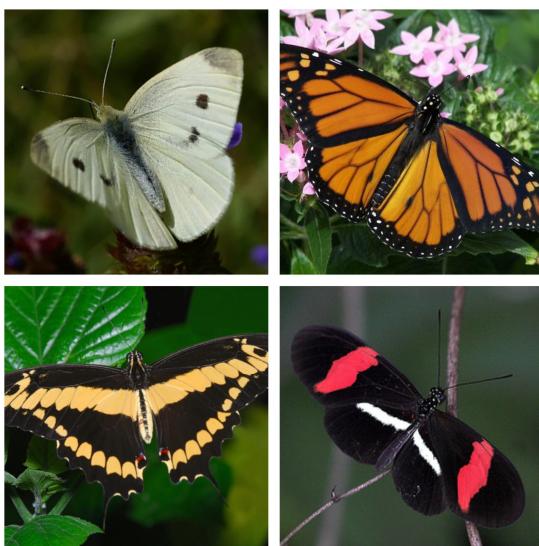


Рис. 2. Тестові зображення

Вибрані для експерименту категорії розпізнаваних зображень показано на прикладі бази Leeds Butterfly [14-16] (рис. 2). Рис. 3 містить приклад координат сформованих КТ.



Рис. 3. Приклад еталону з координатами КТ

Протестовані варіанти числа дескрипторів на кожному еталоні: 400 та 100 задля вивчення впливу на швидкодію. Також протестовані два варіанти для кількості епох мережі Кохонена 100 та 200 задля досягнення балансу швидкодії і точності. Апробоване збільшення числа ітерацій до 300 або 400 не сприяє зростанню результативності класифікації, але час навчання суттєво зростає.

Варіанти з підстроюванням нейрона переможця, чи трьох нейронів, найближчих за відстанню до нейрона переможця, дозволяють виконувати розпізнавання швидше або точніше [2].

Досліджено варіанти а) – г) методів навчання та класифікації за 4 класами з використанням 4-х категорій еталонів (рис. 2). Час навчання мережі залежить від факторів: кількість епох, число дескрипторів на кожний еталон та число нейронів, які змінюються у процесі навчання мережі. Кількість дескрипторів для кожного еталону коливалася у межах 375...400.

Результати дослідження варіанту а) для тестового прикладу показали, що цей підхід не дає можливості результативно класифікувати вибрані еталони. Значення  $\beta = 0,65$ , час роботи склав 14,94 с. Це аргументує застосування трансформації простору даних у вигляді підходів попереднього оброблення або побудови центрів з метою покращення ефективності.

Процедура навчання для варіанту б) проведена на двох різних зображеннях кожного із 4-х еталонів, число ітерацій – 200. Час класифікації склав 4.98 с.

Значення  $\beta = 0,31$ , за табл. 1 спостерігається висока ступінь розрізнення: максимуми значень знаходяться на діагоналях, перевищують інші елементи, усі еталони класифіковані вірно. Використання мережі при розрахунку центрів за (2) значно знижує похибку класифікації: з 0,65 для методу а) до 0,31 для методу б).

Проаналізуємо результативність класифікації на 15 тестових еталонах із застосуванням варіантів, різних за числом змінюваних нейронів, кількістю дескрипторів для кожного еталону та значеннями ітерацій мережі.

Для варіантів у 400 дескрипторів на еталон помилка класифікації коливалася у межах 0,33 – 0,28. Для варіантів зі 100 дескрипторами помилка природно збільшилась і становила 0,46 – 0,29.

Таблиця 1 – Результат класифікації за методом б)

Еталони	Класи			
	1	2	3	4
$Z^1$	279	33	27	61
$Z^2$	58	288	25	29
$Z^3$	36	91	228	23
$Z^4$	88	9	3	300

Основною залежністю є результативність від числа ітерацій мережі. Найкращі результати отримані для 400 дескрипторів, де навіть при незначному числі у 100 ітерацій мережі вдалося досягнути невисокого показника помилки 0,28.

Зміна кількості (1 чи 3) адаптованих нейронів майже не впливає на показники навчання, але впливає на помилку класифікації і на число помилково класифікованих даних. Модифікація одного нейрону практична тільки для ітерацій 200 та значному числі дескрипторів. Але навіть при цих умовах помилка класифікації на 10% більше ніж у відповідних варіантах з модифікацією 3-х нейронів, а кількість помилок зросла від 0 до 2. Найкращий результат отримано на кількості ітерацій 200 за 3-ма нейронами, при цьому коректно класифіковано всі класи еталонів з помилкою 0,23.

Час роботи для варіантів з 400 дескрипторами склав 13.7...16.21 с, для варіантів зі 100 дескрипторами 6.2...7.9 с. Метод б) показав найвищий рівень розрізнення у порівнянні з іншими, однак потребує значних обсягів часу.

Експерименти показали, що час оброблення у методі в) вдалося значно знизити у порівнянні з іншими методами, він склав 2.27...2.77 с. Помилка коливалась у межах 0,20...0,34.

Основний вплив на результативність та час класифікації має кількість дескрипторів у еталоні та число ітерацій. Найкращі результати отримані при 200 ітераціях, причому навіть при використанні 100 дескрипторів помилка склала 0,2. Змінення кількості адаптованих нейронів майже не впливає ні на показники часу роботи мережі, ні на результативність класифікації. Недоліком цього методу є те, що така мережа працює з прямим віднесенням до класу і немає можливості оцінювати кількість класифікованих дескрипторів еталону як ймовірність належності класу.

У варіанті г) застосуємо визначення (3) і обчислимо для дескрипторів кожного еталону вектор ймовірностей появи одиниці в кожному біті. Помилка для найліпших варіантів мережі (400 дескрипторів та 200 ітерацій) суттєво знижилася – до 0,06, невірно класифікований тільки один еталон. При зниженні числа дескрипторів помилка зростає до 0,34. Зниження числа ітерацій до 100 призводить до помилки 0,20.

Отримані результати показали чітку залежність між коректною класифікацією та кількістю дескрипторів у еталоні. Число ітерацій також є важливим

параметром, що посилює класифікаційні можливості мережі, а кількість адаптованих нейронів майже не впливає на результат.

Метод г) значно скорочує час роботи нейронної мережі в порівнянні з іншими методами без погрішенні якості. Якість класифікації для варіантів б) та г) майже співпадає. Час оброблення знишився майже у 8 раз (з 16.21 до 2.82 с для варіантів з аналогічною якістю), що дозволяє потенційно використовувати підхід г) для об'ємних баз зображень, у застосунках реального часу, при обробленні відеосигналів, тощо. Зазначений час потенційно дозволяє обробляти кожен десятий кадр відео з частотою оновлення у 60 кадрів в секунду.

## Висновки

Стаття містить результати порівняльного аналізу розроблених методів навчання та класифікації для експериментальних зображень бази Leeds Butterfly при різних параметрах функціонування класифікаційної мережі Кохонена. Дослідження підтвердило здатність універсально адаптувати параметри мережі для довільних візуальних даних, особливо результативними є трансформації з використанням центрів класів та згортання даних на етапі переднього оброблення.

Найкращу результативність показали методи із формуванням системи центрів для кожного зразка класу та використанням згортки для системи центрів, причому застосування згортки суттєво збільшує швидкодію оброблення даних у порівнянні з іншими варіантами.

Наукова новизна дослідження полягає в удосконаленні методів структурної класифікації з використанням навчання мережі Кохонена шляхом впровадження нового простору даних на базі центрів описів еталонів та згортання даних, що сприяє забезпечення високої результативності класифікації при достатній швидкодії та дає можливість використовувати модифіковані методи у застосунках реального часу. Практичну значимість роботи складають отримані моделі програмного забезпечення для оцінювання ефективності класифікаторів у системах комп’ютерного зору, підтверджена ефективність розробок у прикладах баз даних зображень.

Подальше поліпшення продуктивності може бути досягнуто за рахунок підходів навчання з учителем, оскільки класи дескрипторів бази даних відомі. Однак, модернізація потенційно ускладнює оброблення, що впливає на швидкодію.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гороховатский В.А. () Структурный анализ и интеллектуальная обработка данных в компьютерном зрении. Харьков: СМИТ, 2014. 316 с.
2. Гороховатский В.А., Пупченко Д.В. Классификация изображений визуальных объектов по множеству дескрипторов особенных точек на основе нейронной сети Кохонена. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. №2 (48). – С. 68-72.
3. Гороховатський В.О., Пупченко Д.В., Солодченко К.Г. Аналіз властивостей, характеристик та результатів застосування новітніх детекторів для визначення особливих точок зображення. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. №1 (47), С. 93-98.
4. Gorokhovatskyi V.A. Image Classification Methods in the Space of Descriptions in the Form of a Set of the Key Point Descriptors. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2018. 77 (9). P. 787-797.
5. Leutenegger, S., Chli, M., Siegwart, R.Y. BRISK: Binary Robust Invariant Scalable Keypoints. *Computer Vision (ICCV)*. 2011. P. 2548-2555.
6. Ethan Rublee, Vincent Rabaud, Kurt Konolige, Gary Bradski. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF. *Computer Vision (ICCV)*, IEEE International Conference on IEEE. 2011. P. 2564-2571.
7. Кохонен Т. Самоорганизующиеся карты. Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 655 с.
8. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. М.: Финансы и статистика, 2002. 344 с.
9. Борисов Е. Кластеризатор на основе нейронной сети Кохонена [Электронный ресурс]. Режим доступа к материалу: <http://mechanoid.kiev.ua/neural-net-kohonen-clusterization.html>
10. Mousavi S.M.H., Lyashenko V. Extracting old Persian cuneiform font out of noisy images (handwritten or inscription). *10th Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing (MVIP)*, 2017. P. 241-246.
11. Han J., Kamber, M. Data Mining: Concepts and Techniques. Amsterdam: Morgan Kaufmann Publishers, 2006. 754 p.
12. Gadetska S.V., Gorokhovatsky V.O. Statistical measures for computation of the image relevance of visual objects in the structural image classification methods. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2018. 77 (12), P. 1041-1053.
13. Lin M., Chen Q., Yan S. Network in network. *arXiv preprint arXiv:1312.4400*. 2013.
14. Josiah Wang, Katja Markert, Mark Everingham. Learning Models for Object Recognition from Natural Language Descriptions. *Proceedings of the 20th British Machine Vision Conference (BMVC-2009)*. 2009.
15. Wang J., Markert K., Everingham M. Learning Models for Object Recognition from Natural Language Descriptions. *Proceedings of the 20th British Machine Vision Conference – BMVC*. 2009. Vol. 1, P. 2.
16. Gorokhovatsky O., Gorokhovatskyi V., Peredrii O. Analysis of Application of Cluster Descriptions in Space of Characteristic Image Features. *Data*. 2018. 3(4), P. 52. DOI: <http://doi.org/10.3390/data3040052>.
17. Calonder M., Lepetit V., Strecha C., Fua P. Brief: Binary robust independent elementary features. European conference on computer vision. Springer, Berlin. 2010. P. 778-792
18. OpenCV foundation. OpenCV: Image Thresholding. 2017. Available at: [https://docs.opencv.org/3.3.0/d7/d4d/tutorial\\_py\\_thresholding.html](https://docs.opencv.org/3.3.0/d7/d4d/tutorial_py_thresholding.html)

## REFERENCES

1. Gorokhovatsky, V.O. (2014), *Structural analysis and data mining in computer vision*, SMIT, Kharkiv, 316 p.
2. Gorokhovatsky, V.O. and Pupchenko, D.V. (2018), “Classification of images of visual objects according to the set of descriptors of singular points based on the Kohonen neural network”, *Control, navigation and communication systems*, No. 2 (48), pp. 68-72.
3. Gorokhovatsky, V.O., Pupchenko, D.V. and Solodchenko, K.G. (2018), “Analysis of the properties, characteristics and results of using the latest detectors to determine specific points of the image”, *Control, navigation and communication systems*, No. 1 (47), pp. 93-98.
4. Gorokhovatsky, V.A. (2018), “Image Classification Methods in the Space of Descriptions in the Form of a Set of the Key Point Descriptors”, *Telecommunications and Radio Engineering*, 77 (9), pp. 787-797.
5. Leutenegger, S., Chli, M. and Siegwart, R.Y. (2011), “BRISK: Binary Robust Invariant Scalable Keypoints”, *Computer Vision (ICCV)*, pp. 2548-2555.
6. Ethan, Rublee, Vincent, Rabaud, Kurt, Konolige and Gary, Bradski (2011), “ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF”, *Computer Vision (ICCV)*, IEEE International Conference on IEEE, pp. 2564-2571.
7. Kohonen, T. (2013), *Self-organizing maps*, BINOM. Laboratory of Knowledge, Moscow, 655 p.
8. Osovsky, S. (2002), *Neural networks for information processing*, Finance and statistics, Moscow, 344 p.
9. Borisov, E. (2014), *Cluster based on the Kohonen neural network*, available at: <http://mechanoid.kiev.ua/neural-net-kohonen-clusterization.html>
10. Mousavi, S.M.H. and Lyashenko, V. (2017), “Extracting old persian cuneiform font out of noisy images (handwritten or inscription)”, *10th Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing (MVIP)*, pp. 241-246.
11. Han, J. and Kamber, M., (2006), *Data Mining: Concepts and Techniques*, Morgan Kaufmann Publishers, Amsterdam, 754 p.
12. Gadetska, S.V. and Gorokhovatsky, V.O. (2018), “Statistical Measures for Computation of the Image Relevance of Visual Objects in the Structural Image Classification Methods”, *Telecommunications and Radio Engineering*, 77 (12), pp. 1041–1053.
13. Lin, M., Chen, Q., and Yan, S. (2013), “Network in network”, *arXiv preprint arXiv:1312.4400*.
14. Josiah, Wang, Katja, Markert, and Mark, Everingham (2009), “Learning Models for Object Recognition from Natural Language Descriptions”, *Proceedings of the 20th British Machine Vision Conference (BMVC2009)*, September 2009.
15. Wang, J., Markert, K., and Everingham, M. (2009), “Learning Models for Object Recognition from Natural Language Descriptions”, *BMVC*, Vol. 1, p. 2.
16. Gorokhovatsky, O., Gorokhovatskyi, V. and Peredrii, O. (2018), “Analysis of Application of Cluster Descriptions in Space of Characteristic Image Features”, *Data*, 3(4), 52, DOI: <http://doi.org/10.3390/data3040052>
17. Calonder, M., Lepetit, V., Strecha, C. and Fua, P. (2010), “Brief: Binary robust independent elementary features”, European conference on computer vision, Springer, Berlin, pp. 778-792.

18. OpenCV foundation (2017), *OpenCV: Image Thresholding*, available at:

[https://docs.opencv.org/3.3.0/d7/d4d/tutorial\\_py\\_thresholding.html](https://docs.opencv.org/3.3.0/d7/d4d/tutorial_py_thresholding.html)

Надійшла (received) 12.11.2019

Прийнята до друку (accepted for publication) 22.01.2020

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Гороховатський Володимир Олексійович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформатики, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;

**Volodymyr Gorokhovatsky** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Computer Science Department, Kharkiv National University of RadioElectronics, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [gorohovatsky.vl@gmail.com](mailto:gorohovatsky.vl@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7839-6223>.

**Пупченко Дмитро Вікторович** – магістрант кафедри інформатики, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;

**Dmytro Pupchenko** – Undergraduate of Computer Science Department, Kharkiv National University of RadioElectronics, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [dmytro.pupchenko@nure.ua](mailto:dmytro.pupchenko@nure.ua); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7438-1382>.

**Стяглик Наталя Іванівна** – кандидат педагогічних наук, завідувач кафедри інформаційних технологій, Харківський навчально-науковий інститут ДВНЗ Університет банківської справи, Харків, Україна;

**Natalia Stiahlyk** – Candidate of Pedagogical Sciences, Head of information technology Department, Kharkiv educational and scientific institute of SHEI “Banking University”, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [natasstyaglick@gmail.com](mailto:natasstyaglick@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5938-2013>.

#### Исследование трансформаций пространства данных при обучении сети Кохонена в методах структурной классификации изображений

В. А. Гороховатский, Д. В. Пупченко, Н. И. Стяглик

**Аннотация.** Предметом исследований статьи есть модификация средств обучения сети Кохонена для классификации изображений в системах компьютерного зрения. Цель – определение нового пространства данных для обучения сети и создания эффективного метода классификации на основе множества дескрипторов ключевых точек. Задания: применение нейронной сети Кохонена для обучения системы классификации в определенном пространстве данных, трансформация пространства данных для обучения сети, изучение адаптационных возможностей и оценивание эффективности функционирования сети средствами программного моделирования. Методы: интеллектуальный анализ данных, аппарат структурной классификации изображений, детектор ORB для определения дескрипторов ключевых точек, средства обучения сети Кохонена, программное моделирование. Получены такие результаты. Предложены модели трансформации данных, которые повышают результативность обучения. Проведен сравнительный анализ разработанных методов обучения и классификации. Осуществлена программная реализация системы классификации, экспериментально проведено исследование её эффективности и оценивание времени обработки. Выводы. Научная новизна исследования состоит в усовершенствовании методов структурной классификации с использованием обучения сети Кохонена путем внедрения нового пространства данных на основе центров описаний эталонов и свертки данных, что обеспечивает высокую результативность классификации при достаточном быстродействии и дает возможность применить модифицированные методы в приложениях реального времени. Практическая значимость работы состоит в получении моделей программного обеспечения для оценивания эффективности классификаторов в системах компьютерного зрения, подтверждена эффективность разработок на примерах баз данных изображений.

**Ключевые слова:** компьютерное зрение; структурное распознавание изображений; ключевые точки изображения; дескриптор; детектор ORB; сеть Кохонена; обучение сети; пространство данных; программное моделирование; база изображений.

