



Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”

National Technical University
“Kharkiv Polytechnic Institute”



Сучасні інформаційні системи

Том 1, № 2

Щоквартальний
науково-технічний журнал

Заснований у березні 2017 року

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

Засновник і видавець:

Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”

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

Телефон:

+38 (057) 707-61-65

E-mail редколегії:

kuchuk56@ukr.net

Інформаційний сайт:

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

Advanced Information Systems

Volume 1, No. 2

Quarterly
scientific and technical journal

Founded in March 2017

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

Founder and publisher:

National Technical University
“Kharkiv Polytechnic Institute”

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

Phone:

+38 (057) 707-61-65

E-mail of the editorial board:

kuchuk56@ukr.net

Information site:

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

Затверджений до друку Вченою Радою Національного технічного університету
“Харківський політехнічний інститут” (протокол від 24 листопада 2017 року № 9).

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

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

Харків • 2017

Редакційна колегія

Головний редактор:

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

Заступник головного редактора:

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

Члени редакційної колегії:

АЛІШОВ Надір Ісмаїл огли
(д-р техн. наук, проф., Київ, Україна);
БАЙРАМОВ Азад Агахар огли
(д-р фіз.-мат. наук, проф., Баку, Азербайджан);
ГОДЛЕВСЬКИЙ Михайло Дмитрович
(д-р техн. наук, проф., Харків, Україна)
ЗАПОЛОВСЬКИЙ Микола Йосипович
(канд. техн. наук, проф., Харків, Україна);
КАРПІНСЬКИЙ Микола Петрович
(д-р техн. наук, проф., Бельсько-Бяла, Польща);
КАЧАНОВ Петро Олексійович
(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);
МАМУСИЧ Ілля
(д-р техн. наук, проф., Загреб, Хорватія);
МИГУЩЕНКО Руслан Павлович
(д-р техн. наук, доц., Харків, Україна);
МОЖАЄВ Олександр Олександрович
(д-р техн. наук, проф., Харків, Україна);
ПОРОШИН Сергій Михайлович
(д-р техн. наук, проф., Харків, Україна);
РАСКІН Лев Григорович
(д-р техн. наук, проф., Харків, Україна);
РАДЄВ Христо Кирилов
(д-р техн. наук, проф., Софія, Болгарія);
РУДНИЦЬКИЙ Володимир Миколайович
(д-р техн. наук, проф., Черкаси, Україна);
СЕРЕНКОВ Павло Степанович
(д-р техн. наук, проф., Мінськ, Білорусь);
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);
ХАКІМОВ Ортаголи Шарипович
(д-р техн. наук, проф., Ташкент, Узбекистан);
ШВАЧИЧ Геннадій Григорович
(д-р техн. наук, проф., Дніпро, Україна).

Відповідальний секретар:

ГОРЮШКІНА Алла Ерnestівна
(канд. техн. наук, Харків, Україна).

Технічний секретар:

ГРЕБЕНЮК Дарина Сергіївна.

Editorial board

Editor-in-Chief:

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

Associate editor:

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

Editorial board members:

ALISHOV Nadir Ismayil oğlu
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine);
BAYRAMOV Azad Agalar oğlu
(Dr. Sc. (Ph-Math.), Prof., Baku, Azerbaijan);
GODLEVSKII Mikhail
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);
ZAPOLOVSKII Mykola
(Ph.D. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);
KARPINSKI Mikolaj
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Bielsko-Biala, Poland);
KACHANOV Petro
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);
KUCHUK Heorhii
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);
LYTVYN Vasyl
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Lviv, Ukraine);
MAMUSUĆ Ilya
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Zagreb, Croatia);
MYGUSHCHENKO Ruslan
(Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kharkiv, Ukraine);
MOZHAYEV Oleksandr
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);
POROSHIN Sergey
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);
RASKIN Lev
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);
RADEV Hristo
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Sofia, Bulgaria);
RUDNITSKY Volodymyr
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Cherkasy, Ukraine);
SERENKOV Pavel
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Minsk, Belarus);
SERKOV Oleksandr
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);
SMIRNOV Alexey
(Dr. Sc. (Tech.), prof., Kropivnitsky, Ukraine);
STONKUNAS Jonas
(Dr. Sc. (Tech.), prof., Vilnius, Lithuania);
KHAKIMOV Ortagoli
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Tashkent, Uzbekistan);
SHVACHICH Hennadii
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Dnipro, Ukraine).

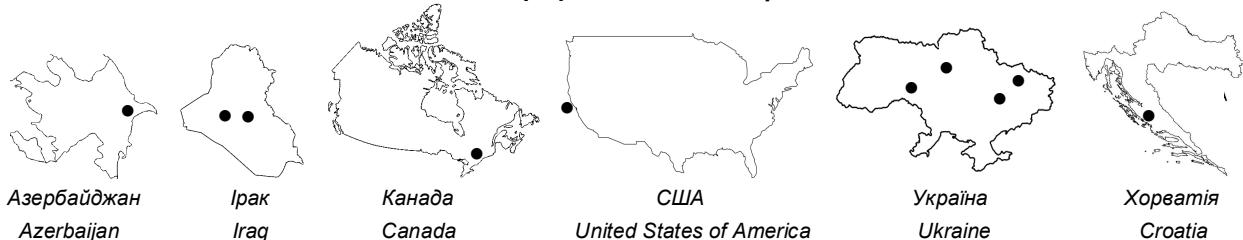
Responsible secretary:

GORIUSHKINA Alla
(Ph.D., NTU "KhPI", Kharkiv, Ukraine).

Technical secretary

HREBENIUK Daryna.

Географія статей номера



З М И С Т

МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ	
Косенко В. В.	
Математична модель оптимального розподілу прикладних задач систем критичного призначення по вузлах інфокомуникаційної мережі (eng.)	4
Романенко І. О., Шишацький А. В.	
Модель впливу завад на системи спеціального радіозв'язку (eng.)	10
МЕТОДИ СИНТЕЗУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ	
Безкоровайний В. В., Солонець О. І., Кулагін К. К., Кошель Т. А., Петров С. В., Кошель А. В.	
Метод системного проектування мережі засобів спеціального контролю (eng.)	15
Нечаусов А. С., Мамусич І., Кучук Н. Г.	
Синтез системи контролю рівня забруднення повітря на базі гіперконвергентних інфраструктур (eng.)	21
ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ	
Животовський Р. М., Петruk С. М.	
Аналіз методів оцінки каналів комплексів протиповітряної оборони (eng.)	27
Серков О. А., Бреславець В. С., Толкачов М. Ю., Чурюмов Г. І., Іссам Саад	
Шумоподібні сигнали у безпровідowych системах передачі інформації (eng.)	33
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ	
Любченко Н. Ю., Подорожняк А. О., Бондарчук В. К.	
Нейромережевий метод інтелектуальної обробки мультиспектральних зображень	39
Кудхаір Абед Тамер	
Відношення і операції над предикатами в теорії інтелекту (eng.)	45
Сааді Т. Курді, Ахмед Хамід Рея, Ал-Ашматі Акрам Фаті Хуссейн	
Збільшення ефективності польоту БПЛА з використанням штучних нейронних мереж (eng.)	52
МЕТОДИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ	
Гавриленко С. Ю., Челак В. В., Білогорський М.	
Дослідження методів вторгнення в комп'ютерні системи, засноване на показнику Херста (eng.)	58
Швачич Г. Г., Іващенко Е. В., Бусыгин В. В.	
Некоторые аспекты организации информационной безопасности функционирования многопроцессорных вычислительных систем	62
ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ	
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ	
Байрамов А. А., Гашимов Э. Г.	
Кількісний метод оцінки виконання розвідувального завдання БПЛА в бойовій обстановці в гірських умовах (eng.)	70
Бутенко О. С., Горелик С. І., Гусаков Д. С., Буравченко Е. А.	
Аерогеодезичний моніторинг потенційних районів спонтанного загоряння лісу (eng.)	74
Ковтун А. В., Табуненко В. О.	
Обґрунтuvання можливості прискореного заправлення автобронетехніки в умовах проведення спеціальних операцій (eng.)	78
Кононов Б. Т., Кононова О. А., Ходак Д. Ю.	
Забезпечення підтримання показників якості при регулювання частоти обертання вала дизель-генератора .	83
Наши автори	89
Подання матеріалів статей до журналу	91
Алфавітний покажчик	94

TABLE OF CONTENTS

INFORMATION SYSTEMS MODELING

Kosenko V.

Mathematical model of optimal distribution of applied problems of safety-critical systems over the nodes of the information and telecommunication network

4

Romanenko I., Shyshatskyi A.

Model of impact interferences on radiocommunication systems for special communications

10

METHODS OF INFORMATION SYSTEMS SYNTHESIS

Bezkorovayny V., Solonets O., Kulagin K.,

Koshel T., Petrov S., Koshel A.

Method of system design of the network of means of special control

15

Nechausov A., Mamusich I., Kuchuk N.

Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures

21

INFORMATION SYSTEMS RESEARCH

Zhyvotovskyi R., Petruk S.

Methods of estimation of the channel state of air defense systems

27

Serkov A., Breslavets V., Tolkachov M.,

Churyumov G., Issam Saad

Noise-like signals in wireless information transmission systems

33

INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS

Podorozhniak A., Lubchenko N., Bondarchuk V.

Neural network method of intellectual processing of multispectral images (ukr.)

39

Khudhair Abed Thamer

Relations and operations on predicates in the theory of intelligence

45

Saadi T. Kurdi, Ahmed Hameed Reja,

Al-Ashmati Akram Fathi Hussein

Increase the aviation efficiency of UAVs using artificial neural networks

52

METHODS OF INFORMATION SYSTEMS PROTECTION

Gavrylenko S., Chelak V., Bilogorskiy N.

Investigation of intrusion in computer systems based on the Hurst exponent

58

Shvachich G., Ivaschenko E., Busygin V.

Some aspects of the organization of information security of functioning of multiprocessor computing systems (rus.)

62

APPLIED PROBLEMS OF INFORMATION SYSTEMS OPERATION

Bayramov A. A., Hashimov E. G.

The numerical estimation method of a task success of UAV reconnaissance flight in mountainous battle condition

70

Butenko O., Gorelik S.,

Gusakov D., Buravchenko E.

Aerogeodesis monitoring of potential areas of spontaneous combustion of the forest

74

Kovtun A., Tabunenko V.

Substantiation of the possibility of accelerated refueling of auto-armored vehicles in conditions of special operations

78

Kononov B., Kononova H., Khodak D.

Providing support for quality indicators when adjusting rotational speed of the diesel generator shaft (ukr.)