#### Research of data space transformation in Kohonen network training for methods of structural classification of images

V. Gorokhovatsky, D. Pupchenko, N. Stiahlyk

**Abstract.** The subject of the article's research is the modification of Kohonen neural network training for image classification. The purpose is to define a new data space for network learning and to create an effective classification method based on a set of key point descriptors. Task: use of the Kohonen neural network to train the classification system in a certain data space, transform the data space of the training network, study adaptive capabilities and evaluate the effectiveness of the network by means of software modeling. The methods are: data mining, structural classification of images, ORB detector for determining key point descriptors, Kohonen network learning tools, software modeling. The following results were obtained: data transformation models that enhance learning performance are proposed. The comparative analysis of the developed methods of training and classification is made. A software implementation of the classification system has been carried out, its efficiency has been experimentally investigated and the processing time has been evaluated. Conclusions. The scientific novelty of the study is refining structural classification methods using Kohonen network by introducing a new center based clustering approach and a method for collapsing descriptor data, which contributes to high classification performance at sufficient speed and enables the use of these modified methods in real-time applications. The practical importance of the work is created by the models of software used to evaluate the performance of the classifiers in computer vision systems, and the proven effectiveness of the development on the specified image databases.

**Keywords:** computer vision; structural image recognition; key image points; descriptor; ORB detector; Kohonen network; network learning; data space; software modeling; image database.

# Methods of information systems protection

UDC 004.05

doi: 10.20998/2522-9052.2020.1.18

V. Pevnev, O. Popovichenko, Ya. Tsokota

National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine

## WEB APPLICATION PROTECTION TECHNOLOGIES

**Abstract.** The **subject matter** of the article is the vulnerabilities that there are in web applications. The **goal** is to analyze the problem of violation of information security of web applications. The **tasks** to be solved are: view statistics on web attacks on web applications; identify the main prerequisites for cyber-attacks; considered the most common types of vulnerabilities; suggest ways to create a secure application. The **methods** used are: analytical method, literature analysis, description. The following **results** were obtained: For each given type of vulnerability, a scenario of a possible attack by an attacker was considered. There were also suggested ways for developers to use these vulnerabilities and develop a secure web application. **Conclusions.** Keep in mind that the best protection for web applications is writing safe code. Developers who implement applications should be aware in advance of the existence of common types of attacks and how they work in order to protect applications and prevent possible cyber-attacks. It is best to use security methods comprehensively to protect your web application as much as possible.

**Keywords:** web application; vulnerability; attack; web applications protection; secure application.

### Introduction

Today, information technology (IT) is becoming more and more common in society. They are used in a wide variety of industries: social networks, email, news and government portals, electronic commerce, forums, blogs and other websites. Along with the development of IT, information security (IS) is becoming increasingly important. If we consider the historical perspective of the development of IS, it turns out that since 1996, when the Constitution of our state was adopted, until the moment of writing this work, the number of people who feel protected in the information field constantly falling. The point is not only in the avalanche-like growth in the use of IT, and most likely in the violations that the state makes in the information sphere. The growing requirements for providing IS are determined, first of all, by the development of IT. Potential violators have new opportunities for destructive actions in all areas of our lives. The most effective of these actions occur in cyberspace. Based on the foregoing, we can conclude the need to protect web applications.

**Formulation of the problem.** Depending on where the web application is used, information of different access levels and values can be processed in it. For example, applications can use information about bank cards, personal data of users, passwords and other identification data. No user is immune from the fact that his data can be copied or subjected to a number of influences of an accidental and malicious nature in the process of its processing, transmission and storage. Therefore, it is important for developers to provide IS for users.

All these listed resources can be implemented using web applications, which are a “client-server” architecture. In this concept (see Fig. 1), the client is the user's browser and the server is the web server. At the heart of the “client-server” concept, information is exchanged over the network, the client starts interacting and data is stored primarily on the server.

Basically, web applications have a distributed structure. The main advantages of this structure:

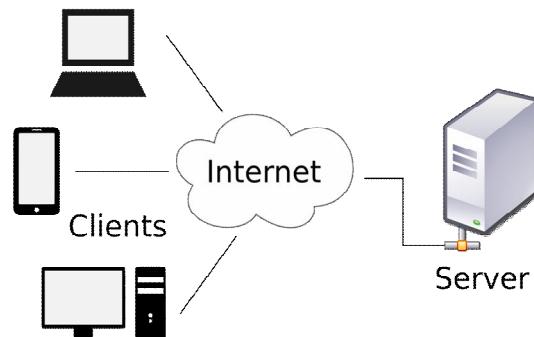


Fig. 1. The concept of “client-server”

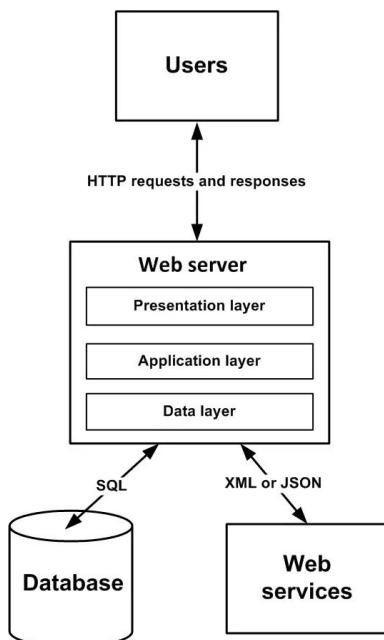
- good scalability – the ability to increase functionality without changing the structure;
- the availability of the ability to manage the load of the application – redirecting user request flows to less loaded servers [1].

The typical architecture of these applications can be represented in three levels: the client part (web browser), web server, data (DB) (Fig. 2).

**Analysis of recent research.** Every day, any website may be exposed to cyber attacks. Typically, most attacks are targeted. This means that the intruder is not limited to a single attempt to obtain the necessary data in an unauthorized way, since he does not know exactly which vulnerabilities are in the code. All attempts to hack a site add up to a series of events that occur over a certain period of time.

According to statistics for 2018, the largest number of attacks on one web application falls to the websites of financial organizations, transport companies and service companies (see Table 1) [2].

The choice of attack method depends on the features of the web application. Suppose, if the application does not provide the ability to enter user data, then the attacker will not conduct attacks aimed at changing the logic of the application through user input. The most popular attacks include: injecting SQL code, going outside the directory and cross-site scripting (Table 2).

**Fig. 2.** Distributed web application architecture**Table 1 – Average number of targeted attacks per day per web application**

The scope of the site	Number of attacks
Financial organizations	151
Transport companies	135
Services sector	114
IT companies	87
State institutions	86
Education and science	57

**Table 2 – Most popular attacks**

Type of attack	Percentage ratio
SQL Injection	27 %
Path Traversal	17 %
Cross-Site Scripting	14 %
Local File Inclusion	11 %
Information Leakage	8 %
OS Commanding	7 %
Brute Force	5 %
Remote Code Execution	2 %
Denial of Service	2 %
Server-Side Template Injection	1 %
Other	6 %

**The purpose of the article** is to consider the most common vulnerabilities in web applications and develop possible ways to create secure web applications.

### Research results

Most often, web applications are attacked because vulnerabilities are present in the application code [3]. Consider the most popular types of vulnerabilities present in web applications and find out what may be attacks on such applications.

The first category includes code problems associated with an unverified conversion and redirect. In such cases, an attacker tricks users into a dangerous site by manipulating the URL of a real site. Redirection typically uses the query string parameter returnUrl [4].

*Example of an attack:* first, the attacker assures the user to click on the link to the page of the source site for authorization, while he adds the value of the query string returnUrl to the URL.

Consider the web application on test.com with the login page <http://test.com/Log-in?returnUrl=/Home/>. After manipulating the value of the query string, the user clicks on the second URL test1.com, not test.com. Successfully logs in to your account. The site redirects the user to <http://test1.com/Log-in> (a malicious site that looks like a real one). The user logs in again, providing the malicious site with their credentials, and is redirected again to the real site. With such actions, the user might think that he was unable to log in the first time, not suspecting that his credentials were compromised. *To protect the application* from this attack it is necessary: during development, assume that all provided user data does not inspire confidence. If the web application contains functions that redirect users based on the contents of the URL, then redirection can only be implemented locally in the application or strictly behind a known URL, and not to any address in the query string. The second type of attack is the interworking of the request. In this case, the attacker exploits the flaws of the HTTP protocol. When a browser opens a page, malicious code is executed. It forces the user to send a specific request to the attacker's server. As a result, some actions are performed that are necessary for the attacker. *An example of such an attack:* suppose there is a fictional bank "Some bank". It has a page for sending cash payments to a specific account number. The request can look like this:

<http://www.somebank.com/bank/transfer.aspx?creditAccount=1001160141&transferAmount=1000>.

If the attacker found this link, then he can send a letter to the user, where he will first post the necessary link to his site (Fig. 3) [5]. For example, the letter will look like:

"Good afternoon, Some bank user!

Recently, we have implemented on our server several security improvements that require confirmation of your account. Use the following link."

In this case, when the user clicks on the link, he goes to the site and receives, for example, a message stating that an amount of \$1000 was transferred to account 1001160141.

When the user goes to this page, no action is required from him, since the form is automatically submitted when the URL is loaded.

There is the following way to protect the application using the referer header. Since most browsers tell the server which page the request was sent from, it is possible to reject the request on the server if the referer does not match the host domain name (Fig. 4).

*Another popular type of vulnerability* is the lack of access control. This means that high-level functionality is hidden from low-level functionality instead of making changes using access control [6]. Therefore, an attacker who acts as a low-level user can gain access, for example, to the web application administration interface. *An example of an attack would be this:* an application uses data in an SQL call that is not verified.

```

<html>
<body onLoad="document.getElementById('transferForm').submit()">

<form id="transferForm" action="http://www.somebank.com/bank/transfer.aspx" method="post">

<input type="hidden" name="creditAccount" value="1001160141">
<input type="hidden" name="transferAmount" value="10">

</form>

</body>

```

**Fig. 3.** Example code of an attacker page

```

If(request.getHeaders("referer") != null
&& request.getHeaders("referer").indexOf(
    "http://www.somebank.com") != 0){
    throw new Exception("Invalid referer");
}

```

**Fig. 4.** Example use of referer

Calling access to user account information:

```

stmt.setString(1, request.getParameter("acct"));
ResultSet results = stmt.executeQuery();

```

The attacker changes the "acct" parameter to send the desired account number:

<http://example.com/accountInfo?acct=notmyacc>

Without the necessary verification, an attacker could gain access to an account.

To prevent such an attack, you must first deny access by default, except for open resources. Access control features should be implemented and cross-domain resource usage should be minimized. And also limit the frequency of access to the API and controllers.

Unprotected direct object references are also a common drawback of web applications. This allows an attacker to obtain data from a server by manipulating file names. *An example of an attack:* imagine that there is an image that the hacker cannot access on the server, but who wants to hack and which is published via a URL similar to this <https://example.net/photos/774.jpg>. A generic HTTP request has the form:

GET /photos/774.jpg HTTP / 1.1  
Host: example.net

After logging into your account, the attacker can edit his personal images with a special URL in combination with the session cookie, for example:

<https://example.net/api/edit/?image=48.jpg>  
HTTP request generated:  
GET /api/edit/?image=48.jpg  
Host: example.net  
Cookie: authtoken = HRCALAGJEOWRGTMW

In this example, authtoken is a session cookie that tells the server that it is a user and that he is authenticated. But in the case that the server only checks the authtoken and does not check the name of the image on the account, then it is indeed allowed to edit this image. Then the attacker can reproduce the necessary request with the forbidden image of the file name in it, for example:

<https://example.net/api/edit/?image=774.jpg>  
HTTP request:  
GET /api/edit/?image=774.jpg

Host: example.net

Cookie: authtoken = HRCALAGJEOWRGTMW

In this case, it is necessary to check access to the use of direct object links from an unknown source, and it is also necessary to use only one user or one session for indirect references to objects [7].

One of the most popular types of vulnerabilities is cross-site scripting. This application defect allows attackers to insert JavaScript code on the pages of real sites. By doing so, they can replace the entire contents of the website in order to gain unauthorized access to user credentials. *Example of a possible scenario:* the developed application uses unverified data when generating HTML code without converting it. Let's say in this line of code:

```

(String) page += "" + request.getParameter("CC") + "";
An attacker can change the 'CC' parameter to:
<script>
    document.location = 'http://www.attacker.com/cgi-
    bin/cookie.cgi?
foo='+document.cookie
</script>

```

As a result, the user session identifier is sent to the attacker's site, allowing the attacker to intercept the victim's current session [8].

*To prevent such attacks,* you need to separate unverified data from the active content of the browser. First, you need to use frameworks with automatic data conversion (such as ReactJS or Vue.js). Secondly, it is necessary to apply context coding when changing a document in the user's browser to prevent cross-site scripting on the DOM.

A very common vulnerability in many web applications is authentication weaknesses. In this case, the attackers have access to combinations of names and passwords for attacks on accounts, lists of standard administrator credentials and dictionary attacks. For example, password authentication is not a reliable way to protect personal data, as users tend to choose simple passwords and the same passwords in different systems. In this case, the developer should not allow users to create simple passwords, do not allow passwords to be transmitted over an insecure HTTP connection or in the address bar, and should not allow session tokens to be transmitted over an insecure HTTP connection or in the URL bar. And also, allow users to change the password and notify them about changing the password, use secure hash functions to store passwords, and require re-authentication after important actions, such as changing the password, changing confidential information [9].

Finally, the most popular type of attack is injection. Injections allow hackers to change the server command request through unauthorized user input. Such implementations can lead to data loss or data corruption, and can also be used for the interests of third parties. Such consequences occur if the data entered by the user is not checked, not filtered or cleared. If non-parameterized calls without contextual screening are directly used in the interpreter. *Injection example:* an application uses untrusted data when creating the next vulnerable SQL call. For instance:

```
String query = "SELECT * FROM accounts
WHERE custID=" + re-
quest.getParameter("id") + """".
```

In this case, the attacker changes the value of the "id" parameter in his browser to send 'or' 1 =' 1. For instance:

<http://example.com/app/accountView?id=' or '1='1>

Modifying the query allows you to get all the entries from the credential table. More serious attacks allow you to modify or delete data, as well as call stored procedures [10].

In order to detect vulnerabilities in the code and understand how the system will respond to the attack – the application needs to be tested. The testing process is as similar as possible to the hacking process that an attacker conducts. The purpose of such actions is to determine how vulnerable the web application is [12].

According to the source [13], the most popular testing methodologies are:

- the Open Source Security Testing Methodology Manual;
- the National Institute of Standards and Technology (NIST) Special Publication 800-115;
- OWASP Testing Guide;
- Penetration Testing Execution Standard;
- Information Systems Security Assessment Framework.

To test the security of web applications, it is more appropriate to use the OWASP methodology. This

methodology is based on the black box method – information about the tested application is limited or absent at all [14].

Software security covers a very wide area of subjects. To have a secure software application you have to consider many things. Here is a little diagram (Fig. 5)

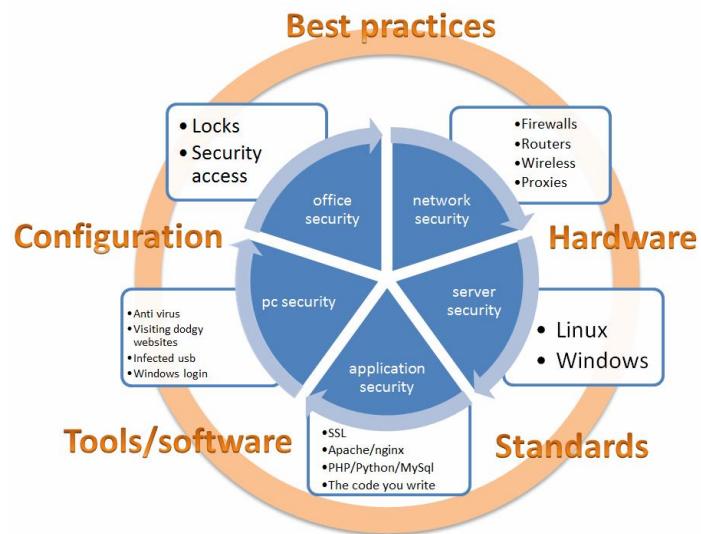


Fig. 5. Web security layered approach

what illustrate different areas of security, what they cover, and what needs to be considered [15-17].

## Conclusions

This article discusses some types of vulnerabilities in web applications and possible attacks using them. The proposed defense methods are based on creating secure code. Developers who implement applications should use their best efforts to study proven types of attacks. In addition, as preventive measures to ensure the IS of the developed applications, it is necessary to predict likely attacks on the web application. In addition, it is necessary to use an integrated approach to the creation of an information security system, which should combine measures to ensure confidentiality, accessibility and integrity of information.

## REFERENCES

1. Markov, E. (2019), *Distributed Application Architecture* [online], available at: <https://www.itweek.ru/infrastructure/article/detail.php?ID=66147>
2. Ptsecurity.com (2019), *Attacks on web applications: results of 2018* [online], available at: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/web-application-attacks-2019>
3. Habr.com (2015), *10 attacks on web applications in action*. [online], available at: <https://habr.com/ru/company/ua-hosting/blog/272205>
4. Docs.microsoft.com (2017), *Prevention of open redirect attacks in ASP.NET Core* [online], available at: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/aspnet/core/security/preventing-open-redirects?view=aspnetcore3.1>
5. Ionescu, P. (2014). *Prevention of falsification of cross-site requests: latent danger on browser tabs* [online], available at: <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/se-appscan-detect-csrf-xsrf/index.html>
6. Habr.com (2014), *Speedran for 13 vulnerabilities on sites. Basic concepts and means of protection* [online], available at: <https://habr.com/ru/post/226321>
7. Cadelta.ru (2019), *The best solutions for protecting sites and web-applications* [online], available at: <https://cadelta.ru/security/id3369>
8. Hackware.ru (2018), *Lesson 1. The basics of XSS and the search for sites vulnerable to XSS* [online], available at: <https://hackware.ru/?p=1174>
9. Habr.com (2015), *Overview of authentication methods and protocols in web applications* [online], available at: <https://habr.com/ru/company/dataart/blog/262817/>

10. Nalivaiko, A. (2017). *How to protect a web application: basic tips, tools, useful links* [online], available at: <https://tproger.ru/translations/webapp-security>
11. Owasp.org (2017), *The ten most critical threats to the security of web applications* [online], available at: [https://www.owasp.org/images/9/96/OWASP\\_Top\\_10-2017-ru.pdf](https://www.owasp.org/images/9/96/OWASP_Top_10-2017-ru.pdf)
12. Kalchenko, V. (2019), “Analysis of the existing methodology for conducting computer system security audits in government agencies”, *Control, navigation and communication systems*, 3(55), pp. 110-114.
13. Kalchenko, V. (2018), “An overview of penetration testing methods for assessing the security of computer systems”, *Control, navigation and communication systems*, 50, pp. 109-114.
14. Owasp.org (2017), *The ten most critical threats to the security of web applications* [online], available at: [https://www.owasp.org/images/9/96/OWASP\\_Top\\_10-2017-ru.pdf](https://www.owasp.org/images/9/96/OWASP_Top_10-2017-ru.pdf)
15. Svyrydov, A., Kuchuk, H., Tsiapa, O. (2018), “Improving efficiency of image recognition process: Approach and case study”, *Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies*, DESSERT 2018, pp. 593-597, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409201>
16. Mozhaev, O., Kuchuk H., Kuchuk, N., Mozhaev, M. and Lohvynenko M. (2017), “Multiservice network security metric”, *IEEE Advanced information and communication technologies-2017*, Proc. of the 2th Int. Conf, Lviv, pp. 133-136, DOI: <https://doi.org/10.1109/AIACT.2017.8020083>
17. Nalivaiko, A. (2017). *How to protect a web application: basic tips, tools, useful links*. [online], available at: <https://tproger.ru/translations/webapp-security/>.