83

Authors

89

Submission of articles for journal

91

Alphabetical index

94

Information systems modeling

UDC 004.9 : 621.39

doi: 10.20998/2522-9052.2017.2.01

V. Kosenko

SE "Kharkiv Scientific-Research Institute of Mechanical Engineering Technology", Kharkiv, Ukraine

MATHEMATICAL MODEL OF OPTIMAL DISTRIBUTION OF APPLIED PROBLEMS OF SAFETY-CRITICAL SYSTEMS OVER THE NODES OF THE INFORMATION AND TELECOMMUNICATION NETWORK

The **subject matter** of the article is the processes of synthesis of the information and telecommunication network (ITN) for solving applied problems of safety-critical systems (SCS). The **goal** is to develop a mathematical model for the optimal distribution of applied tasks of safety-critical systems over the ITN nodes. The **tasks** to be solved are: to formalize the procedure of distribution of applied tasks and SCS software over the ITN nodes; to develop a mathematical model of optimal distribution in order to minimize the cost of network resources; to select an effective algorithm for solving it. The **methods** used are: alternative-graph approach, mathematical optimization models, methods for solving nonlinear integer programming problems with Boolean variables. The following **results** were obtained: the task of selecting the ITN optimal structure was formulated according to the alternative-graph model of information processing; in addition to structural characteristics, the requirements for the parameters necessary for performing applied tasks were taken into account while constructing a mathematical model; when minimizing the cost of a computing resource, constraints related to the capabilities for financing the development and operation of the network are taken into account; the costs for organizing additional connections among the network nodes are considered as well. As a result, a mathematical model of distributing SCS applied problems over the ITN environment was obtained in order to minimize the total costs of computing resource, data transmission, network setting and maintenance. This model is a non-linear integer programming problem with Boolean variables. Taking into account the specific nature of the objective function and model constraints with the use of pseudo-Boolean functions, the original task is reduced to a linear form. The obtained model represents the canonical form of the linear optimizing problem of large-dimensional Boolean programming, for which the method of the recession vector is effective. **Conclusions.** The scientific novelty of the results obtained is as follows: 1) the optimization model of distributing applied tasks over the nodes of the computer network was improved by defining the objective function in order to minimize the costs of both computational and data transmission and the constraints caused by the requirements for the technical and information structure of the network; 2) methods for solving the problems of optimizing the ITN structure on the basis of models of nonlinear Boolean programming by transforming the initial task into a linear form and applying the recession vector method was further developed, which makes obtaining a quasi-optimal solution of the problem in the context of large dimension possible.

Keywords: information and telecommunication network; applied problems; optimal distribution; cost minimization; nonlinear model; Boolean variables.

Introduction

High-quality information and telecommunications processes should be provided so that safety-critical systems (SCS), which belong to complex distributed systems, can operate. In the context of continuously improving concepts of developing information and telecommunication networks (ITN) and new network technologies there is a tendency of their "convergence", i.e. integration into more complex structures and technologies. Due to the heterogeneity and inequality of hardware and software, there is an interpenetration of information and software environments that are different in origin and principles of operation. While developing distributed and local information and telecommunication networks there is a number of unresolved tasks that is a complex scientific and technical problem.

Problem analysis and task setting

The development of a reliable and efficient ITN on the basis of available hardware and software is very important. At the same time, the problem of distribution of applied tasks and SCS special software over the

nodes of ITN should be solved [1]. Requirements for efficiency, reliability, continuity and completeness of information should be ensured.

The literature review [2–5] showed that the heterogeneity and convergence of the network are not taken into consideration in existing approaches to the distribution of applied tasks of complex systems over ITN nodes. Besides, the main index of ITN performance is data timeliness. Little attention is paid to the problem of minimizing the total costs of network resources [6].

Mathematical models based on the use of results of graph theory and queuing theory [2] do not take into account the dependence of the characteristics of the network structure on the parameters of applied tasks that are solved in a networked environment, which leads to the loss of accuracy in the results of modelling.

Therefore, the goal of this article is to develop a mathematical model for the optimal distribution of applied tasks of safety-critical systems (SCS) over ITN nodes, based on minimizing the cost of network resources. Taking into account the fact that the task is characterized by a large dimension (due to a large number of applied tasks, program modules and nodes of a distributed network), an effective algorithm of its solution should be selected.

Problem solution

When developing the functional structure of the ITN of a distributed system, it is necessary to solve the following problem [5, 9, 10]: to distribute the applied tasks and SCS software modules over the network nodes taking into consideration the network technical structure (as a set of nodes and the links among them). The synthesis of the ITN structure is closely related to the task of optimizing its efficiency in terms of minimizing the costs of network resources [11].

Thus, it is necessary to develop a mathematical model that enables solving the task of selecting:

- variants of performing various types of applied tasks of the distributed system;
- variants of the ITN development in view of mapping a set of applied SCS tasks and software for their implementation at a number of interconnected ITN nodes, optimal in the context of the cost minimization criterion.

Alternative-graph model of information processing is the basis for describing the process of synthesizing the ITN structure and software [12].

The tasks of the SCS information and communication support are solved with the help of a set of system and application software. Let us define graph $G_P = (P, \Gamma_P)$ for a number of applied tasks $P = \{p_k\}, k = \overline{1, l}$, and Γ_P that is a set of arcs representing the interrelations among them.

To implement the information and telecommunication tasks, the ITN technical structure was developed. Let us define graph $G_U = (U, \Gamma_U)$ that describes the structure of the ITN nodes, where $U = \{u_c\}, c = \overline{1, d}$ is a set of graph vertices corresponding to the nodes of the network, Γ_U is a set of arcs representing the system of nodes commutation.

It is necessary to assign the applied SCS tasks to the nodes of the network taking into account special software and channels of information interaction. The result can be represented as a mutual mapping of the following sets: $G_P \leftrightarrow G_U$ are the options for assigning application tasks to the network nodes.

The considered sets of elements of graph structures P and U have large dimensions and include applied tasks, software, hardware, means of communication, etc. Subsets of homogeneous objects are distinguished at each set. Each stage can be considered as a separate element of the structure for performing tasks that consist of several stages and are performed at the different nodes of the ITN in a homogeneous software environment, each stage can be considered to be a separate element of the set. To establish the correspondence, it is necessary to know the set of required properties of the structure and to select such an option among the set of admissible ones that will ensure the achievement of these properties in the context of the given criterion of optimality.

Let us define matrix $X = \|x_{kc}\|$ with the dimensions of $l \times d$, where

$$x_{kc} = \begin{cases} \text{is 1 if task } k \text{ is completed at node } c; \\ \text{otherwise is 0.} \end{cases}$$

Since each applied task is solved only at one node of the network,

$$\sum_{c=1}^d x_{kc} = 1, k = \overline{1, l}. \quad (1)$$

For the subset of tasks $P' \subset P$ that are solved only at certain nodes of the system, let us define the matrix $A = \|a_{kc}\|$ with the dimensions of $l \times d$:

$$a_{kc} = \begin{cases} \text{is 1 if the node admits} \\ \text{the solution of task } k; \\ \text{otherwise is 0.} \end{cases} \quad (2)$$

The equation (2) results in

$$\sum_{k=1}^l \sum_{c=1}^d a_{kc} x_{kc} = l. \quad (3)$$

In addition to the structural characteristics, let us take into account the requirements to the parameters for performing the applied tasks, in particular, the constraints on the permissible tasks performance time at specific nodes of the network. Let us introduce matrix $T = \|t_{kc}\|$ with the dimensions of $l \times d$, whose element t_{kc} represents the duration that is not greater than the time necessary for performing the k^{th} task at the c^{th} node. If in vector

$$T^{dop} = \{t_k^{dop}\}$$

element t_k^{dop} denotes the time limit for performing the k^{th} task, then

$$\sum_{c=1}^d t_{kc} x_{kc} \leq t_k^{dop}, k = \overline{1, l}. \quad (4)$$

Let us define the cost matrix of the network processor time $Z = \|z_{kc}\|$ with the dimensions of $l \times d$, where z_{kc} represents the processor time spent for performing the k^{th} task at the c^{th} node. In this case, the total network processor time spent is

$$\sum_{k=1}^l \sum_{c=1}^d z_{kc} x_{kc} = z^{sum}.$$

Let us select the subset of tasks $P_v \subset P$ whose input data should be entered only from a certain network node, and the task can be performed at another node. While data transmitting, there happens the network computational burden. To describe these costs, let us introduce matrix $V = \|v_{cj}\|$ with the dimensions of $l \times d$ whose element v_{cj} represents the cost of the computing resource for transmitting the information unit

of the applied level from node c to node j. Note that if $c = j$, then $v_{jj} = 0$.

Matrix $B = \|b_{kc}\|$ with the dimensions of $l \times d$ for tasks $p_k \in P_v$ describes the amount of input information from nodes c. In the case, if $p_{k*} \notin P_v$ or $p_{k*} \in P_v$, but the information from node j^* ($j^* \in U$) is not entered, $b_{k*j^*} = 0$. Then the total cost of the computing resource for transmitting the input information (denoted as z'_{kc}) from task p_k to node u_c is:

$$\sum_{j^*=1}^d b_{kj^*} v_{cj^*} = z'_{kc}, k = \overline{1, l}, c = \overline{1, d}.$$

Note that:

- a) $p_k \notin P_v$, $z_{kc} = 0, c = \overline{1, d}$;
- b) $p_k \in P_v$, $z_{kc} = 0$ when $b_{kc} = 0, c \neq j^*$.

When the k^{th} task is completed, the transmitted data is distributed over the network nodes that make up subset $U_{vih} \subset U$. Let us introduce matrix $B' = \|b'_{kc}\|$ with the dimensions of $l \times d$, whose element b'_{kc} denotes the amounts of information of the applied level obtained after its solution that is transmitted by the k^{th} task to the c^{th} node of the network.

Since set U consists of elementary units, the computing facilities at the nodes of the network make only one-program mode possible. A real network node will be subset of $U_1 \in U$, whose power is at least 1. Then the total costs for the distribution of information of the i^{th} task over the nodes will be:

$$\sum_{c=1}^d v_{kc} b'_{kc} = z_k, k = \overline{1, l}.$$

Let us introduce matrix $B'' = \|b''_{km}\|$ with the dimensions of $l \times l$, whose element b''_{km} is equal to the number of information units of the applied level transmitted from task p_k to task p_m . If $b''_{km} = 0$, while performing the task the information for the task is not transmitted. In this case, the amount of information transmitted for the k^{th} task at the c^{th} node will be:

$$\sum_{k^*=1}^l \sum_{c^*=1}^d b''_{cc^*} b''_{kk^*} x_{k^*c^*} = z''_{kc}, k = \overline{1, l}, c = \overline{1, d}.$$

Now let us take into account the cost resources for the ITN development and operation. When minimizing the cost of a computing resource, constraints related to the financing capabilities for the development and operation of the network are considered. If the amount of expenses for hardware at the nodes should not exceed amount F^P , the constraint will be:

$$\sum_{k=1}^l \sum_{c=1}^d f_c^P x_{kc} \leq F^P, \quad (5)$$

where f_c^P is the cost for re-equipment or installation of the c^{th} node.

Let the amount sum that does not exceed F^u be given for the ITN operation for a certain period of time. Consequently,

$$\sum_{k=1}^l \sum_{c=1}^d f_c^u x_{kc} \leq F^u, \quad (6)$$

where f_c^u is the cost of technical operation of unit c.

Thus, the total costs will be $F = F^P + F^u$,

$$f_c = f_c^P + f_c^u, c = \overline{1, d}.$$

After summing (5) and (6)

$$\sum_{k=1}^l \sum_{c=1}^d f_c x_{kc} \leq F \text{ is obtained.} \quad (7)$$

When developing a mathematical model, the costs for organizing additional connections among different nodes of the network should be taken into consideration. When the nodes are significantly removed from one another the costs for technical operation of the communication line should be considered as well. Let Z^t be maximum allowable one-off costs for the communication among nodes, $Z^t(\tau)$ is the upper limit of the cost for maintaining communication for a certain period of time τ , then the total costs are:

$$Z = Z^t + Z^t(\tau).$$

Let's denote the costs for the organization and operation of communication between nodes c and j as

z_{cj}^t . Then the costs for the node c are:

$$\sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^l z_{cj}^t x_{kc} = z_c^t,$$

In this case, the total costs must satisfy the constraint

$$\sum_{c=1}^d \sum_{j=1}^l \sum_{k=1}^l z_{cj}^t x_{kc} \leq Z. \quad (8)$$

The costs at the c^{th} node of the network for solving problem \tilde{Z}_{kc} consist of direct costs of computing resources for its solution summed up with the costs for receiving and transmitting data while preparing for performing, while performing the task, and after performing. They are defined by the expression:

$$\begin{aligned} \tilde{Z}_{kc} &= z_{kc} + z_k + z'_{kc} + z''_{kc} = z_{kc} + \\ &+ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c}}^d v_{kj} b'_{kj} + \sum_{\substack{j^*=1 \\ j^* \neq c}}^d b_{kj^*} v_{cj^*} + \sum_{k^*=1}^l \sum_{c^*=1}^d b''_{cc^*} b''_{kk^*} x_{k^*c^*}. \end{aligned}$$

Let us develop a mathematical model, according to which the total costs for solving the k^{th} problem at node \tilde{Z}_{kc} over all the elements of sets P and U are minimized:

$$\sum_{k=1}^l \sum_{c=1}^d \left(z_{kc} + \sum_{j=1}^d (v_{kj} b'_{kj} + v_{cj} b_{kj}) + \sum_{k^*=1}^l \sum_{c^*=1}^d b''_{cc^*} b''_{kk^*} x_{k^*c^*} \right) x_{kc} \rightarrow \min, \quad (9)$$

taking into account the system of constraints (1), (3), (4), (7) and (8).

As a result, a mathematical model for distributing SCS applied tasks in the ITN environment is obtained; while performing it, the task of minimizing the total costs of the computing resource, data transmission, network settings and maintenance should be solved. This mathematical model is a non-linear integer programming problem with Boolean variables of dimension

$$R = ld + 2d + 1.$$

The constraints in the model are linear, and in the objective function the fourth augends is nonlinear. Such problems are solved basically by the search method[13]. However, the complexity of the method increases exponentially when the problem dimension increases. To reduce the computational complexity of the method of its solution, an algorithm that has a polynomial complexity should be selected, i.e. the model should be considered as P-task whose performance time depends on its dimension in the following way:

$$t(n) = f(n^r),$$

where r is a polynomial factor, and a is the problem dimension.

Taking into account the specific nature of the objective function and the constraints of the model (9), pseudo-Boolean functions should be used and the initial task should be reduced to a linear form. However, that will lead to a significant increase in the number of variables and constraints, the problem dimension will become equal to

$$R = (ld + 1)^2 + l(d + 2) + 2.$$

However, under real-life conditions, a number of non-zero elements of a simplex table of a transformed mathematical model is not great for applied tasks that are solved at the ITN nodes.

So, for the considered problem, the dimension does not increase significantly, and therefore, the objective function (9) should be reduced to the linear P-task if the computational complexity of the algorithm for its solution decreases. Let us replace the nonlinear factor that is the last augends in expression (9):

$$x_{k^*c^*} x_{kc} = y_{kk^*cc^*}.$$

Then the objective function is:

$$\sum_{k=1}^l \sum_{c=1}^d \left(z_{kc} + \sum_{j=1}^d (v_{kj} b'_{kj} + v_{cj} b_{kj}) \right) x_{kc} +$$

$$+ \sum_{k,k^*=1}^l \sum_{c,c^*=1}^d b''_{cc^*} b''_{kk^*} y_{kk^*cc^*} \rightarrow \min$$

and two more types of inequalities will be added to the initial constraint system:

$$x_{kc} + x_{k^*c^*} - 2y_{kk^*cc^*} \geq 0,$$

$$x_{kc} + x_{k^*c^*} - y_{kk^*cc^*} \leq 1,$$

$$x_{kc} \in \{0,1\}, y_{kk^*cc^*} \in \{0,1\}, k = \overline{1, l}, c = \overline{1, d}.$$

Let us reduce this problem to the canonical form. To do this, the following variables are determined ($e = \overline{1, e'}$, $c' = \overline{1, d+1}$):

$$\xi_e = \begin{cases} x_{kc}, & \text{when } e = l(k-1)+c, \\ y_{kk^*cc^*}, & \text{when } e = ld + kk^*cc^*; \end{cases}$$

$$\gamma_e = \begin{cases} z_{kc} + \sum_{j=1}^d (v_{kj} b'_{kj} + v_{cj} b_{kj}), & \text{when } e = l(k-1)+c; \\ \sum_{k,k^*=1}^l \sum_{c,c^*=1}^d b''_{cc^*} b''_{kk^*}, & \text{when } e = ld + kk^*cc^*, \end{cases}$$

$$\alpha_{c'e} = \begin{cases} 0, & \text{when } [c' \leq d, c'k < e \leq (c'-1)] \\ & \text{or } [c' = d+1, e > kd]; \\ 1, & \text{when } [c' \leq d, (c'-1)l+1 \leq l \leq c'l]; \\ a_{kc}, & \text{when } [c' = d+1, e = d(k-1)+c], \end{cases}$$

$$\alpha'_{c'e} = \begin{cases} 0, & \text{when } [c' \leq d+2, c'd < e \leq d(c'-1)]; \\ t_{kc}, & \text{when } [c' \leq d, d(c'-1)+1 < e \leq c'd]; \\ f_{kc}, & \text{when } [c' = d+1, e \leq ld]; \\ \sum_{j=1}^n z_{cj}', & \text{when } [c' = d+2, e \leq ld]; \\ \alpha''_{kk^*cc^*}, & \text{when } e > d, \end{cases}$$

where $\alpha''_{kk^*cc^*}$ are coefficients of additional constraints.

Let us also define the variables

$$e_{c'} = \begin{cases} 1, & \text{if } c' \leq d; \\ d, & \text{if } c' = d+1; \end{cases}$$

$$e_j = \begin{cases} \tau_j, & \text{если } j \leq d; \\ \beta_j, & \text{если } j > d, \end{cases}$$

where τ_j and β_j are free members of additional constraints.

Then the linear model of assigning the applied SCS tasks to the ITN nodes in order to minimize total costs is reduced to finding the values of vector $(\xi_1, \dots, \xi_{e'}, \dots, \xi_{e'})$, that provide a minimum of the objective function

$$C_{\min} = \sum_{e=1}^{e'} \gamma_e \xi_e, \quad (10)$$

and satisfying the constraint system:

$$\begin{aligned} \sum_{e=1}^{e'} \alpha'_{c'e} \xi_e &= e_c', c' = \overline{1, d+1}; \\ \sum_{e=1}^{e'} \alpha_{je} \xi_e &\leq e_j, j = \overline{1, d}, \\ \xi_e &\in \{0, 1\}, e = \overline{1, e'}. \end{aligned} \quad (11)$$

The mathematical model (10), (11) represents the canonical form of the linear optimization problem of large-dimensional Boolean programming; there are a large number of methods and algorithms for solving it [14]:

- cutting-plane methods;
- branches and bounds method;
- methods for sequential analysis of options;
- additive methods;
- approximate methods of local optimization;
- lexicographical methods.

The method of the recession vector is relative to approximate methods of local optimization of discrete programming problems. It enables finding the optimal solution by narrowing the local open neighborhoods of the initial approximation in the direction of decreasing the values of the specially formed vector.

Conclusions

According to the suggested pattern of formalization, the problem of selecting the ITN optimal structure is formulated, which enables considering the problem of developing a mathematical model for the distribution of application software over the ITN environment.

The scientific novelty of the results obtained includes:

1) the improvement of optimization model of distributing the applied tasks over the nodes of the computer network by determining the objective function for minimizing the costs for both computing and transmitting the data, and the constraints caused by the requirements for the technical and information structure of the network. The result is a non-linear optimization problem of Boolean programming, whose solution is the basis for the synthesis of the network structure, taking into account the applied tasks of the distributed safety-critical system;

2) further development of methods for solving the problems of optimizing the ITN structure on the basis of models of nonlinear Boolean programming by converting the initial problem into a linear one and applying the method of the recession vector, which makes it possible to obtain a quasi-optimal solution of the problem in the context of large dimensions.

REFERENCES

1. Ageev, D.V., Ignatenko, A.A. and Kopylev, A.N. (2011), "Metodika opredeleniya parametrov potokov na raznykh uchastkakh multiservisnoy telekommunikatsionnoy seti s uchetom effekta samopodobiya" ["Method for determining the parameters of flows in different sections of a multiservice telecommunications network, taking into account the self-similarity effect"], *Problemy telekommunikatsiy*, [Telecommunications problems], No. 3 (5), pp. 18-37, available at: http://pt.journal.kh.ua/2011/3/1/113_ageyev_method.pdf (last accessed May 24, 2017).
2. Losev, Yu. I. and Rukkas, K. M. (2007), "Sravnitel'nyy analiz matematicheskogo apparata modelirovaniya telekommunikatsionnykh setey" ["Comparative analysis of mathematical apparatus of modeling of telecommunication networks"], *Systemy obrobki informatsiyi* [Information Processing Systems], No. 8 (66), pp. 55-60.
3. Gelenbe, E. and Pujolle, G. (2010), *Analysis and synthesis of computer systems* (2nd Edition), Advances in Computer Science and Engineering, 309 p.
4. RFC 1122 – Requirements for Internet Hosts - Communication Layers, available at: http://rfc2.ru/1122_rfc (last accessed May 24, 2017).
5. Marder, N.S. (2006), *Sovremennoye telekommunikatsii* [Modern telecommunications], Moscow, IRIAS, 255 p.
6. Kuchuk, G.A., Gakhov, R.P. and Pashnev, A.A. (2006), *Upravlenie resursami infokommunikatsiy* [Information and telecommunication resources management], Moscow, Fizmatlit, 220 p.
7. Pepelnjak, I. (2000), *EIGRP Network Design Solutions: The Definitive Resource for EIGRP Design, Deployment, and Operation*, CiscoPress, 384 p.
8. Paulsen, S. and Boens, J. (2012), *Summary of the Workshop on information and communication technologies supply chain risk management*, National Institute of Standards and Technology, 21 p.
9. Kuchuk, G.A. and Pashnev, A.A. (2007), "Klassifikatsiya zadach upravleniya multiservisnymi setyami raspredelennykh informatsionno-upravlyayushchikh system kriticheskogo primeneniya" ["Classification of control tasks for multi-service networks of distributed information-control systems for critical applications"], *Problemy upravlinnyay edynoyu derzhavnoy systemoyu tsivil'noho zakhystu: zb. mat. NPK*, 4.04.2007, Kharkiv, MNSU, UTsZU, pp. 104-106.
10. Oliker, V.G. and Oliker, N.A. (2012), *Komp'yuternye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly* [Computer networks. Principles, technologies, protocols], SPb. : Piter, 943 p.
11. Kosenko, V.V. and Kuchuk, N.H. (2016), "Modeluvannya tekhnichnoy i struktury informatsiyno-telekomunikatsiynoyi merezhi na osnovi konkretnoyi realizatsiyi informatsiynoyi struktury" ["Modeling the structure of technical information and telecommunications network based on the specific implementation of information structure"], *Systemy obrobki informatsiyi* [Information Processing Systems], Kharkiv, No. 9(146), pp. 167-171.
12. Kosenko, V.V. and Kuchuk, N.H. (2016), "Vzayemodiya tekhnichnykh I prohramnykh zasobiv pry upravlinni rozpodilom trafika" ["The interaction of hardware and software in the management of traffic distribution"], *Systemy ozbrojenyya I viys'kova tekhnika* ["Systems of Arms and Military Equipment"], No. 3 (47), pp. 72-75.