Received (Надійшла) 14.12.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.02.2020

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Певнєв Володимир Яковлевич** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп’ютерних систем, мереж та кібербезпеки, Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;

**Volodymyr Pevnev**– Candidate of Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Computer Systems, Networks and Cyber security Department, National Aviation University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine; e-mail: [v.pevnev@csn.khai.edu](mailto:v.pevnev@csn.khai.edu); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3949-3514>.

**Поповіченко Оксана Миколаївна** – студентка кафедри комп’ютерних систем, мереж та кібербезпеки, Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;

**Oksana Popovichenko** – Student of Computer Systems, Networks and Cyber security Department, National Aviation University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine; e-mail: [o.popovichenko@student.csn.khai.edu](mailto:o.popovichenko@student.csn.khai.edu); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2083-0314>.

**Цокота Ярослав Віталійович** – студент кафедри комп’ютерних систем, мереж та кібербезпеки, Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;

**Yaroslav Tsokota** – Student of Computer Systems, Networks and Cyber security Department, National Aviation University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine; e-mail: [y.tsokota@student.csn.khai.edu](mailto:y.tsokota@student.csn.khai.edu); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6155-817X>.

## Технології захисту веб-застосунків

В. Я. Певнєв, О. М. Поповіченко, Я. В. Цокота

**Анотація.** Предметом вивчення в статті є уразливості, які присутні у веб-застосунках. Метою є дослідження проблеми порушення інформаційної беззпеки веб-застосунків. Завдання: ознайомитися зі статистикою веб-атак на веб-застосунки; виявити основні передумови до кібератак; розглянути типи уразливості, які зустрічаються найчастіше; запропонувати способи створення безпечного застосунку. Використовуваними методами є: аналітичний метод, аналіз літератури, опис. Отримані наступні результати. До кожного наведеного виду уразливості був розглянутий сценарій можливої атаки з боку зловмисника. Також були запропоновані методи для розробників, які дозволяють утилізувати дані уразливості та розробити безпечний веб-застосунок. Висновки. Необхідно пам'ятати, що найкращий захист веб-застосунків – написання безпечного коду. Розробники, які реалізують програми, повинні бути заздалегідь поінформовані про існування поширених типів атак та про принципах їх роботи, для того щоб реалізувати захист застосунків і запобігти можливим кібератакам. Найкраще використовувати методи захисту комплексно, щоб максимально захистити веб-застосунок.

**Ключові слова:** веб-застосунок; уразливість; атака; захист веб-застосунків; безпечний застосунок.

## Технологии защиты веб-приложений

В. Я. Певнєв, О. Н. Поповіченко, Я. В. Цокота

**Аннотация.** Предметом изучения в статье являются уязвимости, которые присутствуют в веб-приложениях. Целью является исследование проблемы нарушения информационной безопасности веб-приложений. Задачи: ознакомиться со статистикой веб-атак на веб-приложения; выявить основные предпосылки к кибератакам; рассмотреть наиболее часто встречающиеся типы уязвимостей; предложить способы создания безопасного приложения. Используемыми методами являются: аналитический метод, анализ литературы, описание. Получены следующие результаты. К каждому приведенному виду уязвимости был рассмотрен сценарий возможной атаки со стороны злоумышленника. Также были предложены способы для разработчиков, которые позволяют утилизировать данные уязвимости и разработать безопасное веб-приложение. Выводы. Необходимо помнить, что наилучшая защита веб-приложений – написание безопасного кода. Развитчики, реализующие приложения, должны быть заранее осведомлены об существовании распространенных типов атак и об принципах их работы, для того чтобы реализовать защиту приложений и предотвратить возможные кибератаки. Лучше всего использовать методы защиты комплексно, чтобы максимально защитить веб-приложение.

**Ключевые слова:** веб-приложение; уязвимость; атака; защита веб-приложений; безопасное приложение.

# Applied problems of information systems operation

UDC 621.391

doi: 10.20998/2522-9052.2020.1.19

S. Bortnyk, O. Boiko, O. Pylypyshyn, Ye. Yusukhno, O. Maksymenko, Ye. Koutnyi, Yu. Sokil

National Defence University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine

## METHOD OF ARRANGEMENTS OF EXPLORATION OBJECTS DURING THE EXPLORATION OF DATA

**Abstract.** The effectiveness of the forces and devices of intelligence operations is determined by the number of intelligence objects discovered and the quality of intelligence obtained about them. In turn, these indicators depend on the degree of conformity of the results of the decision of the task of planning the use of forces and means of exploration, in accordance with the conditions of the operational situation. However, when the number of multiple reconnaissance objects is large, the existing reconciliation approach does not allow for adaptive, rational planning for the use of reconnaissance assets. The article proposes the solution of the actual scientific task of developing a scientific-methodical apparatus of the ranking of objects of intelligence in the assessment of the operational situation, in the interests of intelligence planning. The rank of an exploration object is calculated based on its qualitative and quantitative characteristics. The functional dependence of the rank of the intelligence object on its intelligence value and its identification with the operational environment is realized by a fuzzy artificial neural network. In the course of the research, the authors used methods of artificial intelligence, theories of information processing, the method of analysis of hierarchies and general scientific methods of analysis and synthesis. The result of the ranking procedure is the introduction of a plurality of scheduled intelligence objects into the order. Arranging multiple intelligence objects allows you to formalize and solve the quasi-optimal distribution of intelligence assets and forces. The practical significance of the study conducted by the authors is that the proposed method is appropriate to use in the development of software for decision support systems that are intended to solve the intelligence tasks of military forces of the national security and defense sector.

**Keywords:** ranking, intelligence; intelligence planning; fuzzy sets; artificial neural networks; use of intelligence.

### Introduction

The effectiveness of the forces and devices of intelligence is determined by the number of intelligence objects (IO) that were discovered and the quality of intelligence that they have obtained.

In turn, these indicators depend on the degree of conformity of the results of the solution of the task of planning the use of forces and devices of intelligence (FDI), in accordance with the conditions of the operational situation.

The key operation that is used to solve the reconnaissance planning task is the operation of detecting and identifying intelligence objects.

Objects that are identified by intelligence are characterized by a variety of qualitative and quantitative characteristics that have different intelligence values and, accordingly, varying degrees of importance.

Thus, the detection and recognition of intelligence objects requires the implementation of a credible, scientifically sound mapping of the many characteristics of intelligence objects  $H$  on the set of real numbers that characterize the rank of the  $k$ -th intelligence object

$$w_k : f(h_k) \rightarrow w_k,$$

where  $h_k = \{h_1, \dots, h_n\}, h_i \in H$ .

The presentation of the image  $f(h_k) \rightarrow w_k$  analytically in the context of the problem under consideration does not exist today. The techniques currently available implement mapping  $f(h_k) \rightarrow w_k$

using a mathematical apparatus that is based on expert judgment, rationing or multiplicative (additive) convolution methods.

The application of the specified group of methods to the implementation of the procedure of ranking of objects of intelligence is conditioned by the presence of the following disadvantages in the existing methodology of planning the use of forces and devices of intelligence:

the lack of automation of the planning procedure for the use of reconnaissance tools in the given conditions of the operational environment;

the analysis of the results of the implementation of the plan for the use of forces and devices of exploration is not formalized and subjective;

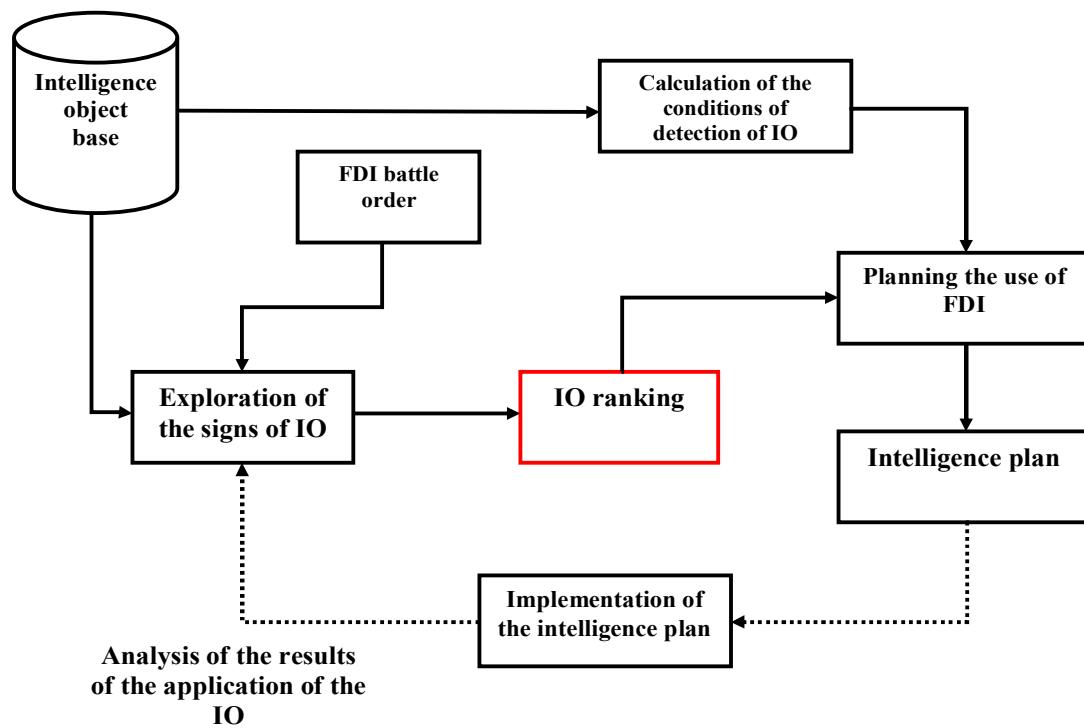
accounting of the consequences of the results of the use of intelligence during the next planning of the use of forces and devices of intelligence is missing.

Thus, in situations where the number of multiple reconnaissance objects is large, the existing approach of reconciling reconnaissance objects does not allow for adaptive, rational planning for the use of intelligence.

**Setting the task of the research.** The decomposition of the task of planning the use of forces and means of exploration into a number of partial tasks and their relationship is presented in Fig. 1.

In a formalized form, the task of ranking IO in the context of solving the problems of planning the use of FDI can be represented in the following form:

$$r^* = \arg \max_{\pi \in G} (F(\pi[a, r])), \quad (1)$$



**Fig. 1.** Structural and logical scheme of solving the problem of planning the application of FDI

where  $F(\pi[a, r])$  is the objective function of an indicator of the efficiency of functioning of FDI;

$\pi[a, r]$  is the plan for the application of FDI while using the appropriate scheduling algorithm  $a$  to the IO ranking list  $r$ ;

$a$  is the planning algorithm for the use of FDI;  
 $r$  is the ranked IO list consisting of  $n$  elements,  
meaning of the  $i$  th element  $r_i$ .

characterizes the rank of the  $i$ -th IO among  $n$  objects:

$G$  is the set of constraints that are imposed on the scheduling procedure in a given operational environment.

As the value of the objective function

$$F(\pi[a,r])$$

of the expression (1), in this paper we consider the total rank of the IO, during the implementation of the plan  $\pi$ . The effectiveness of the intelligence plan  $\pi$  of the implementation process, it is suggested to evaluate according to the following criterion.

$$\left( \sum_{i=1}^n (k_i \cdot r_i) / n \right) \rightarrow \min; \quad (2)$$

$$\begin{cases} k_i = 0, & \text{if } i\text{-th IO don't take into account;} \\ k_i = 1, & \text{if } i\text{-th OP take into account.} \end{cases}$$

where  $k_i$  is the binary coefficient characterizing the fact of consideration of the  $i$ -th IO during the implementation of the plan  $\pi$ ;  $r_i$  is the rank of the  $i$ -th IO that is calculated according to the proposed method;  $n$  is the number of IOs that are taken into account while planning.

**Analysis of the recent works.** In the works [1, 2], the author proposes a method for determining the rational number of intelligence features to determine their membership in the objects of intelligence.

The authors of the works [3-5] proposed a scientific and methodological apparatus for determining the state of exploration objects. The proposed approaches require considerable computing resources.

The analysis of the works [6-8] states that the task of estimating the rank of IO is similar to the classical problem of classification (recognition) of images. The most common and tried and tested mathematical apparatus used to solve similar problems today is the mathematical apparatus of artificial neural networks. However, the use of the classical neural network to solve the problem of ranking a large number of IO is associated with the problem of training artificial neural networks and involves the presence of a certain training sample. Accordingly, to implement this procedure requires a set  $R$  that includes as its elements a pair of values and many characteristics. The process of generating a set  $R$  of mandatory data consistency conditions is a complex, time-consuming process, due to the inability to characterize a complex multicriteria object with a single numerical value.

A reliable solution to this problem can be ensured by proposing to characterize the IO as an object capable of belonging to three classes – "important", "middle", "unimportant" – with a specific function of belonging to each class. The formalization of this procedure is conveniently carried out using the mathematical apparatus of the theory of fuzzy sets.

Thus, the purpose of the article is to develop a method of ranking intelligence objects in the processing of intelligence when conducting intelligence using a mathematical apparatus of fuzzy

artificial neural networks, which will allow to take into account the consequences of the use of intelligence tools to observe the IO in the planning of intelligence with the application of the principles of ranking taking into account dynamic changes in the operational environment.

### Presentation of the main material

The IO ranking method using a fuzzy artificial neural network consists of sequentially performing the following steps.

**Step 1.** The architecture of an artificial neural network, in the form of a graph  $G = (X, V)$ , is formed, where  $X$  is the set of vertices of an artificial neural network,  $V$  is the set of connections between the elements of the set  $X$ . The weights of connections  $w_{ij}$  between network neurons are activated by random values in the range of possible values from -0.5 to 0.5. The coefficient value is calculated  $w_{ij}^*$ :

$$w_{ij}^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_{ij}^2}, \quad (3)$$

where  $n$  is the number of vertices in the  $i$ -th layer of a fuzzy neural network.

The connection weights between the neurons of the adjacent layers are re-initialized:

$$w_{ij} = \beta \cdot w_{ij} / w_{ij}^*, \quad (4)$$

where  $\beta$  is the scaling factor that is calculated according to the expression

$$\beta = 0,7 \cdot p^{1/n}, \quad (5)$$

where  $P$  is the number of neurons in the inner layers of the artificial neural network,  $n$  is the number of layer neurons. For each vertex of an artificial neural network, the offset  $w_{0j}, w_{0j} \in [-\beta, \beta]$ . is randomly determined.

**Step 2.** The sampled learning objects, the vector, are fed to the input of the artificial neural network

$$x = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6),$$

as well as the corresponding standards of the results of their processing by belonging to the classes of the set  $C$  of the vector  $d$ .

**Step 3.** Perform the phasing procedure of the first layer of an artificial neural network. This procedure consists in determination of the membership function  $\mu(x|c_j)$  of the IO characteristics  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$  to classes that are defined on the set

$$C - \mu(x|c_j), j \in \overline{1, |C|}.$$

The fuzzy set membership function is a generalized indicator function of the classical set. The implementation of this procedure involves two steps. The first stage is the calculation of class centers  $V_{ij}$  of the elements of the set  $C$  for each IO intelligence feature.

$$V_{ij}^S = \frac{\sum_{x \in X_i} (\mu^S(x|c_j))^2 \cdot x}{\sum_{x \in X_i} (\mu^S(x|c_j))^2}, \quad (6)$$

$$\sum_{x \in X_i} (\mu^S(x|c_j))^2 \neq 0$$

where  $S$  is the iteration number;  $X_i$  is the set of learning objects that characterize the value function of the  $i$ -th characteristics of the IO to the elements of the set  $C$ .

The second step consists in the calculation of the values of the membership function of the  $i$ -th IO characteristics on the  $S$ -th iterations:

$$\mu^S(x|c_j) = \frac{1/(x - V_{ij})^2}{\sum_{j=1}^{|C|} (1/(x - V_{ij})^2)},$$

якщо  $(x - V_{ij})^2 > 0;$

$$\mu^S(x|c_j) = 1, \quad \text{якщо } (x - V_{ij})^2 = 0.$$
(7)

Both steps are performed iteratively until the difference of the obtained values of the class centers meets the condition

$$|V_{ij}^S - V_{ij}^{S-1}| \leq \varepsilon,$$

where  $\varepsilon$  is the minimum possible difference between the values of the centers of the classes that are obtained in two successive iterations.

The expression (7) allows to determine the function of belonging of the characteristics of the IO to the elements of the set  $C$  depending on its quantitative value.

The result of passing the vector of characteristics of the IO  $x$  through the first network layer is a synthesis of the second network layer whose function of vertices activation has the form

$$y_{2k} = \min(\mu(x|c_j)), i \in \overline{1, 6}, j \in \overline{1, 3}, \quad (8)$$

where  $\mu(x_i)$  is the belonging function of the  $i$ -th characteristics that are used in the learning process of the object, the sample that trains up to the  $j$ -th element of the plural  $C$ .

The argument of expression (8) is determined by the values of the signals propagated by the vertex-parent vertices of the  $k$  fuzzy set graph  $C$ .

**Step 4.** Each neuron of the third and subsequent network layers receives a signal from all neurons of the previous layer, converting the received signal in accordance with the activation function and it is broadcasted to each neuron of the next layer.

Neuron function activation argument  $z_j$  is calculated according to the expression

$$z_j = w_{0j} + \sum_{i=1}^n y_i \cdot w_{ij}, \quad (9)$$

where  $n$  is the number of neurons in the previous layer.

Based on the value of the argument  $z_j$ , we calculate the value of the activation function of the neuron

$$y_j = f(z_j).$$

**Step 5.** The required continuation training of the artificial neural network is checked according to the defined criterion. If the stop criterion is fulfilled, the algorithm control flow is passed to step 9. The classifier error is calculated on the last layer of the artificial neural network according to the expression:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n |d_i - y_i|,$$

**Step 6.** The error is backpropagated. Each neuron of the source layer receives a target value  $d_i$  that calculates the magnitude of the error  $\sigma_i$ :

$$\sigma_i = (d_i - y_i) \cdot f'(z_i),$$

where

$$f'(z_i) = f'(z_i) \cdot (1 - f(z_i)).$$

The correction value of the link axis  $\Delta w_{ji}$  is calculated, as well as the magnitude of the offset adjustment  $\Delta w_{0j}$ :

$$\Delta w_{ji} = \alpha \cdot \sigma_i \cdot z_j; \Delta w_{0i} = \alpha \cdot \sigma_i.$$

The size of  $\sigma_i$  is sent to the neurons of the previous layer.

**Step 7.** Each inner layer neuron sums the input from the neurons in the next error layer  $\sigma_i$  and calculates the magnitude of the error by multiplying the value that is obtained by the derivative of the activating function.

$$\sigma_i = f'(z_i) \cdot \sum_{j=1}^n \sigma_j \cdot w_{ij}.$$

Computing the changes in the weights of connections between adjacent neurons according to the expression:

$$\Delta w_{ji} = \alpha \cdot \sigma_i \cdot z_j; \Delta w_{0i} = \alpha \cdot \sigma_i.$$

**Step 8.** Each neuron changes the weight of its relation to the offset elements and the neurons of the previous layer:

$$w_{ji} = w_{ji} + \Delta w_{ji}.$$

**Step 9.** The final rank of the IO by the expression

$$r_i = |y_1 \ y_2 \ \dots \ y_n| \times |c_1 \ c_2 \ \dots \ c_n|^T,$$

where  $c_i$  is the coefficients that characterize the quantitative measure of the corresponding characteristics of the set  $C$ .

### An example of the implementation of the methodology

The automation of the IO ranking process is performed by using software that implements the developed method. A data snippet that defines the functions of the fuzzy network argument to the plural element  $C$ , that is shown in Table 1.

In Table 1, each characteristic of the IO is determined by four values  $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$ , where  $x$  is the magnitude of the characteristic,  $\mu_1$  is the function of belonging to a value  $x$  to the  $i$ -th plural object  $C$ . A training sample of an artificial neural network is defined on a set of IOs that are characterized by a species vector

$$o = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, c_1, c_2, c_3).$$

A fragment of the training sample artificial fuzzy neural network is shown in Table 2.

Table 1 – Fragment of the value of the membership functions  $\mu$  for arguments  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$

$x_1$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$x_2$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$x_3$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$
10	0,92	0,06	0,002	1,8	0	0,11	0,89	0	0	0,04	0,96
50	0,8	0,15	0,05	2,13	0,01	0,11	0,88	9	0,03	0,05	0,95
100	0,7	0,22	0,08	2,46	0,02	0,10	0,88	18	0,15	0,1	0,75
122,1	0,68	0,23	0,09	2,79	0,04	0,10	0,86	27	0,15	0,31	0,54

$x_4$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$x_5$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$x_6$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$
700	0,01	0,1	0,89	0,9	0,01	0,09	0,9	7	0,01	0,1	0,89
600	0,02	0,13	0,85	0,8	0,1	0,25	0,65	7,4	0,02	0,13	0,85
500	0,03	0,17	0,80	0,7	0,15	0,33	0,52	7,8	0,03	0,17	0,8
450	0,04	0,22	0,74	0,6	0,21	0,54	0,25	8,2	0,04	0,22	0,74

Table 2 – Fragment of a training sample of an artificial fuzzy neural network

$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$
600	1,8	0	200	0,85	7,0	0,01	0,10	0,89
600	1,8	0	200	0,85	7,0	0,01	0,24	0,75
600	3,0	0	200	0,85	7,0	0,01	0,24	0,75
600	1,8	0	200	0,65	7,0	0,1	0,3	0,6
600	1,8	0	200	0,85	11,0	0,01	0,2	0,79
600	1,8	0	200	0,85	7,0	0,01	0,35	0,64
300	1,8	0	200	0,85	7,0	0,01	0,1	0,89

Based on the analysis of the above data, we can conclude that the use of an artificial fuzzy neural network allows to realize the mapping

$$f(h_k) \rightarrow w_k$$

with a high degree of reliability of the obtained results. The mean square error of training of the neural network is 3.9 points of rank.

Thus, the results of the proposed method are reliable and can be used in solving the problem of scheduling the observation of the IO.

### The conclusion from the article

Thus, the developed method takes into account the ranking of the IO that is performed in the framework of planning the use of intelligence, factors that affect the conditions of exposure of the IO and the operational

situation. The use of a mathematical apparatus of fuzzy artificial neural networks allows to take into account the consequences of the use of reconnaissance tools for observing IO in the course of intelligence planning, to apply the principles of IO ranking depending on the dynamically changing operational environment.

The proposed method implements a comprehensive approach to solve the task of ranking the IO and provides the desired degree of effectiveness of the process of functioning of the intelligence system in different conditions of the operational environment.

The direction of further research is the development of practical recommendations for the integration of the developed method in intelligence and information support to increase the efficiency of planning the collection and processing of intelligence information on the IO.

### 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. 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 Ukraine*, No. 1 (26), pp. 101-105, DOI: <https://doi.org/10.30748/nitsp.2017.26.21>.
3. Kalantaevska, S., Pievtsov, H., Kuvshynov, O., Shyshatskyi, A., Yarosh, S., Gatsenko, S., Zubrytskyi, H., Zhyvotovskyi, 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, No 9 (95), pp 60-76, DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.144085>.
4. Babul, V.A. and Sverbut, A.M. (2014), *Control systems and radio engineering foreign armed forces*, Minsk, 263 p
5. Kalantaevska, S., Malyk, O., Tiurnikov, M., Zhuk, P., Shyshatskiy, A. and Pikul, R. (2019), "Foundation the ways of radio electronic warfare devices development", *Advanced information systems*, Vol. 3, No. 2, pp. 80-85, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.2.14>
6. Yakhno, I., Malyk, O., Hatsenko, S., Shyshatskiy, A. and Pikul, O. (2019). "Method of assessment of information availability of radio inflammation sources by devices of radioelectronic recognition, *Advanced information systems*, 2019, No. 3(1), pp. 98-103, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.1.16>
7. Shyshatskiy, A., Hordichuk, V., Sergienko, V., Mishchenko, A. and Pozdniakov, P. (2019), "Analysis of technical characteristics of the radioelectronic intelligence of the Russian Federation", *Control, navigation and communication systems*, No. 1 (53), pp. 142-146, DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.1.142>
8. Shyshatskiy, A., Yakhno I., Malyk, O. and Hatsenko, S. (2019), "Foundation of the factors affecting the planning and management of the radioelectronic developmen". *Control, navigation and communication systems*, No.1 (53), pp. 162-167, DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.1.162>

Надійшла (received) 18.11.2019  
Прийнята до друку (accepted for publication) 13.02.2020

### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Бортник Сергій Олексійович** – слухач, Національний університет оборони України ім. І. Черняховського, Київ, Україна;  
**Serhii Bortnyk** – hearer, National Defence University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine;  
e-mail: [bortsrh1997@ukr.net](mailto:bortsrh1997@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3980-0123>.

**Бойко Олександр Анатолійович** – слухач, Національний університет оборони України ім. І. Черняховського, Київ, Україна;  
**Oleksandr Boiko** – hearer, National Defence University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine;  
e-mail: [boylevda5@ukr.net](mailto:boylevda5@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3748-4013>.

**Пилипишин Олександр Васильович** – слухач, Національний університет оборони України ім. І. Черняховського, Київ, Україна;  
**Oleksandr Pylypyshyn** – hearer, National Defence University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine;  
e-mail: [pylypkov777@ukr.net](mailto:pylypkov777@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0154-1330>.

**Юсухно Євгеній Анатолійович** – слухач, Національний університет оборони України ім. І. Черняховського, Київ, Україна;  
**Yevhenii Yusukhno** – hearer, National Defence University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine;  
e-mail: [jusupjyn02@ukr.net](mailto:jusupjyn02@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6389-0483>.

**Максіменко Олександр Миколайович** – слухач, Національний університет оборони України ім. І. Черняховського, Київ, Україна;  
**Oleksandr Maksymenko** – hearer, National Defence University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine;  
e-mail: [sanvaspec2015@ukr.net](mailto:sanvaspec2015@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5588-1330>.

**Коутний Євген Миколайович** – слухач, Національний університет оборони України ім. І. Черняховського, Київ, Україна;  
**Yevhen Koutnyi** – hearer, National Defence University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine;  
e-mail: [jynkot2020@ukr.net](mailto:jynkot2020@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4007-7929>.

**Сокіл Юрій Михайлович** – слухач, Національний університет оборони України ім. І. Черняховського, Київ, Україна;  
**Yuriii Sokil** – hearer, National Defence University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine;  
e-mail: [sokil324@ukr.net](mailto:sokil324@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4384-0486>.

### **Метод ранжування об'єктів розвідки під час обробки розвідувальних відомостей**

С. О. Бортник, О. А. Бойко, О. В. Пилипишин, С. А. Юсухно, О. М. Максіменко, Е. М. Коутний, Ю. М. Сокіл

**Анотація.** Результативність процесу функціонування сил і засобів розвідки визначається кількістю викритих об'єктів розвідки і якістю добутої про них розвідувальної інформації. В свою чергу вказані показники залежать від ступеня відповідності результатів вирішення завдання планування застосування сил і засобів розвідки, у відповідності до умов оперативної обстановки. Разом з тим, коли кількість множини ранжуемых об'єктів розвідки має велику кількість, існуючий підхід ранжування об'єктів розвідки не дозволяє реалізувати адаптивне раціональне планування застосування засобів розвідки. В статті пропонується вирішення актуального наукового завдання розробки науково-методичного апарату ранжування об'єктів розвідки при оцінці оперативної обстановки, в інтересах планування розвідки. Ранг об'єкту розвідки розраховується з урахуванням його якісних і кількісних характеристик. Функціональні залежності рангу об'єкта розвідки від його розвідувальної цінності і ототожнення його з оперативною обстановкою реалізується нечіткою штучною нейронною мережею. В ході проведеного дослідження авторами використані методи штучного інтелекту, теорії обробки інформації, метод аналізу ієрархій та загальнонаукові методи аналізу та синтезу. Результатом виконання процедури ранжування є введення на множині об'єктів розвідки, що плануються, відношення порядку. Впорядкування множини об'єктів розвідки дозволяє формалізувати і вирішити завдання квазіоптимального розподілу засобів і сил розвідки. Практична значимість проведеного авторами дослідження полягає в тому, що запропонованій метод доцільно використовувати при розробці програмного забезпечення для систем підтримки прийняття рішень, які призначенні для вирішення завдань розвідувального забезпечення дій військових формувань сектору національної безпеки та оборони.

**Ключові слова:** ранжування; об'єкти розвідки; планування розвідки; нечіткі множини; штучні нейронні мережі; застосування сил і засобів розвідки.

### **Метод ранжирования объектов разведки во время обработки разведывательных сведений**

С. А. Бортник, А. А. Бойко, А. В. Пилипишин, Е. А. Юсухно, А. Н. Максименко, Е. Н. Коутный, Ю. М. Сокол

**Аннотация.** Результативность процесса функционирования сил и средств разведки определяется количеством раскрытых объектов разведки и качеством добытой о них разведывательной информации. В свою очередь указанные показатели зависят от степени соответствия результатов решения задачи планирования применения сил и средств разведки, в соответствии с условиями оперативной обстановки. Вместе с тем, когда количество множества ранжируемых объектов разведки имеет большое количество, существующий подход ранжирование объектов разведки не позволяет реализовать адаптивное рациональное планирование применения средств разведки. В статье предлагается решение актуальной научной задачи разработки научно-методического аппарата ранжирование объектов разведки при оценке оперативной обстановки, в интересах планирования разведки. Ранг объекта разведки рассчитывается с учетом его качественных и количественных характеристик. Функциональные зависимости ранга объекта разведки от его разведывательной ценности и отождествление его с оперативной обстановкой реализуется нечеткой искусственной нейронной сетью. В ходе проведенного исследования авторами использованы методы искусственного интеллекта, теории обработки информации, метод анализа иерархий и общенаучные методы анализа и синтеза. Результатом выполнения процедуры ранжирования является введение на множестве объектов разведки, планируемых отношение порядка. Упорядочение множества объектов разведки позволяет формализовать и решить задачу квазиоптимального распределения средств и сил разведки. Практическая значимость проведенного авторами исследования заключается в том, что предложенный метод целесообразно использовать при разработке программного обеспечения для систем поддержки принятия решений, которые предназначены для решения задач разведывательного обеспечения действий военных формирований сектора национальной безопасности и обороны.

**Ключевые слова:** ранжирование; объекты разведки; планирования разведки; нечеткие множества; искусственные нейронные сети; применение сил и средств разведки.

O. Butenko<sup>1</sup>, S. Gorelik<sup>1</sup>, A. Topchiy<sup>1</sup>, T. Bryzhachenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup>Eastern Europe, advanced business events – BCI Aerospace, Toulouse, France

## ASSESSMENT OF THE DYNAMICS OF ENVIRONMENTAL CHANGES IN EASTERN UKRAINE USING THE DATA OF THE EARTH SPACE MONITORING

**Abstract.** The main pollution factors that influence the change in the ecological state of the eastern territories of Ukraine bordering with occupied are analyzed. The dynamics of changes in the level of concentration of pollutants due to flooding of mines, river pollution and rupture of shells has been revealed. The use of the Monte Carlo method at the stage of mathematical modeling is justified to determine the trend of changes in the ecological state of the monitoring object, based on which cartographic pollution models are constructed. Preconditions are examined that demonstrate the need to develop a new method for increasing the efficiency of decision-making in order to reduce the negative impact of changes in the ecosystems of border regions as a result of the impact of hostilities. The possibility of solving the problem was investigated by the methods of mathematical analysis, mathematical statistics, methods of cartography and GIS analysis. Visualization of research results is presented in the form of cartographic models in accordance with different levels of concentration of pollutants.

**Keywords:** parameters, ecology; pollution; dynamics; data; methods.

### Introduction

The military conflict in Eastern Ukraine has led to an increase in the concentration of pollutants in the soil, negative impact on the landscapes of surface and ground waters, vegetation and wildlife. The risks of accidents at industrial enterprises and infrastructure facilities that impair the quality of life and health of people have increased significantly. Conflicts that occur in industrially developed territories with a large number of environmentally hazardous enterprises, such as the territories of Donetsk and Luhansk regions, are especially dangerous for the environment.

As a priori information about the state of the environment in Eastern Ukraine received from official sources is limited, there arises need for additional complex assessment of the caused damage based on data provided by available information sources which allowed to form a vision of potential environmental impacts resulting from the conflict in the Donbas, and data from space monitoring of the Earth.

Thus, it is important to build cartographic models of pollution with visualization of results of the forecast modeling of their further distribution in the analyzed territory [1].

It should be noted that improving the efficiency of decision-making in order to prevent negative changes in the environmental condition of border areas due to military operations is possible only through a joint analysis of the factors that have the maximum impact on the change in the state of monitoring objects and determining the dynamics of changes in the level of pollutants concentration as a result of mines flooding, river pollution and shell explosions [2].

### 1. The research objective.

#### Justification for choosing a modeling method

There are many methods for analyzing monitoring results to assess the risks of emergencies due to changes in the environmental state of the observed territories. In the conditions of uncertainty caused by insufficient a priori information, there comes need to create a database of

indirect thematic features. To do this, in accordance with each deciphering feature of the object must be supplied with attribute information on the specifics of the terrain and the results of hydro-geological studies, statistics, and other results of contact measurements. The result is quantitative assessment that determines the characteristics of each parameter (radiation contamination, flooding, methane emissions, soil contamination, water contamination, chemical contamination, debris contamination and inverted soil) in the form of graphs, diagrams and intermediate cartographic models.

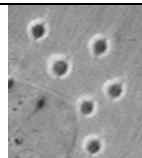
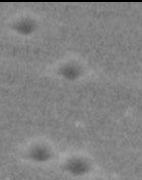
Well-known scientific methods for describing and studying mass phenomena that allow (quantitative) numerical expression are usually used to evaluate such data sets. First of all, this applies to statistical modeling methods based on random variables (RB). The main difference between these methods is how to get data arrays, i.e. initial generation conditions. The main focus should be on analyzing the sensitivity of the initial data.

The initial data for modeling the degree of possible contamination of the studied territory depending on the change in the values of the initial data parameter vector are the results of applying the historical analogy method to obtain variable estimates of each of the indicators of all statistically possible pollution. For the initial processing of statistical material, as a rule, it is enough to use mathematical models of pollution, which are based on classical methods of probability theory and mathematical statistics. For mathematical modeling, different methods can be used that differ in the ways of generating sequences of initial data and the degree of their processing, as well as the subject area of application. However, when choosing methods, one needs to define clearly the specifics of the source data and the level of processing. For example, when using the Wang-Landau algorithm, which is an implementation of the entropic modeling method and is intended for calculating the density of the state of systems, it is necessary to take into consideration the fact that the generated random variables are interconnected by the law of entropy. Since we are talking about open systems that are capable of self-

healing, that is, subject to the laws of synergetics, the concept of entropy takes on a slightly different meaning. First of all, this applies to the initial estimation of the values of the pollution parameter vector, when they are not interrelated. In this case, using the Wang-Landau algorithm for modeling environmental pollution at the primary stage, when the range of possible changes in each of the parameters is estimated, regardless of the degree of combinatorial influence of other factors, is not appropriate. It will be optimal to use it at another stage. In particular, we are talking about identifying the tendency of its further changes or determining the forecast horizon. In this case, the results of primary processing with the establishment of their relationship when changing the degree of influence on each other can be used as the initial data. It should be noted that since all further operations involve working with interval estimates obtained at the previous stage, it is recommended to use fuzzy set methods [3].