13. Sobol', I.M. (2006), *Vybor optimal'nykh parametrov v zadachakh so mnogimi kriteriyami* [The choice of optimal parameters in problems with many criteria], Moscow, Drofa, 175 p.
14. Ovezgel'dyev, A.O., Petrov, E.G. and Petrov, K.E. (2002), *Sintez i identifikatsiya modeley mnogofaktornogo otsenivaniya i optimizatsii* [Synthesis and identification of models of multifactorial estimation and optimization], Kyiv, Naukova dumka, 163 p.

Received (Надійшла) 30.05.2017
Accepted for publication (Прийнята до друку) 13.09.2017

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ СИСТЕМ КРИТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ПО ВУЗЛАХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

В. В. Косенко

Предметом вивчення в статті є процеси синтезу інформаційно-телекомунікаційної мережі (ІТМ) для вирішення прикладних завдань систем критичного призначення (СКН). **Метою** є розробка математичної моделі оптимального розподілу прикладних задач систем критичного призначення по вузлах ІТМ. **Завдання:** формалізувати процедуру розподілу прикладних задач і програмного забезпечення СКН по вузлах ІТМ; розробити математичну модель оптимального розподілу для мінімізації вартості мережевих ресурсів; вибрати ефективний алгоритм її вирішення. Використовуваними **методами** є: альтернативно-графовий підхід, математичні моделі оптимізації, методи розв'язання нелінійних задач цілочисельного програмування з булевими змінними. Отримані такі **результати**. Згідно альтернативно-графової моделі процесу обробки інформації сформульована задача вибору оптимальної структури ІТМ. При побудові математичної моделі крім структурних характеристик враховані вимоги до параметрів виконання прикладних завдань. При мінімізації витрат обчислювального ресурсу враховуються обмеження, пов'язані з можливостями фінансування розвитку та експлуатації мережі. Враховуються також витрати на організацію додаткових зв'язків між вузлами мережі. В результаті отримана математична модель розподілу прикладних задач СКН в середовищі ІТМ для мінімізації сумарних витрат обчислювального ресурсу, передачі даних, налаштування та обслуговування мережі. Данна модель являє собою нелінійну задачу цілочисельного програмування з булевими змінними. З урахуванням специфіки цільової функції і обмежень моделі з використанням псевдобулевих функцій вихідна задача приводиться до лінійної формі. Отримана модель являє канонічний вид лінійної оптимізаційної задачі булевого програмування великої розмірності, для вирішення якої ефективним є метод вектора спаду. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: ми вдосконалили оптимізаційну модель розподілу прикладних задач по вузлах обчислювальної мережі шляхом визначення цільової функції для мінімізації витрат як обчислювальних, так і передачі даних, і обмежень, зумовлених вимогами до технічної та інформаційної структури мережі; отримали подальший розвиток методи розв'язання задач оптимізації структури ІТМ на основі моделей нелінійного булева програмування шляхом перетворення вихідної задачі в лінійний вид і застосування методу вектора спаду, що дозволяє отримати квазіоптимальні рішення задачі в умовах великої розмірності.

Ключові слова: інформаційні та телекомунікаційні мережі; прикладні завдання; оптимальний розподіл; мінімізація витрат; нелінійна модель; булеви змінні.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ СИСТЕМ КРИТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПО УЗЛАМ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

В. В. Косенко

Предметом изучения в статье являются процессы синтеза информационно-телекоммуникационной сети (ИТС) для решения прикладных задач систем критического назначения (СКН). **Целью** является разработка математической модели оптимального распределения прикладных задач систем критического назначения по узлам ИТС. **Задачи:** формализовать процедуру распределения прикладных задач и программного обеспечения СКН по узлам ИТС; разработать математическую модель оптимального распределения для минимизации стоимости сетевых ресурсов; выбрать эффективный алгоритм ее решения. Используемыми **методами** являются: альтернативно-графовый подход, математические модели оптимизации, методы решения нелинейных задач целочисленного программирования с булевыми переменными. Получены следующие **результаты**. Согласно альтернативно-графовой модели процесса обработки информации сформулирована задача выбора оптимальной структуры ИТС. При построении математической модели кроме структурных характеристик учтены требования к параметрам выполнения прикладных задач. При минимизации затрат вычислительного ресурса учитываются ограничения, связанные с возможностями финансирования развития и эксплуатации сети. Учитываются также расходы на организацию дополнительных связей между узлами сети. В результате получена математическая модель распределения прикладных задач СКН в среде ИТС для минимизации суммарных затрат вычислительного ресурса, передачи данных, настройки и обслуживания сети. Данная модель представляет собой нелинейную задачу целочисленного программирования с булевыми переменными. С учетом специфики целевой функции и ограничений модели с использованием псевдобулевых функций исходная задача приводится к линейной форме. Полученная модель представляет канонический вид линейной оптимизационной задачи булевого программирования большой размерности, для решения которой эффективным является метод вектора спада. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов состоит в следующем: усовершенствована оптимизационная модель распределения прикладных задач по узлам вычислительной сети путем определения целевой функции для минимизации затрат как вычислительных, так и передачи данных, и ограничений, обусловленных требованиями к технической и информационной структуре сети; получили дальнейшее развитие методы решения задач оптимизации структуры ИТС на основе моделей нелинейного булева программирования путем преобразования исходной задачи в линейный вид и применения метода вектора спада, что позволяет получить квазиоптимальное решение задачи в условиях большой размерности.

Ключевые слова: информационные и телекоммуникационные сети; прикладные задачи; оптимальное распределение; минимизация затрат; нелинейная модель; булевы переменные.

I. Romanenko, A. Shyshatskyi

Central Research Institute of weapons and military equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

MODEL OF IMPACT INTERFERENCES ON RADIOPHYSICAL SYSTEMS FOR SPECIAL COMMUNICATIONS

As the analysis of recent events in the East of Ukraine shows, radio communication is the transport basis for the construction of telecommunication networks of special purpose. In view of the above, the subject of study in the article are the special radio communication systems, operating in a complex electronic environment. **The purpose of this article** is to develop a mathematical model for the effects of interference on systems of special radio communication. **The tasks** solved in the course of the study: a formal description of various types of noise that is used to suppress the systems of special radio communication; analytical representation of the probability of a bit error for signals with different types of modulation under the influence of the main types of deliberate disturbances; development of recommendations for increasing the noise immunity of special radio communication systems with different types of signal modulation under the influence of deliberate interference. In the course of the study, the following **methods** were used: signal theory, radiocommunication theory and the theory of potential impedance protection. In the course of the study, analytical dependencies were obtained that allow us to calculate the probability of a bit error in the effect of intentional interruptions for different types of signal modulation. **Conclusions:** the proposed mathematical model should be used in the analytical modeling and evaluation of the performance of broadband radio networks of a special purpose taking into account the combined action of the additive white Gaussian noise and structural impediment, algorithms for the formation and processing of signals at the physical level, as well as the properties of the radio channel.

Keywords: radiocommunication system; radiocommunication; radio-electronic suppression; intentional interference.

Introduction

Radiocommunication is an essential element of management in military systems for various applications, which ensures the continuity of command and control in the most difficult and unpredictable situations. Due to the nature of radio channel, which is channel with free access, the receptor exposed to accidental and intentional interference, which determines the communication quality, which characterized by reliability accepted information. Focus promising means of radio communication in modern multi-service applications and provide customers with a wide range of services with a specified quality determines need to use digital radio communication with digital signals, including on the basis of modern technologies of broadband wireless networks.

Against the background of current events in Ukraine and active military-technical cooperation with NATO information and telecommunications system of the Armed Forces of Ukraine will undergo significant changes. In the armed forces of NATO countries are actively using commercial wireless networking standards as a basis for constructing their own information-telecommunication networks of special purpose. System tactical communication is evolving towards the use of open architecture, introduction of new telecommunication technologies that used in commercial communication systems [1].

Quality radio with digital signals in conditions of interference quantitatively estimates the probability of erroneous reception of symbol (probability of bit error BER). Existing models allow analytical methods to assess the impact of the probability of bit error for a probabilistic-time characteristics of the networks, suggesting that distortions are introduced by the effect of additive white gaussian noise (AWGN). However,

the dependence of network characteristics on the ratio of signal and interference at the receiver input for different ways of generating and processing signals as well as statistical properties of the channel remain unexplored. In today's time the influence of bit errors on the performance of broadband communication systems was studied in several papers [2-6], however in these works the dependence of network characteristics on the attitude signal level and interference at the receiver input for different ways of formation and signal processing.

Because of this, there is an actual **scientific task** of developing mathematical model to assess the impact of interference on the broadband radio network for special communications to further control mechanisms of interference protection.

Purpose of article is to study the impact of signal levels and noise on the input of the receiver the probability of bit error in a broadband radio networks for special purposes.

Presentation of the main material

Interference background, creation of which involved natural and artificial sources, and the impact thereof on the communication network is difficult to quantify. Interference different species different impact on radio-electronic means for specific purpose with specific types of signals and ways of their processing.

General classification of noise showed on fig. 1. Interference can be AWGN, deliberate and between stations interference, they can be similar to signal and sever us. Between stations interference, as a rule, belong to the class of structural interference, i.e. interference, such as the shape of the useful signal. Between stations interference arise primarily when the violation of the norms of frequency-territorial planning, or in his absence [7]. Despite the diversity of types and

parameters of interference in solving scientific and practical problems of functioning of communication networks in accordance with their purpose under certain conditions, the class of the data interference, as a rule, is narrowed depending on the model the actions of the enemy. Given the potential scope, distance, operating frequency, data network will focus on noise (Gaussian) and structural sighting deliberate interference with limited average power, which under optimal duty cycle and radiation are the worst (they must be similar to signal) [8-10].

When exposed to impulse noise with reduced average power and AWGN the probability of error is calculated as follows [8, 9, 11]:

$$BER = p_B \cdot BER_3 \left(\frac{h_c^2, h_3^2}{p_B} \right) + (1 - p_B) \cdot BER \left(h_c^2, h_3^2 = 0 \right), \quad (1)$$

where p_B – bit error probability in period of radiation, h_c^2 – attitude of energies signal/noise, h_3^2 – attitude interference/noise.

First piece on the right side of expression (1) represents the probability of error when exposed to interference during the periods of emission (with probability p_B that depends on the duty cycle) and the second is the probability of error from the conditions of action only AWGN during periods of absence of interference.

You can consider on several options of interaction between signal and interference (intentional or mischance) in terms AWGN, namely: nonfading signal nonfading interference, nonfading signal a dying of a hindrance severally signal nonfading interference, fading signal – a dying noise. The laws of signal fading and interference can be the same or different. Case nonfading signal and interference correspond to the channel with constant parameters and AWGN that takes place in direct line of sight communication between a fixed location objects. In the presence of signal fading (interference) analytical ratios for the probability of error on a bit perhaps by averaging the error probability in the channel with constant parameters with known probability density values of the coefficient of transmission of the channel $\omega(\mu)$ μ will be of the form [12-15]:

$$BER = \int_0^\infty P_{\text{error}} \left(h_\mu^2 = \frac{\mu^2 \overline{h^2}}{\mu^2}, h_3^2 = \text{const} \right) \cdot \omega(\mu) d\mu, \quad (2)$$

where h_μ^2 – ratio of signal energy to length of the symbol to one-sided power spectral density AWGN (N_o) at particular value of the transmission coefficient

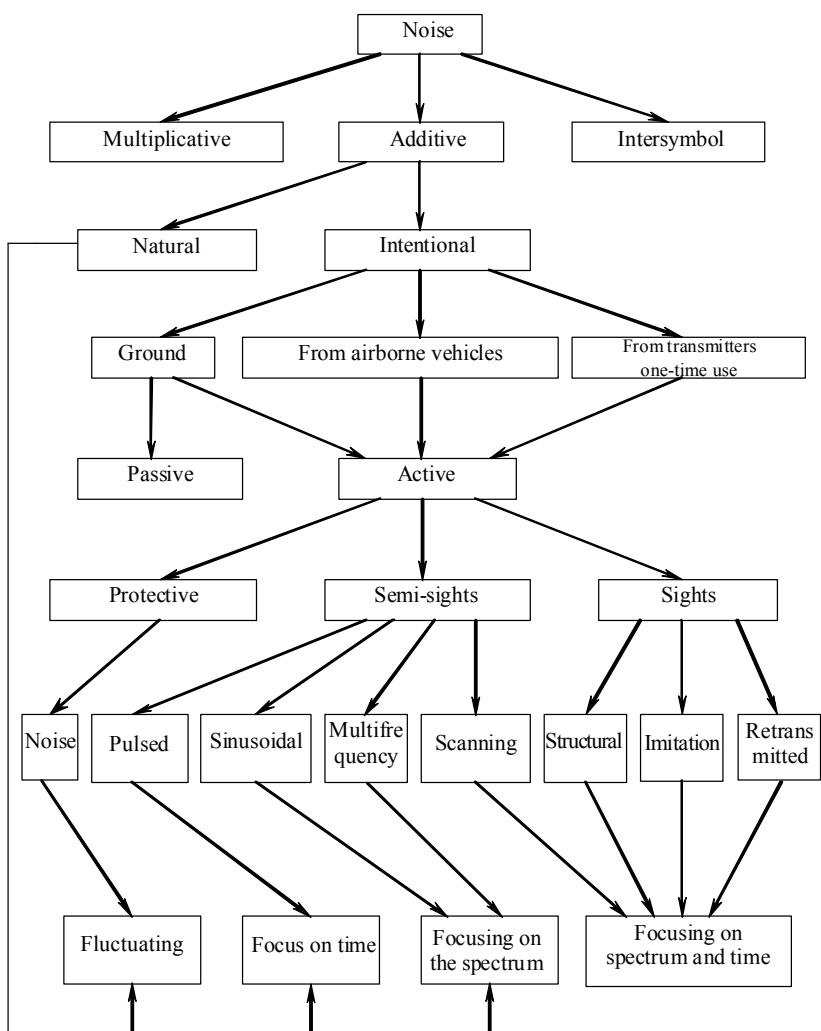


Fig. 1. General classification of noise

of the channel μ ; $\overline{h^2}$ – average value of the ratio of signal energy to length of the symbol to one-sided power spectral density AWGN; $\overline{\mu^2}$ – initial moment of the second order random transfer coefficient μ ; P_{error} – average value of the probability of occurrence of the error.

For above variants of interaction of the signal and noise expression (2) probability of bit error BER under the impact of intentional or between stations interference and AWGN depending on type of signal and noise is as follows [1]:

a) for fading signals and nonfading interference

$$BER = \int_0^\infty P_{\text{error}} \left(h_\mu^2 = \frac{\mu_c^2 \overline{h^2}}{\mu_c^2}, h_3^2 = \text{const} \right) \cdot \omega(\mu) d\mu, \quad (3)$$

b) for nonfading signal and fading interference

$$BER = \int_0^\infty P_{\text{error}} \left(h_n^2 = \frac{\mu_n^2 \overline{h^2}}{\mu_n^2}, h_3^2 = \text{const} \right) \cdot \omega(\mu_n) d\mu_n, \quad (4)$$

c) for independent fading signal and interference

$$BER = \int_0^\infty \int_0^\infty P_{\text{error}} \begin{cases} h_c^2 = \frac{\mu_c^2}{\mu_c^2 + \bar{h}_c^2}, \\ h_3^2 = \frac{\mu_n^2}{\mu_n^2 + \bar{h}_3^2} \end{cases} \omega(\mu_c) \omega(\mu_n) d\mu_c d\mu_n, \quad (5)$$

where $P_{\text{error}}(h_c^2, h_3^2)$ determined by the known relationships for channel with constant parameters, h_3^2 – ratio of energy interference on the length of the symbol to the power spectral density N_0 .

Using general expressions (3) to (5) we can obtain the ratio to calculate the error probability at bit to specific methods of formation and processing of signals, types of interferences and of signal fading or interference.

Let is coherent correlation signal reception binary phase shift keying (BPSK - eng. BPSK — binary phase-shift keying) with a total television fading in action nonfading BPSK structural interference that is synchronous in moments of change cycles with the signal and having in General case the pulsed nature of the radiation. Signal selection BPSK in this example substantiates the fact that in a number of IEEE standards 802.11 a, b, g, n uses a Bank of modulation schemes coding, which depending on the state of the channel in the process of communication selected and the adaptive modulation scheme coding, which ensures the required quality of communication. In "bad" channels as times and applies the most interference-free mode – BPSK. The probability density of the transmission coefficient at television law of fading look like [6]:

$$\omega(\mu) = \frac{\mu}{\sigma^2} \cdot \exp\left(-\frac{\mu^2}{2\sigma^2}\right), \mu > 0, \overline{\mu^2} = 2\sigma^2, \quad (6)$$

where σ^2 – dispersion of fading.

We can see that when releasing fading signal and synchronous actions nonfading interference (BPSK-type) with limited average power at arbitrary time interval, average probability of bit error for systems with one carrier is determined by the expression

$$BER = \frac{p_u}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{\bar{h}_c^2}{1 + \bar{h}_c^2}} \cdot \exp\left(-\frac{p_u}{1 + \bar{h}_c^2}\right) \right] + \frac{1 - p_u}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{h}_c^2}{1 + \bar{h}_c^2}} \right). \quad (7)$$

For systems with many carrier (in particular, systems and signals, orthogonal frequency multiplexing) formula (7) will have the following form:

$$BER = p_u \cdot (N_3 / N_{FFT}) \cdot BER_3(h_c^2, h_3^2 / p_u) + (8) + (1 - p_u)(1 - N_3 / N_{FFT}) \cdot BER(h_c^2, h_3^2 = 0),$$

$$BER_3(h_c^2, h_3^2 / p_u) = \text{where } = \frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{\bar{h}_c^2}{1 + \bar{h}_c^2}} \cdot \exp\left(-\frac{h_3^2 / p_u}{1 + \bar{h}_c^2}\right) \right], \quad (9)$$

$$BER(h_c^2, h_3^2 = 0) = \frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{\bar{h}_c^2}{1 + \bar{h}_c^2}} \right], \quad (10)$$

N_{FFT} – number of carrier OFDM-signal; N_3 – number of carrier interference.

In expressions (8)–(10) it should be borne in mind, that h_c^2 and h_3^2 is the ratio signal/noise and disturbance-to-noise ratio on each subcarrier of the signal (interference).

Interference coincides with the signal values of the carrier frequency and synchronized with him on the moment of changing the bars.

In the case of general independent releasing fading BPSK signal and synchronous BPSK-interference with reduced average power expression for the error probability in the system with single-carrier turns into this:

$$BER = \frac{p_u}{2} \left[1 - \frac{\sqrt{\bar{h}_c^2 \cdot (1 + \bar{h}_c^2)}}{1 + \bar{h}_c^2 + \bar{h}_3^2 / p_u} \right] + (1 - p_u) \left[1 - \sqrt{\frac{\bar{h}_c^2}{1 + \bar{h}_c^2}} \right]. \quad (11)$$

In case of systems with many carrier we have:

$$BER = \frac{p_u}{2} \cdot \frac{N_3}{N_{FFT}} \left[1 - \frac{\sqrt{\bar{h}_c^2 \cdot (1 + \bar{h}_c^2)}}{1 + \bar{h}_c^2 + \bar{h}_3^2 / p_u} \right] + \frac{(1 - p_u)}{2} \left(1 - \frac{N_3}{N_{FFT}} \right) \left[1 - \sqrt{\frac{\bar{h}_c^2}{1 + \bar{h}_c^2}} \right]. \quad (12)$$

In the case of reception nonfading signal and synchronous pulse interference with television fading it can be shown that the error probability in systems with one carrier is determined by the general expression (8), in which

$$BER_3(h_c^2, h_3^2 / p_u) = \bar{F}\left(\sqrt{2\bar{h}_c^2}\right) + 0,5 \times \times \left\{ \sqrt{\frac{\bar{h}_3^2}{\bar{h}_3^2 + p_u}} \cdot \exp\left(-\frac{\bar{h}_c^2 + p_u}{\bar{h}_3^2 + p_u}\right) \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{\bar{h}_c^2 \cdot \bar{h}_3^2}{\bar{h}_3^2 + p_u}\right) \right\}, \quad (13)$$

$$BER(h_c^2, h_3^2 = 0) = \bar{F}\left(\sqrt{2\bar{h}_c^2}\right);$$

$$\bar{F}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt. \quad (14)$$

Consider case when signal and noise do not stand still, that is channel with constant parameters. Average probability of error for coherent correlating reception BPSK in terms of structural disturbances (with BPSK) with continuous radiation in channel with AWGN determined by the ratio [15]

$$P_{\text{error}}(h_c^2, h_3^2) = \frac{1}{2} \cdot \left[\bar{F}\left(\sqrt{2h_c^2} + \sqrt{2h_3^2}\right) + \bar{F}\left(\sqrt{2h_c^2} - \sqrt{2h_3^2}\right) \right]. \quad (15)$$

Here, as before, implies that a disturbance synchronous with the signal on when changing cycles and coincides with a signal for high frequency filling.

It is calculated according to formula (15), the value $P_{\text{error}}(h_c^2, h_3^2)$ used above for substitution in expression (3) to (5) upon receipt of the ratios to determine the probability of error in different options of signal fading and interference.