Using another widely used algorithm, Sampling, involves manipulating the initial sample of RV with a known modeling goal. Given the lack of complete data on the current state of environmental pollution, this method can only be used if there is a complete set of a priori data about the object of research. Having conducted similar analysis of other classical approaches to determining the level of pollution from environmental monitoring data, it was concluded that the Monte Carlo method is most appropriate. This method makes it possible to maximize the value of the data used in the model at all stages of processing, regardless of the degree of correlation between them. At the same time, the construction of the model begins with the definition of functional dependencies in a real open system. The result of this method is solutions determined on the basis of calculated quantitative indicators using the methods of probability theory and mathematical statistics in modeling.

*Table 1—Deciphering features of belligerent landscapes*

Belliterative landscape (example)	Space image example	Direct decryption features	Indirect decryption features
1	2	3	4
Funnels from explosions of large-caliber shells (Saur-Mogila district, Donetsk region, 07/16/2014)		Rounded shape, clear contour, light gray photon predominates, dark gray in the center, total diameter 17-22 m, no shadows are observed. (the dark gray photon of the surrounding field is associated with its burnout after the explosion of shells)	As a rule, form significant chaotic clusters; can be located in any landscape.
Crater funnels (Saur-Mogila district, Donetsk region, 07/02/2014)		Rounded shape, clear contour, concentric-zonal structure: dark gray photon in the center, light gray at the edges total diameter 10–13 m, diameter of the central part 5–7 m. There are no shadows	As a rule, form significant chaotic clusters; can be located in any landscape. Similar to mounds, but differ in photon (color), size and texture.
Funnels from explosions of small-caliber shells (Saur-Mogila district, Donetsk region 07/16/2014)		Rounded shape, clear contour, concentric-zonal structure: dark gray photon in the center, light gray at the edges total diameter 6-11 m, diameter of the central part 4-6 m. There are no shadows	Often are more common than funnels from larger calibers (space image from 08/15/2014)

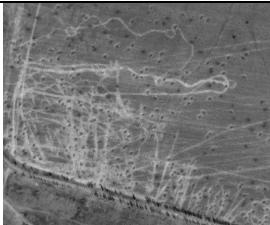
## 2. Assessment of the dynamics of changes in the economic condition of territories based on a comprehensive analysis of contact, statistical and remote data

Assessment of changes in the environmental status of the Eastern Ukrainian border areas over the past five years requires a significant amount of initial contact data, which is not available in the non-controlled territory. Monitoring the contamination of territories caused by the military conflict requires systematic sampling of soil, air, and water from surface and underground sources on both sides. Unfortunately, systematic observations are only possible in the border area in the controlled Ukrainian territory. The lack of a priori information requires the use of Earth remote sensing (ERS) data.

According to the ERS data, it is possible to localize and identify potential sources of pollution and assess the extent of their impact on the ecological state of territories. Therefore, the combination of incomplete contact data with aerospace survey will allow to identify dangerous processes in ecosystems [4].

The presence of anthropogenic impact on landscapes associated with military actions is a feature of the analysis of aerospace imagery for these territories. For independent Ukraine, the belligerent (military) landscapes that have been formed in recent years are new, and require a more in-depth study of the extent of their impact on the environment. A belligerent landscape should be understood as a technogenic landscape formed as a result of military actions. These include the crater from the shell explosions, trenches, caponiers, etc.

Localization of belligerent landscapes in the East of Ukraine was carried out by determining their deciphering features (Table 1).

1	2	3	4
Traces of the movement of military equipment (Saur-Mogila district, Donetsk region 08/15/2014)		Linear, sinuous shapes with a clear outline, photon light gray (usually lighter than the surrounding landscape), chaotic linear, chaotic banded texture There are no shadows	Traces of the movement of military equipment do not coincide with the main directions of the movement of agricultural machinery. The width of the strip depends on the type of military equipment
System of trenches and dugouts (District of Sanzharovka, temporarily uncontrolled territory of Ukraine 05/06/2017)		The trench system has the shape of a broken line with clear contours. The parapet has a light gray photon, and the trench bottom is dark gray. Dugouts are located at the places where trenches are interrupted, or at their ends, may have small embankments. Lined, mesh texture	A characteristic specific pattern in the form of broken lines with branches

### 3. Mathematical simulation by the Monte Carlo method. Integration of heterogeneous multi-hour monitoring data

When forming a sample of initial data obtained as a result of the Earth space monitoring, an additional analysis of space images obtained by various survey systems was carried out. As a result, it was determined that the data obtained from the Landsat-7.8 and Sentinel-2 satellites provide sufficient decision-making accuracy to solve the problem. It can be explained by the fact that the satellite images obtained by this survey equipment are sufficiently informative, shareware, and contain the necessary amount of metadata [6].

In the Monte Carlo simulation of various levels of possible contamination and, as a consequence, the negative aftermaths caused by them, discrete random values were obtained, calculated using the formula:

$$X = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ p_1 & p_2 & \dots & p_n \end{pmatrix}, \quad (1)$$

where  $X$  – discrete value;  $x_i$  – values of the  $i$ -th variables;  $p_i$  – probability.

In this case, the implementation of this random variable is considered to be the degree of contamination in the area that is being studied, which can happen with an equal probability.

The mathematical expectation  $M[X]$ , which is known to be one of the main numerical characteristics of each random variable, was determined by the classical formula:

$$M[X] = \sum_{i=1}^n x_i p_i. \quad (2)$$

The variance  $D[X]$  was also found with the use of the classical known formula for determining the numerical spread of the obtained values:

$$D[X] = M[X^2] - (M[X])^2. \quad (3)$$

In order to obtain an integrated assessment of the degree of contamination in the observed areas and to jointly analyze the space monitoring data and statistical data, the level of contamination concentration due to mine flooding was also calculated. For this purpose, the main sources of pollution were selected to be main indicators, which are radiation pollution, flooding, methane emissions, and soil pollution. For each pollution indicator for the Monte Carlo method,  $M$  and  $D$  are calculated using the formulas (2) and (3) respectively. The results are presented in Table 1. As it can be seen from the Table 1, all pollution parameters can be divided by the degree of pollution into three main groups – high, low and medium. Radiation pollution has the largest spread. Indicators of flooding, methane emissions, and soil pollution belong to the medium group of pollutants [7].

There were also calculations made for contamination of the ground as a result of shell explosions caused by military operations. As it took place with pollution that contributes to the flooding of mines, because the lack of a priori data, mathematical simulation was performed using the Monte Carlo method and the method of historical analysis. In this case, chemical contamination, debris contamination, and inverted soil were identified as main factors. For each pollution indicator,  $M$  and  $D$  were calculated using the Monte Carlo method by formulas (2) and (3), as in the previous case. The results are presented in Table 1. According to Table 1, the indicator of contamination of the turned-out soil belongs to a high group of polluting factors, and chemical pollution and debris pollution belong to medium and low, respectively [8]. The results of mathematical simulation are also presented in Table 2:

Table 2 – Results of mathematical simulation

	Radiation contamination	Flooding	Methane emissions	Soil contamination	Water contamination	Chemical contamination	Debris contamination	Inverted soil
M	0,47	0,49	0,48	0,44	0,62	0,36	0,43	0,58
D	0,1	0,04	0,09	0,05	0,07	0,06	0,02	0,1

Analysis of the results presented in the table shows that the most dangerous types of pollution are water pollution due to mines flooding and inverted soil due to shell explosions.

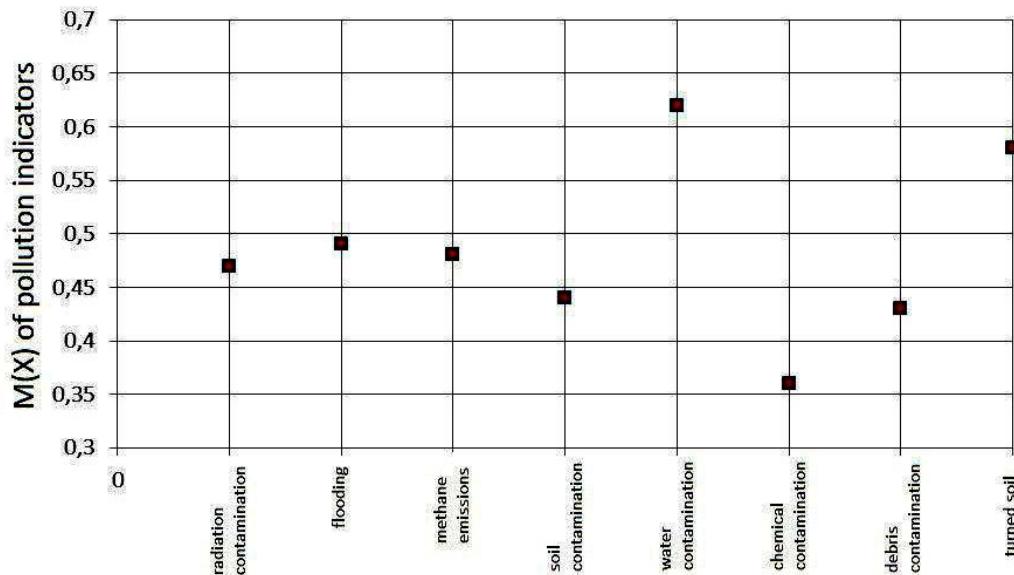


Fig. 1. Comprehensive assessment of contamination levels based on simulation results

As Fig. 1 shows, the largest indicators are water and soil contamination. From this we can conclude that water contamination due to the flooding of mines and turned-out soil due to the shells explosions are the most dangerous contamination factors in the territory of Eastern Ukraine. Based on the results of joint analysis

of simulation results, analysis of data obtained from open sources of information and space monitoring data, a forecast cartographic model for estimating the level of pollution due to flooding of mines and a forecast cartographic model of contamination caused by shell explosion was constructed (Fig. 2, 3).

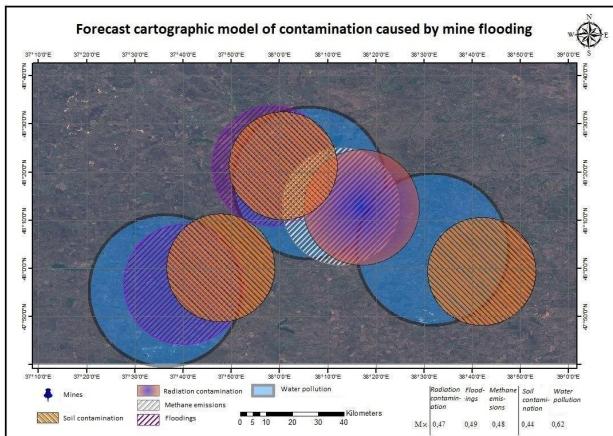


Fig. 2. Forecast cartographic model of contamination caused by mine flooding

As one can see in Fig. 2, water contamination has the largest coverage area, which is caused by the larger  $M(X)$  of this indicator, whereas radiation contamination has the smallest distribution on the territory of Eastern Ukraine. Fig. 3 shows the  $D(X)$  of pollution parameters such as inverted soil, debris contamination, and chemical contamination. According to the cartographic model, one can conclude that chemical contamination, resulted from debris contamination, has the highest dispersion indicators for each point of shell explosions.

The analysis of the constructed models allows us to come up with the conclusion that a large number of

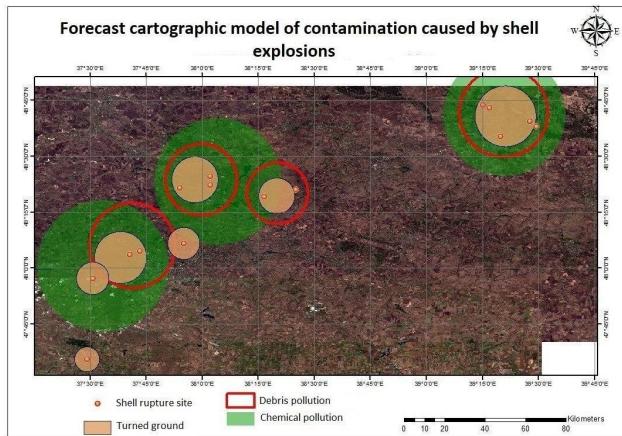


Fig. 3. Forecast cartographic model of contamination caused by shell explosions

polluting substances enter the rivers of the region due to the conduct of combat operations, disruption of enterprises working, and hydrological engineering structures.

In this regard, there appears need for additional environmental monitoring of the border areas of Eastern Ukraine in order to clarify assessments of the current state of the rivers in the frontline zone and determine how pollutants tend to spread to neighboring territories [9].

To analyze and build a cartographic model of pollution trends in rivers in the frontline zone of Eastern

Ukraine, tabular data on average annual concentrations of pollutants are used [10].

In the article the sulphate contamination is considered. To do this, we use data from the water intake in the Volchya River, the channel of which passes through Donetsk, where pollutants enter.

The value of the content of the relative maximum permissible concentration (MPC) of sulphates at the initial point of water intake is known. Its excess value is 0.32 in relation to the MPC. According to the map of river flows, the volume of water for section  $V_1$  is  $12 \text{ m}^3/\text{s}$ . The Mokri Yali River flows into the Volchya river, where  $V_2 = 6 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $C_2 = 0.1$ . The calculation of the water volume at the confluence with the river is calculated by the formula:

$$V_{\Sigma} = V_1 + V_2 = 18 \text{ m}^3/\text{s} \quad (4)$$

Next, we calculate the volume of the mixed substance in the resulting volume of water using the formula:

$$C_u = (V_1 \cdot C_1 + V_2 \cdot C_2) / V_{\Sigma} \approx 0.247. \quad (5)$$

Calculations for the next river that flows into the Kamenka River, where  $V_3 = 5 \text{ m}^3/\text{s}$ , and  $C_3 = 0.3$  in relation to the MPC.

The final water volume –  $23 \text{ m}^3/\text{s}$ , the sulphate content  $C_u = 0.19$  in relation to the MPC.

To sum up, the pollution of the rivers of the adjacent area to the border areas showed a decrease in the number of pollutants depending on the territory of hostilities.

Based on the calculated quantitative characteristics, a cartographic model of the trend of river contamination development is constructed (Fig. 4).

Judging by Fig. 4 we can conclude that the degree of contamination of the Volchya River has the highest contamination index in the segment after the confluence of the Mokri Yaly, which is caused by summing contaminations of all rivers [11].

## Conclusion

The analysis of the simulation results using the proposed algorithm for assessing the current environmental status of border areas showed that there was a sharp increase in the concentration of pollutants not only in soil, ground waters, but also in water surface objects.

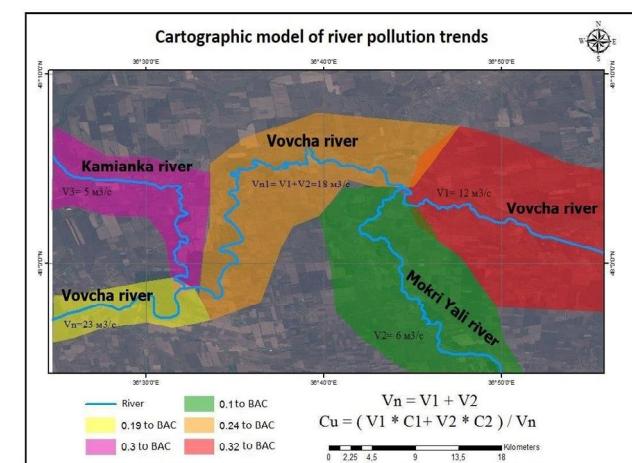


Fig. 4. Cartographic model of river pollution trends

These changes are directly connected with the beginning of the armed conflict in Eastern Ukraine.

The results of studies of the dynamics of changes in environmental pollution indicators over the entire time series allow us to conclude that water contamination caused by mines flooding has the greatest impact on the ecological state, as well as soil that was inverted by shell explosions.

A comparative analysis of indicators that characterize the pollution of the area adjacent to the occupied territories showed a decrease in the number of pollutants depending on the distance from the territory of the joint forces operation.

However, this process can be regarded as temporary. The forecast cartographic model, which is based on the Monte Carlo method, shows that there is a tendency of worsening of the environmental condition of adjacent territories and, as a result, all types of pollution will spread to "conditionally clean" areas of the territory, with all the negative consequences that follow.

To improve the accuracy of estimates of the current environmental state of monitoring objects and the construction of forecast models, a more complete set of data is necessary.

In conditions of uncertainty caused by insufficient quantity of objective information, the method presented in the article should be adapted to each object that is observed separately by using interval estimates while building logical-algebraic models.

## REFERENCES

- Yushchuk, A., Loik, I. and Yurtzaba Y. (2017), "Assessment of potential environmental risks as a result of an anti-terrorist operation", *Organization for Security and Cooperation in Europe*, p p. 45-51.
- Gurevich, I.B., Zhuravlev, Yu.I. and Smetanin, Yu.G. (1999), "Construction of image algebras based on a descriptive approach", *Reports of the 9-th All-Russian Conference "Mathematical Methods of Pattern Recognition"*, Moscow, pp. 33-36.
- Scientific portal "Pollution year map" (2019), available to: <http://texty.org.ua/water/>
- Bondar, O.I., Bairak, O.M. and Baranovskaya, V.E. (2016), *National report on the state of the environment in Ukraine in 2014*, Kyiv, pp. 52-85.
- Maksimenko, E.A., Morozova, L.O., Alpatova, A.A., Gubanov, V.Y., Fastov, O.O. and Pogorelova, G.V. (2016), *Regional report on the state of the environment in Lugansk region in 2016*, Severodonetsk, 184 p.
- Zhebrivsky P.I. (2017), *Ecological passport of Donetsk region for 2016*, 202 p.
- Akhmadiev, F.G., Gabbasov, F.G., Ermolaeva, L.B. and Malanichev I.V. (2017), *Numerical methods. Examples and tasks. Tutorial for the courses "Informatics" and "Computational Mathematics"*, KSASU, Kazan, 40 p.
- Butenko, O.S. (2008), "Analysis of the possibility of predicting the spread of anomalies from space monitoring data", *Information Processing Systems*, No. 5 (72), pp. 38-44.