In case of intermittent interference, the limited average power of the error probability in systems with one carrier with the above terms and conditions determined by the formula (8), in which

$$BER_3(h_c^2, h_3^2 / p_u) = \frac{1}{2} \cdot \left[\bar{F}\left(\sqrt{2h_c^2} + 2\sqrt{h_3^2 / p_u}\right) + \bar{F}\left(\sqrt{2h_c^2} - 2\sqrt{h_3^2 / p_u}\right) \right] \quad (16)$$

$$BER\left(h_c^2, h_3^2 = 0\right) = \bar{F}\left(\sqrt{2h_c^2}\right). \quad (17)$$

As mentioned above, depending on the state of the channel in the IEEE 802.11 x provides an adaptive switching of the modulation schemes and coding. In particular, channels with a low signal/noise interference to improve interference protection used convolution coding with relative code rate $R = 1/2$ together with the signals BPSK. The probability of error on bit in the channel AWGN under the action of pulsed BPSK-interference with reduced average power for coherent

reception BPSK signals with convolution will be encoded with pseudo-random interleaving of the symbols and the use of Viterbi decoder with soft decisions can be calculated using the following additive border-top:

$$BER = \frac{1}{m} \cdot \sum_{k=d}^{\infty} \omega_k(v) \times \\ \times \left[p_u^k \cdot \bar{F}\left(\sqrt{2 \cdot R \cdot k \cdot h_c^2 \frac{N \cdot p_u}{h_3^2 + N \cdot p_u}}\right) \right] + \\ + \left(1 - p_u^k\right) \cdot \bar{F}\left(\sqrt{2 \cdot R \cdot k \cdot h_c^2}\right), \quad (18)$$

where v – length of the code limitations;

d – free length of code;

$R = m/n$ – relative speed of code;

$\{\omega_k(v)\}$ – range of code;

N – base of phase-manipulated broadband signals.

It should be noted that expression (18) is valid under the condition of justice Gaussian approximation of the interference, i.e. when the disturbance Gaussian type, or when the signal is more than 20 in the case of structural disturbance.

In particular, when fading and nonfading hinder the probability of bit error in any relationship, P_c/P_n above 10^{-2} . Application shortage coding significantly reduces the probability of bit error, as shown in the example of a channel with constant parameters when using the soft Viterbi decoder.

Above ratios are true for the general of signal fading and interference. Recognition of the fine multipath structure and statistical properties of the signal (interference) usually carried out using simulation [16-18].

Conclusion from this explosion

Presented in article the model will be used in analytical modeling and performance evaluation of broadband radio networks for special purpose with the joint action AWGN and structural interference, the algorithms of formation and handling signals in the physical layer and the radio channel.

Further research will focus on design methods of control parameters of radio networks for military purposes to enhance the immunity of their functioning in conditions of interference.

REFERENCES

1. Minochkin, A.I. and Romanuk V.A. (2006), "Prospects for tactical communication systems", *III Scientific-technical conference MITI*, MITI NTUU "KPI". Kyiv, pp. 5-15.
2. Baranov, A.V. (2005), *Development of analytical methods for performance evaluation of wireless local area networks based on protocol IEEE 802.11*: diss. cand. technical sciences, IPPI RAS, Moscow, 101 p.
3. Vishnevskiy, V.M. (2005), *Broadband wireless networks of information transfer*, Technosphere, Moscow, 592 p.
4. Vishnevskiy, V.M. and Lyhov, A.I. (2000), "Assessment of wireless network performance under interference conditions", *Automation and remote control*, No. 12, pp. 87-103.
5. Vishnevskiy, V.M. and Lyhov, A.I. (2001), "Assessment of wireless network performance under interference conditions", *Automation and remote control*, No. 8, pp. 81-96.

6. Baydakov, M.N. (2013), "Analytical model of the wireless local communication network with distributed control", *Science and military security*, No. 2, pp. 34-39.
7. Paliy, A.I. (1989), *Electronic warfare*, Military edition, 1989, 350 p.
8. Zhodzishskiy, U.I. (1989), "Comparison of radio links with broadband signals at the maximum guaranteed noise immunity", *Radiotronics*, No. 1. pp. 3-5.
9. Chudnov, A.M. (1989), *Noise immunity of lines and communication networks in terms of optimized noise*, under ed. A.P. Rodimova, VAC, Leningrad, 84 p.
10. Putilin, A.N. (1998), *Radio systems with multiple accesses*, under ed. A. M. Chudnova, VAC, St. Petersburg, 148 p.
11. Clark, George and Keyn, George (1987), *Encoding with error correction in digital communication systems*, Radio and communication, Moscow, 392 p.
12. Fink, L.M. (1970), *Theory of transmission of discrete messages*, Soviet radio, Moscow, 762 p.
13. Viterbi, A.D. and Omura, George K. (1982), "Principles of digital communication and coding", under ed. K. Sh. Zigangirova, *Radio and communication*, Moscow, 536 p.
14. Frenke, L. (1974), *Theory of signals*, Soviet radio, Moscow, 344 p.
15. Burachenko, D.L. (1974), *Noise immunity radio system with phase modulation*, VAC, Leningrad, 146 p.
16. Jeruchim, M.C., Balaban, P. and Shanmugan, K.S. (2002), *Simulation of communication system*, Kluwer Academic Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, 907 p.
17. Babkov, V.U. and Tsikin, I.A. (2011), *Cellular mobile radio system : tutorial*, Publishing house Polytechnic university, St. Petersburg, 426 p.
18. *Channel Models for Fixed Wireless Applications*,(2003), IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, IEEE 802.16a – 03/01.

Надійшла (received) 23.04.2017
Прийнята до друку (accepted for publication) 10.10.2017

Модель впливу завад на системи спеціального радіозв'язку

І.О. Романенко, А.В. Шишацький

Як свідчить аналіз останніх подій на Сході України, радіозв'язок є транспортною основою для побудови телекомуникаційних мереж спеціального призначення. Зважаючи на сказане, предметом вивчення в статті є системи спеціального радіозв'язку, що функціонують в складній радіоелектронній обстановці. **Метою зазначененої статті** є розробка математичної моделі впливу завад на системи спеціального радіозв'язку. **Завданнями**, що вирішувалися в ході проведеного дослідження були: формалізований опис різних видів завад, що використовуються для подавлення систем спеціального радіозв'язку; аналітичне представлення ймовірності бітової помилки для сигналів з різними видами модуляції при впливі основних видів навмисних завад; розробка рекомендацій щодо підвищення завадозахищенності систем спеціального радіозв'язку з різними видами модуляцій сигналу при впливі навмисних завад. В ході проведеного дослідження використовувалися наступні **методи**: теорія сигналів, теорія радіозв'язку та теорія потенційної завадозахищеності. В ході проведеного дослідження отримані аналітичні залежності, що дозволяють розрахувати ймовірність бітової помилки при впливі навмисних завад для різних видів модуляцій сигналу. **Висновки:** запропоновану математичну модель доцільно використовувати при аналітичному моделюванні і оцінці продуктивності широкосмугових радіомереж спеціального призначення з урахуванням спільнотої дії адитивного білого гаусівського шуму і структурної завади, алгоритмів формування і обробки сигналів на фізичному рівні, а також властивостей радіоканалу.

Ключові слова: система радіозв'язку; радіозв'язок; радіоелектронне подавлення; навмисні завади.

Модель впливания помех на системы специальной радиосвязи

И.О. Романенко, А.В. Шишацкий

Как показывает анализ последних событий на Востоке Украины, радиосвязь является транспортной основой для построения телекоммуникационных сетей специального назначения. Учитывая сказанное, предметом изучения в статье являются системы специальной радиосвязи, которые функционируют в сложной радиоэлектронной обстановке. **Целью данной статьи** является разработка математической модели влияния помех на системы специального радиосвязи. **Задачами**, которые решались в ходе проведенного исследования были: формализованное описание различных видов помех, используемые для подавления систем специального радиосвязи; аналитическое представление вероятности битовой ошибки для сигналов с различными видами модуляции при воздействии основных видов преднамеренных помех; разработка рекомендаций по повышению помехозащищенности систем специальной радиосвязи с различными видами модуляций сигнала при воздействии преднамеренных помех. В ходе проведенного исследования использовались следующие **методы**: теория сигналов, теория радиосвязи и теория потенциальной помехозащищенности. В ходе проведенного исследования получены аналитические зависимости, позволяющие рассчитать вероятность битовой ошибки при воздействии преднамеренных помех для различных видов модуляций сигнала. **Выводы:** предложенную математическую модель целесообразно использовать при аналитическом моделировании и оценке производительности широкополосных радиосетей специального назначения с учетом совместного действия аддитивного белого гауссовского шума и структурной помехи, алгоритмов формирования и обработки сигналов на физическом уровне, а также свойств радиоканала.

Ключевые слова: система радиосвязи; радиосвязь; радиоэлектронное подавление; преднамеренные помехи.

Methods of information systems synthesis

UDC 004.9 : 550.34

doi: 10.20998/2522-9052.2017.2.03

V. Bezkorovayny¹, O. Solonets², K. Kulagin², T. Koshel³, S. Petrov⁴, A. Koshel⁵¹ Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine² Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine³ Vasyl Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine⁴ Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkiv, Ukraine⁵ State Space Agency Center of Special Control, Ukraine

METHOD OF SYSTEM DESIGN OF THE NETWORK OF MEANS OF SPECIAL CONTROL

The **subject matter** of the article is the processes of system design of the network of special control means (NSCM). The **aim** is to develop an iterative scheme for the logical design of a network of special controls that will be based on the ideas of the aggregative-decomposition approach, system analysis and system design of complex systems. The **objectives** are: analysis of the features of the network of special control means as an object of design or reengineering; decomposition of the problem of optimization of NSCM to a multitude of tasks related to different hierarchical levels of decomposition, with their interrelationships on the initial data and the results of the solution; formulation of the requirements that the methods and procedures for solving the problems of optimization of the NSCM should satisfy; the development of an iterative logic scheme and the system design method for the NSCM. The **methods** used are: system analysis of design processes, cause-effect analysis, method of system design of complex systems. The following **results** are obtained. The analysis of the peculiarities of the network of special control means as an object of design or reengineering is carried out. Taking into account the characteristics of NSCM, decomposition of the problem of its optimization into a set of interrelated tasks related to different hierarchical levels of decomposition is performed. The scheme of the interrelationships of the selected tasks with the input data and the results of their solution is established. The requirements that must be met by methods and procedures for solving the problems of optimization of NSCM are defined. This allowed the development of an iterative logic scheme and on its basis the method of system design of NSCM. **Conclusions.** On the basis of the analysis of the interrelationships between the optimization problems of NSCM on the input data and the results of their solution, an iterative logic scheme and an interactive method of its system design are developed. It is expedient to use the obtained results for complex determination of the structure, topology, parameters and technology of functioning of NSCM. This will reduce the time to solve problems of designing, planning the development or reengineering of networks of funds, reduce the cost of their creation and operation, through joint solutions to improve the quality of solutions and, on this basis, improve their functional characteristics.

Keywords: large-scale object; special control system; structure, topology; design: optimization; logical scheme of system design.

Introduction

Checking large-scale objects that are designed, created and exploited in our time, characterized by growing complication systems. The increase of scales of the controlled territory or space increases requirements to the operation ability, exactness reliability and vitality of the checking systems, results in the increase of amount and complication of their elements, complication of technologies of their functioning [1-3].

Among the tasks of reengineering planning or planning of development of the checking systems the special place is occupied by the tasks of optimization of their structures. The characteristic feature of the checking of large-scale object systems is that an optimal structure, parameters of their elements, communication means between them and technology of functioning in a great deal are determined by the territorial placing of objects and controls [4-7].

The typical example of the similar systems that is intend for monitoring objects that are disperse on considerable territory is a network of facilities of the Main center of the special control of Ukraine. The basic tasks of this Center are: observance of requirements of international agreements in relations to limitation and

prohibition of nuclear tests; the seismic state geophysical phenomena; the radiation state in the points of the distribution of subdivisions of the Center.

Structurally the network of facilities of Center of the special control consists of great number of multilevel centers of control (main center, regional centers, autonomous and movable points), that is disperse on considerable territory. Expansion of great number of control objects, change of requirements of its quality, the improvement of facilities of collection, transmission and treatment of information results in the necessity of optimization of existent network.

Formulation and analysis of the modern state of the problem

To optimize the network of special control tools (NSCT), as in the design or reengineering of other geographically distributed systems (GDS), it is necessary to solve a plurality of combinatorial tasks of structural, topological, parametric and technological optimization. Taking into account that the power of the sets of admissible functioning technologies, the parameters of the elements and connections of such systems is insignificant, the main difficulties are the tasks of optimizing their topological structures [8].

For their solution, exact (combinatorial) and close (heuristic) methods are used. The exact methods allow to find optimum solutions, but, given the NP-complexity of the problem, such methods can be applied only to optimize the simplest systems with a small number of elements that are part of their composition.

In this case, the tasks of placing nodes or elements of the control system are solved according to different criteria, using various target functions, in conditions of different dimensions and degree of certainty of input data, time and resource constraints. This requires the development of a set of problem-solving methods that differ in accuracy and complexity, will have less temporal complexity than combinatorial methods and greater accuracy than existing approximate methods [9]. Modern technologies for designing geographically distributed objects, including NSCT, are based on the ideas of aggregation-decomposition approach, system analysis and system design of complex systems. When implementing a system approach in the design tasks of such GDS one of the main problems is the formal presentation of the process of solving the set of interrelated design problems. Such formalization is presented in more convenient way as a logical scheme for constructing a global design solution [10].

Under this approach, construction of such formalization must precede the correct decomposition of the problem [11]. In the initial stages of the design, the problem is presented as a meta-task MetaTask, consisting of a set of tasks relating to different hierarchical levels of decomposition, with their interconnections by the initial data and the results of the solution [12]:

$$\begin{aligned} \text{MetaTask} &= \left\{ \text{Task}^\ell \right\}, \\ \text{Task}^\ell &= \left\{ \text{Task}_i^\ell \right\}, i = \overline{1, i_\ell}, \ell = \overline{1, n_\ell}, \end{aligned} \quad (1)$$

where Task^ℓ – the set of tasks of synthesis, that belong to the level of ℓ ;

n_ℓ – amount of levels of description of the system;

i – number of task;

i_ℓ – amount of tasks that should be solved at level ℓ .

Thus each of tasks is given as some transformer of data:

$$\text{Task}_i^\ell := \text{In}_i^\ell \rightarrow \text{Out}_i^\ell, i = \overline{1, i_\ell}, \ell = \overline{1, n_\ell}, \quad (2)$$

where In_i^ℓ , Out_i^ℓ – entrance data of i -task and initial data of ℓ -level.

Each of the distinguished tasks of top levels

$$\text{Task}_i^\ell, i = \overline{1, i_\ell}, \ell = \overline{1, n_\ell},$$

can be presented as a set of interconnected subtasks

$$\text{Task}_i^\ell = \left\{ \text{Task}_{ij}^\ell \right\}, j = \overline{1, j_i},$$

where j_i – amount of subtasks of a task Task_i^ℓ .

The systematic analysis of the problem of the synthesis of GDS and an overview of its current state

allows us to conclude that it is expedient to use the three levels of detailed description at the meta-, macro- and micro-levels in the design and technical and economic aspects [12].

MetaTask is considered on a meta-level problem in general. Most macro level tasks are essentially the tasks of system design and differ in the constraints that reflect the specifics of the main stages of the life cycle of the GDS:

$$\text{Task}^1 = \left\{ \text{Task}_i^1 \right\}, i = \overline{1, 5}, \quad (3)$$

where Task_1^1 – the formation of requirements for geographically distributed systems and the development of a technical design task;

Task_2^1 – system design;

Task_3^1 – development planning;

Task_4^1 – adaptation of GDS;

Task_5^1 – reengineering of GDS.

The complex of objectives of the meta-level (3) covers the whole range of issues of structural synthesis of geographically distributed systems that arise at the stages of pre-design studies, design, creation and operation, which are solved in their design and management systems.

The main tasks of the micro level are related to the solution of the issues of system design of the geographically distributed systems [12]

$$\text{Task}^2 = \left\{ \text{Task}_i^2 \right\}, i = \overline{1, 6}, \quad (4)$$

where Task_1^2 – choice of principles of geographically distributed systems construction ;

Task_2^2 – choice of system structure;

Task_3^2 – definition of the topology of elements and connections;

Task_4^2 – choice of operation technology;

Task_5^2 – determination of parameters of elements and connections;

Task_6^2 – evaluation of the effectiveness of options and choice of solutions.

For the practical implementation of the system design of the network of special control tools, other geographically distributed systems, it is necessary to develop appropriate mathematical support that takes into account the specifics of the object and the corresponding design technology.

The purpose of the article is to develop an iterative scheme for the logical design of a network of special control tools, based on the ideas of the aggregation-decomposition approach, system analysis and system design of complex systems.

Main results

In the process of developing a decision-making method for the basic task of system designing the GDS,

it is necessary to analyze its solvability at three levels: inputs, resources and process [10]. From solving the problem at each level will follow its solvability as a whole.

It should take into account the specific features of the task of system design of geographically distributed systems [7]:

the close relationship of problems structural, topological, parametric, technological synthesis, which requires their joint solution;

the combinatorial nature of most of the tasks (subtasks) that are part of it;

the need for solving problems of great dimension;

the presence in the formulation of problems the factors that are difficult for formalization;

high dynamism or uncertainty of the input data; a wide range of conditions for solving problems.

Analysis of the above features of the tasks of system designing TRS allows us to formulate the requirements that must satisfy the effective methods and procedures for solving design (optimization) of the NSCT [13].

1. Close relationship of tasks and incomplete information certainty of tasks of choosing the principles of network construction, structural, topological, parametric and technological synthesis, as well as analysis and selection of design solutions $Task_i^2$ by input sets $InDat_i^2$ and restrictions Res_i^2 , $i = \overline{1, 6}$, causes the iterative nature of the methods and procedures for their solution.

This way, it is possible to solve $Task_i^2$, $i = \overline{1, 6}$ tasks at the input.

2. High complexity of solution methods $MetDec_i^2$, due to the combinatorial character of most tasks $Task_i^2$, and a wide range of conditions for their solution is required when they solve the use of a plurality of methods $MetDec_{ik}^2$, $i = \overline{1, 6}$, which have different complexity and accuracy.

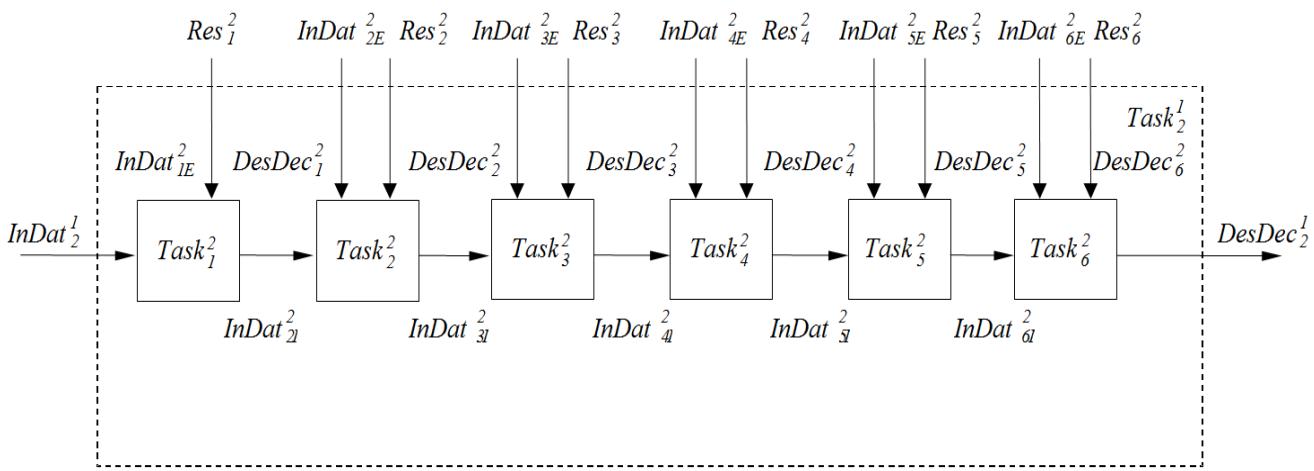
This will enable the solution of the tasks of system design by resources.

3. To make full use of the experience of designers and to take into account factors that are difficult to formalize, it is advisable to build the solution process based on interactive (human-machine) procedures. The process of finding a design solution will consist of complementary procedures for automatic and intelligent synthesis with the participation of the operator.

4. At all stages of designing it is advisable to use techniques that reduce the complexity of solving system design problems $Task_i^2$, $i = \overline{1, 6}$.

For this purpose, heuristics that take into account the specifics of tasks, solutions obtained through "fast" procedures, formal or expert assessments can be used.

Taking into account the mentioned features of the tasks of designing (optimization) of the NSCT and the listed requirements for the procedures for their solution, the determined sequence of problem solving of the design of complex geographically distributed systems (fig. 1), as well as the axiom of system design, the method of forming solutions to problems of system design based on the basis of the iterative logic scheme [8] is proposed.



$Task_1^2$ – the task of choosing the principles of building a GDS

$Task_2^2$ – the task of selecting a structure

$Task_3^2$ – the task of determining the topology of elements and relationships

$Task_4^2$ – the task of selecting a functioning; technology

$Task_5^2$ – the task of determining the parameters of elements and connections

$Task_6^2$ – the task of assessing the effectiveness of options and choice of solutions

Fig. 1. The sequence of tasks in the linear scheme of system design of the GDS

Due to the fact that data is not solvable in a linear sequence $Task_i^2$, $i = \overline{2, 5}$, the formation of input data $InDat_i^2$ and restrictions Res_i^2 for them in the initial iteration will be carried out on the basis of predictive (in particular, expert) data.

On other iterations as input $InDat_i^2$ and restrictions Res_i^2 the results of solving the following tasks $DesDec_j^2$, $j > i$, $i = \overline{1, 5}$ of the sequential scheme will be used.

The essence of the proposed method for systematic design (optimization) of network of special control tools on the basis of an iterative-sequential logic design scheme may be presented in the following form [13].