9. Butenko, O.S. (2008), "A mechanism for constructing a short-term forecast based on a priori data", *Control, navigation and communication systems*, Central Research Institute of Navigation and Management, Issue 3 (7), Kyiv, pp. 37-40.
10. Al Khalili, A.M. (2002), "Classification of beligerative landscapes of the north west r. g. Jordan", *Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geography. Geoeology*, No. 1, pp. 59-64, available to: <https://rucont.ru/efd/513820>
11. Yakovlev, E.A., Yermakov, V.M. and Ulitsky O.A. (2012), "The environmental consequences of flooding of the Yunkom mine nuclear explosion chamber (Central Donbass)", *Mineral resources of Ukraine*, No. 1, pp. 38-44.

Надійшла (received) 12.12.2019  
Прийнята до друку (accepted for publication) 29.01.2020

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Бутенко Ольга Станіславівна** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;  
**Olga Butenko** – doctor of Technical Sciences, professor, professor of the Department of Geoinformation technologies and space monitoring of the Earth, National aerospace university named Zhukovsky "KHAI", Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [OS-B@ukr.net](mailto:OS-B@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9486-8633>.

**Горелік Станіслав Ігорович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;  
**Stanislav Gorelik** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Geoinformation technologies and space monitoring of the Earth, National aerospace university named Zhukovsky "KHAI", Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [s.horelik@khai.edu](mailto:s.horelik@khai.edu); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3640-2787>.

**Топчий Анна** – аспірантка кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;  
**Anna Topchiy** – graduate student of the Department of Geoinformation technologies and space monitoring of the Earth, National aerospace university named Zhukovsky "KHAI", Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [annatop4y@gmail.com](mailto:annatop4y@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0448-4543>.

**Брижаченко Тетяна** – торговий представник для Східної Європи, BCI Aerospace, Тулуса, Франція;  
**Tetyana Bryzhachenko** – Sales representative for Eastern Europe, advanced business events – BCI Aerospace, Toulouse, France;  
e-mail: [tbryzhenko@advbe.com](mailto:tbryzhenko@advbe.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0459-2061>.

#### **Оцінка динаміки змін екологічного стану східних територій України з використанням даних космічного моніторингу Землі**

О. С. Бутенко, С. І. Горелік, А. Топчий, Т. Брижаченко

**Анотація.** Проаналізовано основні фактори забруднення, що впливають на зміну екологічного стану прикордонних з окупованими східними територій України. Виявлено динаміка змін рівня концентрації забруднюючих речовин через підтоплення шахт, забруднення річок і розриву снарядів. Обґрунтовано використання методу Монте-Карло на етапі математичного моделювання для визначення тенденції змін екологічного стану об'єкта моніторингу, за результатами якого побудовані картографічні моделі забруднень. Розглянуто передумови, що показують необхідність розробки нового методу підвищення оперативності прийняття рішень для зниження негативного впливу змін в екосистемах прикордонних областей в слідстві впливу проведених бойових дій. Досліджено можливість для вирішення поставленого завдання методами математичного аналізу, математичної статистики, методами картографії та ГІС - аналізу. Візуалізація результатів досліджень представлена у вигляді картографічних моделей відповідно до різного рівня концентрації забруднюючих речовин.

**Ключові слова:** параметри; екологія; забруднення; динаміка; дані; методи.

#### **Оценка динамики изменений экологического состояния восточных территорий Украины с использованием данных космического мониторинга Земли**

О. С. Бутенко, С. И. Горелик, А. Топчий, Т. Брыжаченко

**Аннотация.** Проанализированы основные факторы загрязнения, влияющие на изменение экологического состояния приграничных с оккупированными восточными территориями Украины. Выявлена динамика изменений концентрации загрязняющих веществ из-за подтопления шахт, загрязнения рек и разрыва снарядов. Обосновано использование метода Монте-Карло на этапе математического моделирования для определения тенденции изменений экологического состояния объекта мониторинга, по результатам которого построены картографические модели загрязнений. Рассмотренные предпосылки показывают необходимость разработки нового метода повышения оперативности принятия решений для снижения негативного влияния изменений в экосистемах приграничных областей вследствие влияния проведенных боевых действий. Исследована возможность для решения поставленной задачи методами математического анализа, математической статистики, методами картографии и ГИС - анализа. Визуализация результатов исследований представлена в виде картографических моделей в соответствии с разным уровнем концентрации загрязняющих веществ.

**Ключевые слова:** параметры; экология; загрязнение; динамика; данные; методы.

R. R. Imanov<sup>1</sup>, A. A. Bayramov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> War College of Armed Forces of the Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan

<sup>2</sup> Control Systems Institute of the Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

## DEVELOPMENT OF FIELD SIGNAL CENTERS BASED ON THE MODERN TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES

**Abstract.** Nowadays, one of the main directions of the military management system development is the improvement and wide automation of field communication networks of the military authorities. Therefore, states continue to advance their tactical networks to counter these emerging threats, enable new forms of maneuver and maintain integration with military Information Technology services available stateside-all while taking advantage of rapid innovation from the commercial IT industry. Moreover, when analyzing electromagnetic compatibility of radio-electronic means, it is important to know the factors affecting on modules interaction in network. Radio-electronic means is the ability to work without any disturbance under the influence of coincident electromagnetic interferences, without interfering with the radio-electronic means used by the others radio-electronic sets. In this paper, the role of modern telecommunication technologies in development of field signal centers has been shown, and a military field signal center have been proposed to set up in the form of modules.

**Keywords:** signal center; network; management system; data transmission; module.

### Introduction

Development of the military management system is one of the most important challenges facing each state in ensuring the defense capacity. Nowadays, one of the main directions of the military management system development is the improvement and wide automation of field communication networks of the military authorities. Therefore, states continue to advance their tactical networks to counter these emerging threats, enable new forms of maneuver and maintain integration with military IT services available stateside-all while taking advantage of rapid innovation from the commercial IT industry. Specific to network modernization, communicating securely with command-and-control and other units within the increasingly communications-reliant battlefield landscape is critical to ensure the success of the mission and the safety of warfighters. However, as the battlefield evolves and missions require units to be mobile and support myriad tactical capabilities (Wi-Fi, LTE [Long Term Evolution, a standard for high-speed wireless communication for mobile devices and data terminals], etc.), critical communications infrastructures are becoming more difficult to establish and maintain [1].

The progress of information technology requires from communications centers certain work on timely, accurate and confidential exchange of all types of information, further enhancing the effectiveness of its activities, as well as replacement of communication centers elements by means of modern requirements or re-processing electromagnetic compatibility and reconstruction of communication centers during modernization.

One of the most important problems in the deployment and operation of military-purpose field communication centers is the reconciliation of electromagnetic compatibility of modern radio-electronic means with existing old radio-electronic means. Radio-electronic means is the ability to work without any disturbance under the influence of

coincident electromagnetic interferences, without interfering with the radio-electronic means used by the others radio-electronic means. As can be seen from this, the new radio electronic devices that have been commissioned should be positioned at the communication centers so that they do not create excessive barriers to their work with other high-frequency electromagnetic fields. Radio-electronic units of military-purpose communication centers are composed of three main elements: radio transmitters, radio receivers and antenna-feeder devices. Radio transmitters generate, modulate and enhance high frequency currents. The radio receiver's devices determine the electrical signals, strengthen the selection and strengthen it. Antenna-feeder devices, in turn, select electromagnetic wave in radio range assigned to it and transmit it to the spatial area by converting it into appropriate electrical currents. Each of these elements affects the electromagnetic compatibility separately.

When analyzing electromagnetic compatibility of radio-electronic means, it is important to know the factors affecting their interaction. First of all, there is a need for information on the characteristics of the radio transmitting device, such as radio obstacle or a source of useful signal. The radio frequency level of the radio receiver output depends significantly on the characteristics of the radio-transmitting device (such as the type and strength of the transmitter transmitted in the reception zone). The level of radio barriers on the radio receiver's output is substantially dependent on the directional properties of the antenna systems, the source of radio obstacle and the receptor, their compatibility in a specific area and the compression of the amplitude [2, 3].

Thus, every radio electronic facility operated at the military-generated field communication intersections has many parameters and indicators that affect its electromagnetic compatibility. It is also important to ensure that normal operation of several different radio electronic facilities in one station remains a serious and crucial issue.

Additionally, innovations in the cloud, "internet of things," sensors, robotic and autonomous systems, analytics, artificial intelligence and deep learning are driving tactical network developers to consider deploying warfighting systems that are highly reliant on high-performance computing and storage. Yet, in the face of potentially degraded communications, those resources may only be available if deployed all the way out to the individual warfighter or small teams conducting operations in austere and hostile environments, such as forward operating bases or combat vehicles-locations known as the tactical network's edge [4].

In this paper, the role of modern telecommunication technologies in development of field signal centers has been shown, and a military field signal center have been proposed to set up in the form of modules.

### **Modern telecommunication technologies and field signal centers**

Taking into account the achievements of modern digital technologies, the implementation of the process of integration of communication and automated management systems into a single information and telecommunication system is one of the important issues. This single system contains information, telecommunications and organizational measures.

When we talk about military information and telecommunication systems, they must be understood as the organizational and technical integrity of communications, automation forces and tools that provide information exchange with the use of information and network technologies. In this case, the information section can include database, information itself, mathematical software, technical means and linguistic maintenance.

The telecommunications part involves the communication system and network technologies that determine the architecture, type, and operating rules of communication networks. Organizational measures can include legal, regulatory mechanisms that provide effective functioning of information and telecommunication systems [5].

One of the main direction of development of perspective information and telecommunication systems is the improvement of the field communication and management system, which is an integral part of the overall management system. There are some shortcomings of the currently operating field communication system which are make difficulties to integrate them into the single system and it is necessary to revise these issues. These are - a number of old modification of communication facilities in communications divisions and sections, the fact that some of the communication equipments are analogue and others are digital, modern technologies.

Additionally, it should be noted that, since the modern communications facilities used in the field communications networks themselves have different indicators and different tactical requirements, issues of electromagnetic compatibility remain unresolved.

The abovementioned problems in many cases, creates difficulties in fulfillment of electromagnetic compatibility issues for all radioelectronic means, vitality of communication networks, intelligence protection, convenient use of communication and automated manegment sistem tools, broadband maneuvers with communication channels, as well as communication security, timely and precise data transmission. The military communication system should ensure that the authorities have the opportunity to communicate by required channels and means at the scheduled time. Signal centers are the basis of the communications system, therefor it is required to undertake a number of measures to address the aforementioned issues [4].

It is also important to take into consideration the requirements of the modern forms and methods of predicting operations, the organization and implementation of combat operations, and the requirements of modern era in the management of troops and the weapons. In addition, operational and technical requirements to the prospective field signal centers, the capabilities of modern communication facilities, the organizational and technical structure of the signal centers and the technical supply of its elements should be specified. Besides, this system should also provide the transmission of various data and the provision of integrated communication channels for the full satisfaction of the information needs of the troops [6]. It should be noted that it is advisable to set perspective field signal senters in the form of unified digital communication facilities, complexes and newest telecommunication technologies, as well as accessible automated systems for everyone.

The apparatus - software tools, which is being implemented on the basis of technologies of integration of channels, communication, encryption and management, will allow to create new structure-based signal centers. These tools, in turn, will create conditions for the groundbreaking review of the structure of the signal centers, the rejection of their centralized construction and the creation of modern structured field signal centers, taking into account the development tendencies of the control stations [7].

As the main option for their further development and improvement it is possible to set up a military field signal center in the form of modules, In this case, the field signal center can be presented as a set of coordinated components. This, in turn, can make it easier for customers to use the types of communications they provide, as well as improve intelligence protection, survival and flexibility of signal centers. It is also reasonable to implement the principle of hybrid switching (switching of channels and packages) in perspective digital signal centers [5].

These field communication nets can include radio relay, cable (fiber-optic) communications, transmitters, switch equipment and radio communication facilities that allow authorities to access the network when they are in motion. An important objective in the design of field signal center is often to minimize equipment cost,

complexity and power consumption whilst also minimizing the bandwidth occupied by the signal and/or transmission time. (Bandwidth is a measure of how rapidly the information bearing part of a signal can change and is therefore an important parameter for field signal centers design [8].

It is important to pay special attention to the automated management systems during the construction of the proposed field signal centers. Automated control systems in this case are designed to provide the management of planning, organization and quality control of communications channels, ensuring security of communications and data protection, ensuring a unified automated management system interconnection with communication systems of troops, and collection of information about the situation [9].

### **The modern military field communication networks**

During the creation of modern military-purpose field communication networks, the following must be implemented:

- increasing network capabilities and overall communication capabilities by applying integrated switch devices and broadband digital channels;
- wide automation of communications management and communication processes with the use of high-efficiency computing techniques;
- integration of encryption, switching, signal transformation functions into one device by switching to the modular design of communication means;
- provision the establishment of communication equipment on a new element base;
- the application of fiber optical means, which allows to increase the level of agility and the reliability of signal centers;
- increase the level of utilization of communication means, reduction of their service life;
- automation of repair and maintenance process to achieve more reliable communication;
- provision of direct access by separate means by the operator;
- application of communication means with higher interference and intelligence protection.

The installation of signal centers on a modular basis can provide not only communication interconnection, but also the integrity of the communication system's external interference, the higher level of vital in the conditions of the barriers, the agility, the unification of their organizational-technical structure. The development and improvement of the field signal centers implies the establishment of a single telecommunications network, which are based organization of digital networking technologies, modern digital channels, automation of switching process, distribution of channel resources and access to broadband access to the network, supporting and integrating all types of power supply with their own resources.

Modern information and telecommunication technologies, as well as hardware and software which

were developed on their basis, allow for all types of information processing and communication issues to be carried out directly at the workplaces. A new class of modular, tactical data centers is becoming available for tactical and expeditionary programs, capable of hosting cloud and storage, artificial intelligence and analytics applications. Using ultra-small form-factor modules for computer, storage and networking functions that reduce size, weight and power requirements, these systems can be deployed dismounted, at forward operating bases, in command posts, and on ground vehicles and aircraft-supporting a diverse array of use cases in disconnected, intermittent and limited environments. The widespread expansion of the nomenclature of telecommunication services to users requires from field signal centers multicast communication networks [1].

In front of mentioned multilevel communication networks standing a difficult task to reconcile the transmission of different information across a single network infrastructure. At that time, its features are also subject to serious requirements.

First, the minimum network capability for each type of traffic should be ensured. Because, the multi-threaded networks need to be set up for each traffic type, the transmission speed agreed upon with each intermediate network device. Transmission of a traffic type should not negatively affect others. Each attachment (video, data base, etc.) running on the network must be separately provided with a specific agreed network of that network.

Second, minimal possible downtime for multimedia traffic should be provided. The use of long information packets for data transmission is more efficient. Thus, the execution of these operations may reduce the useless use of the network. However, transmission of voice or video traffic may become a problem.

Documents sharing networks can be created at the expense of the properties (topologies) of the respective local computing networks, which have access to the field communication networks for the exchange of information with the top headquarters, interacting and controlling entities of the subordinate units. This organization can provide an informational-computing system with distributed functions, which optimally assists in the solution of exchange tasks with all types of information. The application of multi-contour local computing networks in signal centers and in their elements can be used to reduce the number of communications devices, as well as to raise the operational-tactical and technical characteristics of the field communications networks.

### **Conclusion**

Thus, in this paper, the role of modern telecommunication technologies in development of field signal centers has been shown, and a military field signal center have been proposed to set up in the form of modules. Modern perspective telecommunication technologies and their integration capabilities create high-speed digital networks in a vast space. These

networks can, in turn, provide transmission of all types of information and a range of additional communication services which are specific to the military. The field signal centers always must be ready to launch at the right time and be ready to expand the communication

system. Therefore, it is necessary to take into consideration the conditions provided for the solution of the issues of the application of new technologies and techniques in the development and improvement of the field signal centers.

## REFERENCES

1. Zlobin, V.I., Ivashenko, M.V. and Ivanova, Q.V. (2005), *Intellectual adaptive communication and management systems*, Monoqraph, RF MOD, Moscow, 276 p.
2. Bichovski, M.A. (2006), *The control of radio spectrum and electromagnetic compatibility of radio systems*, EKOTREDZ, Moscow, 376 p.
3. Malkov, N.A. and Pudovkin, A.P. (2007), *Electromagnetic compatibility of radioelectronic means*, TGTU, 49 p.
4. Samochin, V.F. (2008), "Improvement and development mobile communication networks", *Military idea*, No. 9, pp. 5-11.
5. Imanov, R. and Bayramov, A. (2019), "Analysis of the communication part of command centers", *National Security and Military Sciences*, No. 5 (1), Baku, pp. 14-21.
6. Karmashova, V.S. and Kechieva, L.N. (2004), *EMC for products developers*, Technology, Moscow, 290 p.
7. Vasilev, V.I. (1987), *Communication system*, High school, Moscow, 280 p.
8. Qalkin V.A. (2007), *Digital mobile radio communication*, Manual for university, Helpline-Telecom, Moscow, 432 p.
9. Garstka, John J. (2003), "Network Centric Operations Conceptual Framework Version 1.0", *IT Value in the Net centric Organization: Integrating Commercial and Military Perspectives*, December 9-10, 2003, available at: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a457620.pdf>.

Надійшла (received) 12.12.2019

Прийнята до друку (accepted for publication) 29.01.2020

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Іманов Р. Р.** – ад'юнкт, Військова Академія Збройних Сил Азербайджанської Республіки, Баку, Азербайджан;  
**R. R. Imanov** – adjunct, War College of Armed Forces of the Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan;  
e-mail: [imanov-said@mail.ru](mailto:imanov-said@mail.ru); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-2408-9786>.

**Байрамов Азад Агалар оглы** – доктор фізиго-математичних наук, професор, професор-консультант, Військова Академія Збройних Сил Азербайджанської Республіки, Баку, Азербайджан;  
**Azad Agalar oğlu Bayramov** – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, National War College of Armed Forces of the Azerbaijan Republic; Control Systems Institute of the Azerbaijan National Academy of Sciences Baku, Azerbaijan;  
e-mail: [azad.bayramov@yahoo.com](mailto:azad.bayramov@yahoo.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6672-2338>.

**Розвиток польових вузлів зв'язку на основі сучасних телекомунікаційних технологій**

P. P. Іманов, A. A. Байрамов

**Анотація.** В даний час одним з головних напрямків розвитку військової системи управління є поліпшення і повсюдна автоматизація управління військових польових мереж зв'язку. Тому продовження розвитку їх тактичних мереж запобігає виникненню загроз, створює нові форми маневру і інтеграцію з військовими сервісними інформаційними технологіями, які пов'язані з швидко розвиваються інноваціями в комерційній ІТ індустрії. Більш того, при аналізі електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів зв'язку важливо враховувати фактори, що впливають на взаємодію модулів в мережі. Радіоелектронні пристрії можуть працювати без будь-якого порушення під впливом електромагнітної інтерференції, не впливаючи на інші засоби в радіоелектронній установці. У даній статті відзначена роль сучасних телекомунікаційних технологій у розвитку польових вузлів зв'язку, запропонованій метод модульного побудови військових польових вузлів зв'язку.

**Ключові слова:** вузол зв'язку; мережу система управління; передача даних; модуль.

**Развитие полевых узлов связи на основе современных телекоммуникационных технологий**

P. P. Иманов, A. A. Байрамов

**Аннотация.** В настоящее время одним из главных направлений развития военной системы управления является улучшение и повсеместная автоматизация управления военных полевых сетей связи. Поэтому продолжение развития их тактических сетей предотвращает возникновение угроз, создает новые формы маневра и интеграцию с военными сервисными информационными технологиями, которые связаны с быстро развивающимися инновациями в коммерческой ИТ-индустрии. Более того, при анализе электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств связи важно учитывать факторы, воздействующие на взаимодействие модулей в сети. Радиоэлектронные устройства могут работать без всякого нарушения под влиянием электромагнитной интерференции, не оказывая воздействия на другие средства в радиоэлектронной установке. В данной статье отмечена роль современных телекоммуникационных технологий в развитии полевых узлов связи, предложен метод модульного построения военных полевых узлов связи.

**Ключевые слова:** узел связи; сеть система управления; передача данных; модуль.

O. Tymochko<sup>1</sup>, V. Larin<sup>1</sup>, S. Osievskyi<sup>1</sup>, O. Timochko<sup>2</sup>, A. Abdalla<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup> Kreditech Holding, Hamburg, Germany

<sup>3</sup> Flight Academy of National Aviation University, Kropyvnytskyi, Ukraine

## METHOD OF PROCESSING VIDEO INFORMATION RESOURCE FOR AIRCRAFT NAVIGATION SYSTEMS AND MOTION CONTROL

**Abstract.** It has been considered the existing methods of processing of video information resource in modern aircraft navigation systems and motion control. Also it is indicated that there is a contradiction between the need to reduce the intensity of information resource for strongly saturated fragments and to maintain the correspondence of recovered fragments to the original aerial photo. It has been described the components' characteristics of the transforming for the image's areas with varying structure complexity. The rationalization of the dividing strategy is based on the complexity of aerial photographs is substantiated. It is proposed to quantize the transformation's description of an aerial video information segment in relation to the base element's value vector to a certain threshold value. The reduction of combinatorial redundancy as a result of the application of top-level quantized levels array in a separable space is substantiated.

**Keywords:** image; aerial photo; transforms; redundancy; coding; quantization; orthogonal transformation; matrix; data; high-frequency component.

### Introduction

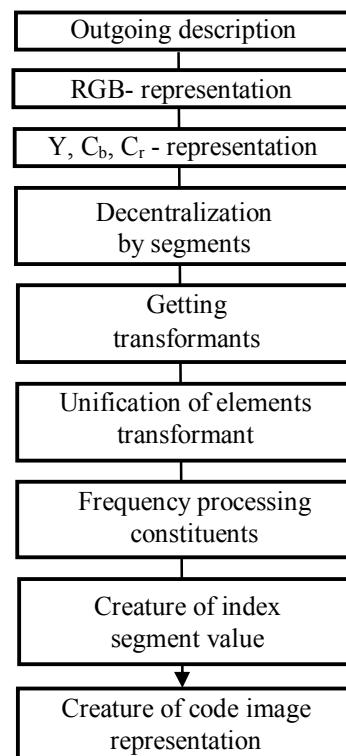
**Problem statement.** The rapid development of information technologies led to the use of unidirectional specific images transmission in surveillance systems. According to that, in order to improve the quality of management systems in public institutions, active implementation of such systems is taking place [1]. As a result, in the departmental organizations, especially in the Ukrainian space program, aeronautical monitoring systems with the using airless aircrafts are widely distributed. As a result of the observation, the specific image receiving with the help of aerial photography. Due to the importance of the resulting image's content, it is necessary to minimize the time for the processing and bringing the given aerial photo in conditions of maintaining the necessary level of the restored image's correspondence to the original [2]. In the process of aerial photography, in various specialized devices, the mathematical description of the image is used as a two-dimensional signal, which is characterized by some volume of information [3].

**Research publications.** In order to justify the problem solution, it is necessary to consider the existing technologies for the processing of aerial photographs. These technologies (JPEG, JPEG 2000) use processing, which is based on static coding (variable length codes) [4]. In the processing of aerial photographs in various specialized devices, a mathematical description of the image is used as a two-dimensional signal, which is characterized by some volume of information [5]. When encoding the image, the elimination of psycho-visual redundancy with applying the previous transformation and further rationing. The corresponding scheme of basic technology is shown in Fig. 1

**The research aims and objectives.** When performing basic technology, the initial information intensity's value of the output data stream is formed after the normalization step [6]. The effectiveness of the base technology is expressed in the information intensity reduction, which physically leads to a time

reduction for the delivery of aerial photographs. At the same time, there is a problem with the restored image's quality at high ratios [7].

Therefore, the purpose of the research is to create a separation strategy of valuation, taking into account the structural saturation and substantiation of the approach to the formation of the transformation's quantized description of the aerial photo's segment.



**Fig. 1.** The scheme of the basic technology is effective coding using previous transformation and subsequent normalization

### Research bases

To create this strategy, it is necessary to consider the process of valuation in more detail. When digital

processing of the analog signal is a change in the representation of a wide (and continuous) range of input values in a limited set of discrete output values. The term "normalization", in the case of image processing, involves the rounding of real numbers to integers or the transformation of integers into smaller targets [8].

The feature of human sight is the fact that as a result of the low sensitivity to the change of high-frequency components of the image it is possible to apply a coarse quantization step to the coefficients responsible for the high frequencies [9]. The normalization occurs as a result of the division of the matrix of coefficients  $k$  into the so-called estimated matrix  $E$  i.e.

$$K_{ij} = \left\lfloor k_{ij} / e_{ij} \right\rfloor,$$

where  $k_{ij}$  – values of the transformant components;

$e_{ij}$  – values of the normalization matrix components;

$\lfloor k \rfloor$  – operation of determining the whole part  $k$ .

Usually, the normalization matrix is different for the components of color and brightness [10]. In most algorithms of image processing, the normalization is in the usual elemental division of a certain working matrix's values of the components into a valuation matrix [11]. For each component of the color difference model (Y, U and V), its own estimation matrix is given

Table 1 – Rendering data for component of brightness

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	11	16	16	10	40	24	61	51
2	12	12	19	14	58	26	55	60
3	13	14	24	16	57	40	56	69
4	17	14	29	22	87	51	62	80
5	22	18	56	37	109	58	77	103
6	35	24	64	55	104	81	92	113
7	64	49	87	78	121	103	101	120
8	92	72	98	95	100	112	99	103

The elements' values of these matrixes for the standard JPEG are obtained in an experienced way as a result of the visual perception estimating [15].

To change the value of the compression ratio, the multiplication of the initial matrixes is made on a certain number [16].

The JPEG 2000 standard implies the use of its own table of valuation, but it is required to transmit the decoder together with the compressed data. It leads to an increase in the total size of the encoded data [17]. As an alternative, it is possible to create own normalization matrixes (stream processing) using one parameter  $P$ , which is defined by the user.

As a result of applying the normalization for the algorithm, some specific effects will be characteristic for large values of the compression ratio [18]. Losses in the field of low-frequency components lead to the appearance of the resulting image of the squares. Loss of high-frequency components cause the so-called

$e = [\chi, \delta]$ . Application is given by the following formula:

$$K_{ij}^{(G)} = \left\lfloor \frac{k_{ij}}{e_{ij}} \right\rfloor.$$

At this stage, by varying the compression ratio, the amplitudes of the transformant components' output values are set, and, consequently, the level of losses is determined [12]. With the use of a valuation matrix with coefficients' large values, a greater number of zeros is obtained and, consequently, a greater compression degree.

From this it follows that when forming the normalization matrixes, at the stage of the setting the values of their elements, there is the possibility to control the compression degree [13]. As a result, at a higher value of the elements of the valuation matrix, the range of values of elements of the normalized transformant

$$K^{(G)} = [\chi, \delta],$$

will be less. It leads to the possibility of encoding with less information. For example, in the JPEG standard, normalization matrixes are obtained empirically [14]. Recommendations in the standard JPEG, the normalization data for the component of brightness are presented in the table 1.

"Gibbs effect", when around the elements of aerial photography with a sharp drop in structural saturation appears some halo [19].

The JPEG and JPEG 2000 algorithms are used to compress the image, followed by its visual perception, and the resulting compressed image is not suitable for further digital processing [20].

As a result, it is possible to make a conclusion: valuation is used for: saving memory; change in the characteristics of the sequences with respect to further compression; adjusting the compression ratio and, accordingly, the level of losses; preparation for further processing; add effects [21].

### Formation of a quantized description of the aerial photograph's transformation

As a result of detecting the dependencies of dynamic ranges' unevenness and their limitations for aerial photographs with different parameters of

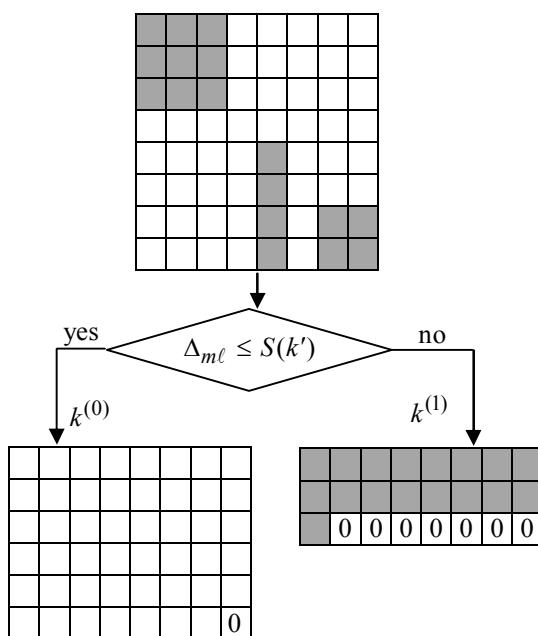
structural complexity. It is given the opportunity to reduce the amount of statistical redundancy by applying structural-block coding in the method of processing aerial photographs [22].

In order to do this, the processing parameters are determined in the course of normalization on the basis of structural complexity's parameters. This leads to the formation of a spectral single-normalized space [23].

The components transformants' value  $K^{(e)}$  is characterized by a dynamic range of components  $k_{ml}$  in a two-dimensional space, taking into account the ranges of rows  $\Delta_m$  and columns  $\Delta_\ell$  as magnitudes  $\Delta_{m\ell} \Delta_{m\ell} = \min(k_{\ell,\max} + 1; k_{m,\max} + 1)$ .

Here  $\Delta_{m\ell}$  - is the range of the component  $k_{m\ell}$ ;  $\Delta_{\ell,\max}$  - the value of the range  $\ell$ - th column transformants  $k$ ;  $\Delta_{m,\max}$  - the value of the range of the  $k$ - th line transformants  $k$ .

In order to reduce the volume of compressed aerial photographs, it is proposed to use quantization, which is formed when the components of the transformants with a high dynamic range of values are detected (Fig. 2).



**Fig. 2.** Structural and functional quantization scheme of the array of separate representation

At quantization, the initial array distribution of a separate representation  $K' = \{k'_{ml}\}$  is divided into two components  $k^{(0)}$  and  $k^{(1)}$ .

Affiliation to these components is determined by the value's ratio  $\Delta_{m\ell}$  of one level of the array's dynamic range of differential representation, that is

$$k \xrightarrow{S(k')} \{k^{(0)}; k^{(1)}\},$$

where  $k^{(0)}$ ,  $k^{(1)}$  - the constituents of the array of a separate representation, which include, respectively, the elements of the lower and upper quantized levels [24].

Quantization in massifs of differential representation arises as a result of the combined approach in the process of its formation [25-28]. As a result, a dynamic range of an array of differential representation is formed. Which structure has at least two gradations. From this, it follows that quantization is the elimination of structural redundancy.

In this case, the elimination of the disadvantage, the cause of which is the high dynamic range of individual elements of the array of differential representation, is possible. This is achieved by the following characteristics of the component  $k^{(1)}$  of the upper quantized level:

- in the array of the upper range level of the quantized representation, there are elements corresponding to the differences at the boundary of the contour and the main background of the fragment aerial photography;

- for the elements that corresponds to the boundary of the contour and the main background of the fragment aerial photography, is characterized by a uniform dynamic range.

These characteristics are used in the separate description of the component of the upper quantized level. In a separate arrays representation of the upper-level, elements of the array are represented as two-dimensional position numbers in difference space. In this case, the array code  $k^{(1)}$  will be determined in relation to the code number that corresponds to the minimum level  $V^{(2)}$  of the separate space.

In connection with this, it is proposed to take into account the minimum values in each array's row of the upper quantized level in the process of forming the minimum level of separation space. In this case, a vector of minimal values in the lines is formed,

$$V = \{v_1, \dots, v_\beta\}.$$

The value  $v_i$  is calculated as the minimum value in the  $i$ -th row of the array  $k^{(1)}$  i.e.

$$v_i = \min_{1 \leq j \leq \delta} \{k_{ij}^{(1)}\}, \quad i=1, \alpha.$$

Determining the minimum values for each line allows taking into account the features of dynamic ranges at the boundaries of aerial photography [29].

As a result, the displacement from the initial dynamic range of the array  $k^{(1)}$  to the reduced dynamic range, which is given by the vector of restrictions  $Vent$ , i.e.  $Vent = \{vent_{1,j}, \dots, vent_{\delta,j}\}$ .

Here  $vent_{i,j}$  - is the difference between the maximum  $\Delta_{ij}^{(1)}$  and minimum  $v_i$  values in the  $i$ -th line of the array  $k^{(1)}$  of the upper quantized level, that is

$$vent_{i,j} = \Delta_{ij}^{(1)} - v_i.$$

The lower level  $V^{(2)}$  of the two-dimensional separation space is calculated, which is based on the

values of the vector's elements  $V = \{v_1, \dots, v_z\}$ . The lower-level elements  $V^{(2)}$  are set by restrictions on the dynamic range of the upper quantized level.

Therefore, the distance  $Dist$  between the current array  $k^{(1)}$  and the lower level  $V^{(2)}$  of the two-dimensional number is calculated according to the following formula:

$$\begin{aligned} Vent &= \\ &= \sum_{i=1}^{\chi} \sum_{j=1}^{\delta^{(1)}} (k_{ij}^{(1)} - v_i) \prod_{\xi=j+1}^{\delta^{(1)}} vent_{i\xi} \alpha \prod_{\gamma=i+1}^{\delta} \prod_{\xi=1}^{\chi^{(1)}} vent_{\gamma\xi}. \end{aligned}$$

Here  $(k_{ij}^{(1)} - v_i) = \bar{k}_{ij}^{(1)}$  - is - the displacement's value of the current array's elements in the lower level of a two-dimensional space, whose position index is equal  $(i, j)$ .

Let's substantiate the necessity of representing an array  $k^{(1)}$  in a two-dimensional separation space. To do this  $f^{(1)}$  we will write the value of the code in the initial space:

$$f^{(1)} = \sum_{i=1}^{\chi} \sum_{j=1}^{\delta^{(1)}} k_{ij}^{(1)} \prod_{\xi=j+1}^{\delta^{(1)}} \Delta_{i\xi}^{(1)} \prod_{\gamma=i+1}^{\delta} \prod_{\xi=1}^{\chi^{(1)}} \Delta_{\gamma\xi}^{(1)}.$$

Let's write the relationship and get it

$$\begin{aligned} Vent &= \sum_{i=1}^{\chi} \sum_{j=1}^{\delta^{(1)}} (k_{ij}^{(1)} - v_i) \prod_{\xi=j+1}^{\delta^{(1)}} (\Delta_{i\xi}^{(1)} - \\ &- v_i) \prod_{\xi=j+1}^{\delta^{(1)}} (\Delta_{i\xi}^{(1)} - v_i) \prod_{\gamma=i+1}^{\delta} \prod_{\xi=1}^{\chi^{(1)}} (\Delta_{\gamma\xi}^{(1)} - v_{\gamma}). \end{aligned}$$

Then, since the inequalities are fulfilled:

$$\begin{aligned} (k_{ij}^{(1)} - v_i) &\leq k_{ij}^{(1)}; \\ \prod_{\xi=j+1}^{\delta^{(1)}} (\Delta_{i\xi}^{(1)} - \mu_i) \prod_{\gamma=i+1}^{\delta} \prod_{\xi=1}^{\chi^{(1)}} (\Delta_{\gamma\xi}^{(1)} - \\ &- \mu_{\gamma}) \leq \prod_{\xi=j+1}^{\delta^{(1)}} \Delta_{i\xi}^{(1)} \prod_{\gamma=i+1}^{\delta} \prod_{\xi=1}^{\chi^{(1)}} \Delta_{\gamma\xi}^{(1)}, \end{aligned}$$

then it has led to the expression:

$$Vent \leq f^{(1)}.$$

In this case, the code number  $Dist$  in a separate space, determined as a relative distance, will be less than the difference between the code number and the code of the lower level  $f_{\min}^{(1)}$  in the original quantized space, that

$$Vent \leq f^{(1)} - f_{\min}^{(1)}. \quad (1)$$

The truth of expression (1) is proved by the fact that the use of the representation of array's elements of the upper quantized level in a separable space leads to the elimination of combinatorial redundancy, which is achieved:

- a decrease in the values distribution of the upper quantized level's elements due to the detection of minimum values, that is, the implementation of inequalities

$$(k_{ij}^{(1)} - v_i) \leq k_{ij}^{(1)}$$

and

$$(\Delta_{ij}^{(1)} - v_i) \leq \Delta_{ij}^{(1)};$$

- the number reduction of numbers for which the condition of the differential space is not followed and preceded by the current number [30].

The total number  $Numb^{(2)}$  of position numbers for which the condition in the differential non-equilibrium space is fulfilled is calculated according to the following expression

$$Numb^{(2)} = \prod_{i=1}^{\chi} \prod_{j=1}^{\delta^{(1)}} (\Delta_{ij}^{(1)} - v_i). \quad (2)$$

Formula (2) indicates a reduced combinatorial redundancy as a result of applying the representation of the array of the upper quantized level in a separable space [31]. This leads to a reduction in the time expended on bringing highly saturated image fragments.

## Conclusions

1. It has been developed the strategy for managing time expenditures for the realization of aerial photos by applying adaptive normalization of the components of the image segment.

2. It has been developed an approach to the formation of a quantized description of the aerial image segment's transformation, which is based on the two-level representation of the transformant's dynamic range of values, which reduces combinatorial redundancy.

## REFERENCES

- Piramanayagam, S., Saber, E., Cahill, N.D. and Messinger, D. (2015), "Shot boundary detection and label propagation for spatio-temporal video segmentation", *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 9405.
- Mashtalir, S., Mikhnova, O. and Stolbovyi, M. (2018), "Sequence Matching for Content-Based Video Retrieval", *Proceedings of the 2018 IEEE 2nd International Conference on Data Stream Mining and Processing*, DSMP 2018, art. no. 8478597, pp. 549-553.
- Ruban, I., Smelyakov, K., Vitalii, M., Dmitry, P. and Bolohova, N. (2018), "Method of neural network recognition of ground-based air objects", *Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies*, DESSERT 2018, pp. 589-592.
- Sumtsov, D., Osiievskyi, S. and Lebediev, V. (2018), "Development of a method for the experimental estimation of multi-media data flow rate in a computer network", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, Is. 2-92, pp. 56-64.

5. Sindeev, M., Konushin, A. and Rother, C. (2012), "Alpha-flow for video matting", *Technical Report*, pp. 41-46.
6. Hubbard, T. and Bor, R. (2016), *Aviation Mental Health: Psychological Implications for Air Transportation*, Routledge, London, 376 p.
7. Buranova, M.A., Kartashevskyi, V.H. and Samoilov, M.S. (2013), "The comparative analysis of statistical characteristics of the video traffic in networks of the packet transmission of data", *Infokommunikacionnye tehnologii*, Vol. 11, Is. 4, pp. 33-39.
8. Mistry, D., Modi, P., Deokule, K., Patel, A., Patki, H. and Abuzaghleh, O. (2016), "Network traffic measurement and analysis", *2016 IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference (LISAT)*, April 2016, DOI: <https://doi.org/10.1109/LISAT.2016.7494141>
9. Tkachov V.M., Tokarev V.V., Radchenko V.O. and Lebediev V.O. (2017), "The Problem of Big Data Transmission in the Mobile "Multi-Copter – Sensor Network" System", *Control, Navigation and Communication Systems*, Issue 2, pp. 154-157.
10. Svyrydov, A., Kuchuk, H., Tsiapa, O. (2018), "Improving efficiency of image recognition process: Approach and case study", *Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2018*, pp. 593-597, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409201>
11. Krasnorutskij, A., Tristan, A. and Kharchenko, N. (2014), "The Problem Aspect of Control of Bit Speed of the Video Stream in Telecommunication Networks", *International Conference TCSET'2014* ["Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science"] (Lviv-Slavsk, Ukraine, February 25 – March 1, 2014) / Lviv Polytechnic National University, 2014. – P. 533-534.
12. Mozhaev, O., Kuchuk H., Kuchuk, N., Mozhaev, M. and Lohvynenko M. (2017), "Multiservice network security metric", *IEEE Advanced information and communication technologies-2017*, Proc. of the 2th Int. Conf, Lviv, pp. 133-136, DOI: <https://doi.org/10.1109/AIACT.2017.8020083>
13. Wang, S., Zhang, X., Liu, X., Zhang, J., Ma, S. and Gao, W. (2017), "Utility-Driven Adaptive Preprocessing for Screen Content Video Compression", *IEEE Transactions on Multimedia*, 19 (3), art. no. 7736114, pp. 660-667.
14. Pavlenko, M., Timochko, A., Korolyuk, N. and Gusak M. (2014), "Hybrid model of knowledge for situation recognition in airspace", *Automatic Control and Computer Sciences*, Vol. 48, Issue 5, pp. 257-263.
15. Taylor, S.E. (2015), *Health psychology*, McGraw-Hill Education, New York, 2015, 430 p.
16. Popovskiy, V.V., Saburova, S.O., Oliynik, V.F., Losev, Yu.I. and Ageev D.V. (2006), *Matematichni osnovi teoriyi telekomunikatsiyih system*, TOV «Kompaniya SMIT», Kharkiv, 564 p. (in Russian)
17. Pavlenko, M.A. (2012), "Methods and procedures for the selection of operators using smart automated decision support systems", *Zbirnik naukovih prac HUPS*, No. 4 (33), pp. 171-177.
18. Kharchenko, V. and Mukhina, M. (2014), "Correlation-extreme visual navigation of unmanned aircraft systems based on speed-up robust features", *Aviation*, Vol. 18, Issue 2, pp. 80–85, DOI: <https://doi.org/10.3846/16487788.2014.926645>.
19. Brown, T.A. (2015), *Confirmatory factor analysis for applied research*, Guilford Press, New York, 462 p.
20. Gonzales, R.C. and Woods, R.E. (2002), *Digital image processing*, Prentice Inc. Upper Saddle River, New Jersey, 779 p.
21. Ericsson, K.A., Charness, N., Feltovich, P.J. and Hoffman, R.R. (2018), *The Cambridge handbook of expertise and expert performance*, Cambridge University Press, New York, 918 p.
22. Wickens, C.D. (2015), *Engineering psychology and human performance*, Psychology Press, New York, 544 p.
23. Li, L. (2015), "The UAV intelligent inspection of transmission lines", *Proceedings of the 2015 International Conference on Advances in Mechanical Engineering and Industrial Informatics*, DOI: <https://doi.org/10.2991/ameii-15.2015.285>.
24. Carter, M.W. and Price, C.C. (2017), *Operations research: a practical introduction*, CRC Press, Boca Raton, 416 p.
25. Fletcher, R. (2017), *Practical methods of optimization*, John Wiley & Sons, New York, 456 p.
26. 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>
27. 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, DOI: [http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4\\_8](http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8)
28. Kuchuk, G., Nechausov, S. and Kharchenko, V. (2015), "Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store", *Int. Conf. on Information and Digital Techn., Zilina*, pp. 266-271, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DT.2015.7222982>
29. Larin, V., Yeromina, N., Petrov, S., Tantsiura, A. and Iasechko, M. (2018), "Formation of reference images and decision function in radiometric correlation-extremal navigation systems", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 4, Is. 9, pp. 27-35.
30. Qassim, H., Verma, A. and Feinzimer, D. (2018), "Compressed residual-VGG16 CNN model for big data places image recognition", *2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, DOI: <https://doi.org/10.1109/ccwc.2018.8301729>.
31. Larin, V., Yerema, D. and Bolotska Y. (2019), "The reasoning of necessity enhancing video privacy in conditions of providing the quality of the video information service provided in virtual infocommunication systems", *Sistemi ozbroennya i viyskova tehnika*, Vol. 2 (35), HNUPS, Kharkiv, pp. 158-162.

Надійшла (received) 25.11.2019  
Прийнята до друку (accepted for publication) 05.02.2020

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Тимочко Олександр Іванович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;  
**Oleksandr Tymochko** – doctor of Technical Sciences, Professor, Department Professor, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [timochko.alex@gmail.com](mailto:timochko.alex@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4154-7876>.

**Ларін Володимир Валерійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри математичного та програмного забезпечення АСУ, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;  
**Volodymyr Larin** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Mathematical and Software ACS Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [Volodymyr\\_Larin@gmail.com](mailto:Volodymyr_Larin@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0771-2660>.

**Осієвський Сергій Валерійович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри математичного та програмного забезпечення АСУ, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;  
**Serhii Osieievskyi** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Mathematical and Software ACS Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;  
e-mail: [Serhii\\_Osieievskyi@gmail.com](mailto:Serhii_Osieievskyi@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0861-9417>.

**Тімочко Олександр Олександрович** – кандидат технічних наук, інженер фірми «Kreditech», Гамбург, Німеччина;  
**Oleksandr Timochko** – Expert Quality Assurance Engeneer of Kreditech Holding, Hamburg, Germany;  
e-mail: [timochko.alexandr.a@gmail.com](mailto:timochko.alexandr.a@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0424-0426>.

**Ахмед Абдалла** – аспірант, Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна;  
**Ahmed Abdalla** – doctoral Student, Flight Academy of National Aviation University, Kropyvnytskyi, Ukraine;  
e-mail: [Ahmed\\_Abdalla@gmail.com](mailto:Ahmed_Abdalla@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9830-9548>.

### **Метод обробки відеоінформаційних ресурсів для систем навігації та управління рухом**

О. І. Тимочко, В. В. Ларін, С. В. Осієвський, О. О. Тімочко, Ахмед Абдалла

**Анотація.** У статті розглядаються існуючі технології обробки видових зображень в сучасних засобах навігації та управління рухом. Вказується на наявність протиріччя між необхідністю зменшувати інформаційну інтенсивність для сильнонасичених фрагментів та підтримки відповідності відновлених фрагментів вихідному аерофотознімку об'єктів інтересу. Описуються характеристики компонент матриці після ортогонального перетворення для ділянок зображення з різною структурною насыщеністю. Обґрутується застосування роздільного правила нормування з урахуванням структурної складності аерофотознімків об'єктів інтересу. Пропонується проводити обробку значень елементів трансформант сегменту аерофотознімка об'єктів інтересу по відношенню значення елементу вектору основи до деякого заданого порогового значення. Обґрутується скорочення комбінаторної надмірності в результаті застосування подання масиву верхнього квантованого рівня в роздільному просторі. Розроблено політику керування часовими витратами на доведення даних аерофотознімка шляхом застосування адаптивної нормалізації компонент елементів відеоінформаційного ресурсу. Розроблений критерій до формування частотного опису матриці після ортогонального перетворення сегменту аерофотознімка на основі дворівневого представлення динамічного діапазону значень трансформанти, що дозволяє скоротити комбінаторну надмірність.

**Ключові слова:** зображення; аерофотознімок; надмірність; кодування; квантування; ортогональне перетворення; матриця; дані; високочастотний компонент.

### **Метод обработки видеонформационных ресурсов для систем навигации и управления движением**

А. И. Тимочко, В. В. Ларин, С. В. Оснєвский, А. А. Тимочко, Ахмед Абдалла

**Аннотация.** В статье рассматриваются существующие технологии обработки видовых изображений в современных средствах навигации и управления движением. Указывается на наличие противоречия между необходимостью уменьшать информационную интенсивность для сильнонасыщенных фрагментов и поддержания соответствия восстановленных фрагментов исходному аэрофотоснимку объектов интереса. Описываются характеристики компонент матрицы после ортогонального преобразования для участков изображения с разной структурной насыщенностью. Обосновывается применение раздельного правила нормирования с учетом структурной сложности аэрофотоснимков объектов интереса. Предлагается проводить обработку значений элементов трансформанты сегмента аэрофотоснимка объектов интереса по отношению значения элемента вектора основания до некоторого заданного порогового значения. Обосновывается сокращение комбинаторной избыточности в результате применения представления массива верхнего квантованного уровня в раздельном пространстве. Разработана политика управления временными затратами на доведение данных аэрофотоснимка путем применения адаптивной нормализации компонент элементов видеонформационного ресурса. Разработанный критерий к формированию частотного описания матрицы после ортогонального преобразования сегмента аэрофотоснимка на основе двухуровневого представления динамического диапазона значений трансформанты, что позволяет сократить комбинаторную избыточность.

**Ключевые слова:** изображение; аэрофотосъемка; избыточность; кодирование; квантование; ортогональное преобразование; матрица; данные; высокочастотный компонент.

## АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Александров Е. Е. (Eugene Aleksandrov) .....	39
Александрова Т. Є. (Tetiana Aleksandrova) .....	39
Андрієв С. М. (Sergey Andrieiev) .....	39
Артиух Р. В. (Roman Artiukh) .....	77
Ахмед Абдалла (Ahmed Abdalla) .....	140
Байрамов А. А. (Azad Agalar oğlu Bayramov) ....	23
	136
Бережний А. О. (Andrii Berezhnyi) .....	5
Бойко О. А. (Oleksandr Boiko) .....	124
Бондар О. П. (Oleksii Bondar) .....	107
Бортник С. О. (Serhii Bortnyk) .....	124
Бохно Т. Р. (Taras Bokhno) .....	107
Брижаченко Т. (Tetyana Bryzhachenko) .....	130
Бутенко О. С. (Olga Butenko) .....	130
Годлевський І. М. (Igor Godlevskyi) .....	63
Горелік С. І. (Stanislav Gorelik) .....	130
Гороховатський В. О. (Oleksii Gorokhovatskyi) .....	113
Давидовський Ю. К. (Yuriii Davydovskyi) .....	16
Демідова Ю. Є. (Yulia Demidova) .....	33
Дроздова Т. В. (Tatyana Drozdova) .....	33
Єлізєва А. В. (Alina Yelizieva) .....	77
Жилін В. А. (Volodymyr Zhilin) .....	39
Іманов Р. Р. (R. R. Imanov) .....	136
Кійко А. С. (Andriy Kiyko) .....	91
Ковалчук А. О. (Andriy Kovalchuk) .....	91
Коломійцев О. В. (Oleksii Kolomiitsev) .....	91
Кононов В. Б. (Vladimir Kononov) .....	85
Коротченко Л. А. (Liudmyla Korotchenko) .....	85
Косенко В. В. (Viktor Kosenko) .....	16
Костянник І. В. (Iryna Kostianyk) .....	39
Коутний Є. М. (Yevhen Koutnyi) .....	124
Кошман С. О. (Sergey Koshman) .....	71
Краснобаєв В. А. (Victor Krasnobayev) .....	71
Кузнецов О. Л. (Oleksandr Kuznetsov) .....	91
Курчанов В. М. (Valerii Kurchanov) .....	71
Кучук Н. Г. (Nina Kuchuk) .....	97
Лавров О. Ю. (Oleh Lavrov) .....	5
Ларін В. В. (Volodymyr Larin) .....	140
Лещенко Ю. О. (Yuliia Leshchenko) .....	77
Ляшенко Г. Т. (Anna Lyashenko) .....	107
Максіменко О. М. (Oleksandr Maksymenko) ....	124
Малеєва О. В. (Olga Malyeyeva) .....	16
Медведєв В. В. (Volodymyr Medvediev) .....	63
Мельник А. О. (Artur Melnyk) .....	107
Мерлак В. Ю. (Viktoria Merlak) .....	97
Микаїлов Т. Н. (Telman Neman oğlu Mikayilov) .....	23
Міланов М. В. (Mykhailo Milanov) .....	77
Наконечний О. В. (Oleksandr Nakonechnyi) .....	28
Осієвський С. В. (Serhii Osieievskyi) .....	140
Павленко М. А. (Maksim Pavlenko) .....	103
Пашаєв А. Б. (Adalat Bakhtiyar Pashayev) .....	11
Петров О. В. (Oleksii Petrov) .....	103
Певнєв В. Я. (Volodymyr Pevnev) .....	119
Пилипишин О. В. (Oleksandr Pylypyshyn) .....	124
Поповіченко О. М. (Oksana Popovichenko) ....	119
Пупченко Д. В. (Dmytro Pupchenko) .....	113
Рева О. А. (Oleksandr Reva) .....	16
Сабзієв Е. Н. (Elhan Nariman Sabziev) .....	11
Садовий К. В. (Kostiantyn Sadovy) .....	91
Сакович Л. М. (Lev Sakovich) .....	85
Скороделов В. В. (Vladimir Skorodelov) .....	97
Сокіл Ю. М. (Yurii Sokil) .....	124
Стяглик Н. І. (Natalia Stiahlyk) .....	113
Сугак С. О. (Serhii Suhak) .....	107
Тверитникова О. Є. (Elena Tverynykova) .....	33
Тимочко О. І. (Oleksandr Tymochko) .....	140
Тимочко О. О. (Oleksandr Timochko) .....	140
Топчій А. (Anna Topchiy) .....	130
Тристан А. В. (Andrii Trystan) .....	5
Туревич М. Д. (Kolya Turevych) .....	63
Тюрніков М. М. (Mykhailo Tiurnikov) .....	107
Хасанова С. А. (Samira Afrasiyab Hasanova) ....	11
Хмелецький С. І. (Serhii Khmelevskiy) .....	103
Цокота Я. В. (Yaroslav Tsokota) .....	119
Шишацький А. В. (Andrii Shyshatskyi) .....	107
Юсухно Є. А. (Yevhenii Yusukhno) .....	124

Наукове видання

## Сучасні інформаційні системи

## Advanced Information Systems

Науковий журнал

Том 4, № 1

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 2.03.2020 Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 18,25. Тираж 120 прим. Зам. 302-20

Адреса редакції: Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”  
Кафедра ОТП, вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків, Україна, тел. 707-61-65

Віддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.  
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.

Запис № 2480000000106167 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)