1. Beginning of the decision: entering input data $InDat_2^1$ and restrictions Res_2^1 of the task $Task_2^1$.
2. Formation of a solution search strategy.
3. Select a variant of the network structure ($Task_2^2$).
4. Determining the topology of elements and relationships ($Task_3^2$).
5. Choice of operation technology ($Task_4^2$).
6. Determining the parameters of elements and connections ($Task_5^2$).
7. Checking the limitations of the task $Task_2^1$. If the evaluation of the characteristics of the current variant of the construction of the network $K(s)$ does not satisfy the restriction Res_2^1 of the task, go to step 3.
8. Evaluating the effectiveness and choosing the best of the existing variants.
9. If the search solution strategy is not exhausted, go to step 3.
10. Formation of decisions by the operator, estimation of their efficiency and choice of the best variant.
11. The end of the decision: the best variant for the network construction s^o as well as its evaluation $K(s^o)$ by a set of partial criteria K are determined.

Initial data $InDat_2^1$ and restriction Res_2^1 of the task:

$ObjS$ – a set of characteristics of objects subject to control;

K – a set of partial criteria used to evaluate the network's performance;

Q^* , C^* – boundary levels of the indicators of the effect (functional characteristics) and costs;

$S'=\{s\}$ – a subset of options that determine the area of the existence of the network;

Π – possible principles for building a network.

The search strategy of the solution, which is formed at the step 1, defines the conditions of the

iterative implementation of the steps 3-8, as well as the choice of design procedures $ProcDec_i^2$ to get solutions of the task $Task_i^2$, $i = \overline{1, 6}$ [8].

The choice of the strategy is based on the solution of the problem, which forms the domain of admissible variants of network construction $S^*=\{s\}$, proceeding from the chosen principles of its construction $\pi \in \Pi$.

Specific provisions of the strategy are determined by the necessary precision of the solutions $DesDec_i^2$, $i = \overline{1, 6}$, as well as computing resources that can be used to solve the problem.

Steps 3-6 provide for the implementation of design procedures $ProcDec_i^2$, $i = \overline{2, 5}$ to solve the tasks of choosing a network structure, determining the topology of elements and relationships, choosing a technology of operation, determining the parameters of elements and relationships in the context of input data $InDat_i^2$ and restrictions Res_i^2 .

Each of the procedures $ProcDec_i^2$, $i = \overline{2, 5}$ based on one of the task models $ModTask_i^2 = \{ModTask_{ik}^2\}$ and uses one of the methods of solving it $MetDec_i^2 = \{MetDec_{il}^2\}$ [8].

Checking restrictions Res_i^2 is carried out in the process of solving each of the tasks $Task_i^2$, $i = \overline{1, 5}$. Step 5 provides for verification of restrictions of the general task $Task_i^2$.

Evaluating the effectiveness and choosing the best variant for building a network (step 8) is carried out using formal or expert multi-factor and multi-choice procedures $\{ProcDec_{6k}^2\}$ [8].

Step 9 provides for verification of the completion conditions of the iterative cycle for solving complex tasks $Task_i^2$, $i = \overline{2, 5}$ (in particular, the number of cycles of the multistar procedure for searching for the global extremum of the target function).

Step 10 provides for the formation of decisions $s \in S^*$ by the human operator which is responsible for the system designing, as well as an automated evaluation of their properties by a set of criteria $K(s)$, comparing them with the best of the previously obtained and choosing the best among them s^o .

Depending on the available means of automation of designing and the chosen strategy for the design decisions, various forms of participation of the operator in forming decisions (step 2-10) are possible: operator-programmer, operator-researcher, operator-coordinator [10].

Possibility of solving the tasks of system design (NSCT)=as a whole follows from the possibility of solving constituent tasks $Task_i^2$, $i = \overline{1, 6}$ and the convergence of the entire iterative procedure. In this

case, design decisions $DesDec_i^2$ $Task_i^2$, $i = \overline{1, 6}$ tasks, on the subsequent iterations of the proposed scheme will become more precise, because they will be formed based on the decisions obtained in the previous iterations. As a result, the accuracy of the solution $DesDec_2^1$ task will be increased.

Conclusions

The analysis of the peculiarities of the problem of system design of the network of the main center of special control, as a kind of territorially distributed objects, made it possible to establish the specific features of the arisen problems.

The close relationships between the tasks of structural, topological, parametric, technological synthesis requires their joint solution. The combinatorial nature of problem problems and their high dimension require the development of effective methods for their solution.

The presence of problem-oriented factors that are difficult to formalize and incomplete certainty of input data makes using of interactive technologies is more effective for the design.

The established features have determined the iterative interactive nature of the proposed logic design scheme and of the proposed method for the design of design solutions.

The practical application of the results obtained will reduce the time for solving the design, planning, or reengineering tasks of the Network of the Main Center for Special Control, reducing the costs of their creation and operation, by jointly solving tasks to improve the quality of solutions and, on this basis, improve the functional characteristics of the network.

Further details of the described logic design scheme and the proposed method for the design of design solutions involves the choice or development of new mathematical models and methods for solving all partial problems:

- the choice of principles of network construction;
- choice of network structure;
- definition of the topology of elements and connections;
- choice of operation technology; determination of parameters of elements and connections;
- assessing the effectiveness of options and choosing solutions.

REFERENCES

1. Ahmed, M. (2015), "Remote monitoring with hierarchical network architectures for large-scale wind power farms", *Journal of Electrical Engineering & Technology*, No. 10 (3), pp. 13.19-13.27.
2. Grekov, L.D., Ilyushko, V.M. and Fedorovich, O.E. (2014), *Georaspredelennyye proizvodstvennyye sistemy. CH. 2. Razmeshcheniye na zemnoy poverkhnosti, optimizatsiya magistral'nykh sistem, kosmicheskiy monitoring* [Georeplaced production systems. Ch. 2. Placement on the earth's surface, optimization of backbone systems, space monitoring], Publishing house of Sergey Pantiuk, Kyiv, 206 p.
3. Pokryasayev, S.A., Sokolov, B.V. and Yusupov, R.M. (2013), "Soderzhatel'noye i formal'noye opisaniye problemy strukturno-funktional'nogo sinteza i upravleniya razvitiyem informatsionnoy sistemy nazemno-kosmicheskogo monitoringa" ["Contents and formal description of the problem of structural-functional synthesis and control of the development of the information system of terrestrial-space monitoring"], *Trudy SPIIRAN* [Proceedings of SPIIRAN], No. 28, pp. 82-106.
4. Zapadnja, K.O. (2012), "Obosnovaniye i vybor sistemy kosmicheskogo monitoringa territorial'no raspredelennoy proizvodstvennoy sistemy" ["The rationale and choice of the system of space monitoring of a territorially distributed production system"], *Radiyoelektronni i komp'yuterni sistemi* [Radioelectronic and computer systems], No. 2, pp 145-148.
5. Barbashev, S.V., Vitco, V.I. and Kovalenko G.D. (2011), *Radiatsionnyy monitoring v Ukraine: sostoyaniye, problemy i puti resheniya* [Radiation monitoring in Ukraine: state, problems and solutions], Astropprint, Odessa, 80 p.
6. Abramov, Y.A., Ttiutyunyk, V.V. and Shevchenko R.I. (2006), *Aerokosmicheskiy monitoring* [Aerospace Monitoring], Publishing-house of AGSU, Kharkiv, 172 p.
7. Petrov, E.G., Piskalkova, V.P. and Bezkorovoyny, V.V. (1992), *Territorial'no raspredelennyye sistemy obsluzhivaniya* [Territorially distributed service systems], Technics, Kyiv, 208 p.
8. Beskorovayny, V.V., Imangulova, Z.A., Petrov, S.V., Koshel, A.V. and Moskalenko, A.S. (2016), "Sintez logicheskoy skhemy sistemnogo proyektirovaniya sistem kontrolya krupnomasshtabnykh ob'yektor" ["Synthesis of the logical scheme of system design of control systems of large-scale objects"], *Nauka i tekhnika Povitryanyikh Sil Zbroynikh Sil Ukrainsi* [Science and technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine], No. 4 (49), pp 70-74.
9. Beskorovayny, V.V. and Podolyaka, K.E. (2015), "Modifikatsii metoda napravленного perebora dlya rezhiniringa topologicheskikh struktur sistem krupnomasshtabnogo monitoringa" ["Modifications of the directional selection method for the reengineering of topological structures of large-scale monitoring systems"], *Radioelektronika i informatika* [Radio electronics and computer science], No. 3 (70). pp. 55-62.
10. Timchenko, A.A. (2000), *Osnovi sistemnogo proyektuvannya ta analizu skladnikh ob'ektyv: U 2-kh kn. Kn. 1. Osnovi SAPR ta sistemnogo proyektuvannya skladnikh ob'ektyv* [Basics of system design and analysis of complex objects: In 2 books. Kn. 1. Fundamentals of CAD and system design of complex objects], Lybid, Kyiv, 272 p.
11. Petrov, V.V., Kozhehurt, V.I., Butakov, A.N., Naumenko, E.M. and Ostashevsky, V.B. (2010), "Osnovnyye napravleniya sozdaniya avtomatizirovannykh sistem monitoringa vozdukhogo, nazemnogo i nadvodnogo prostranstva v real'nom vremeni" ["Basic directions of creation of automated systems of monitoring of air, surface and surface space in real time"], *Reestratsiya, zberigannya i obrabotka danikh* [Registration, storage and processing of data], No. 12 (2), pp. 151-164.
12. Beskorovayny, V.V. and Podolyaka, K.E. (2015), "Razrabotka sistemologicheskoy modeli problemy strukturno-topologicheskogo rezhiniringa sistem krupnomasshtabnogo monitoringa" ["Development of the systemological model of

- the problem of structural and topological reengineering of large-scale monitoring systems"], *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy [East-European Journal of Advanced Technologies]*, No. 3 (75), pp. 37-42.
13. Beskorovayny V.V. (2002), "Formirovaniye i vybor resheniy zadachi sistemnogo proyektirovaniya territorial'no raspredelennykh sistem obrabotki informatsii" ["Formation and selection of solutions to the problem of system design of geographically distributed information processing systems"], *Sistemi obrobki informatsii [Systems of information processing]*, No. 6 (22), pp. 243-247.

Надійшла (received) 22.06.2017
Прийнята до друку (accepted for publication) 19.09.2017

Метод системного проектування мережі засобів спеціального контролю

В. В. Безкоровайний, О. І. Солонець, К. К. Кулагін, Т. А. Кошель, С. В. Петров, А. В. Кошель

Предметом вивчення в статті є процеси системного проектування мережі засобів спеціального контролю (МЗСК). **Мета** – розробка ітераційної схеми логічного проектування мережі засобів спеціального контролю, що ґрунтуються на ідеях агрегативно-декомпозиційного підходу, системного аналізу та системного проектування складних систем. **Завдання:** аналіз особливостей мережі засобів спеціального контролю як об'єкта проектування чи реінжинірингу; декомпозиція проблеми оптимізації МЗСК на множину задач, що відносяться до різних ієрархічних рівнів декомпозиції, з їх взаємозв'язками за вихідними даними та результатами розв'язання; формулювання вимог, яким повинні задовольняти ефективні методи та процедури розв'язання задач оптимізації МЗСК; розробка ітераційної логічної схеми та методу системного проектування МЗСК. Використовуваними **методами** є: системологічний аналіз процесів проектування, причинно-наслідковий аналіз, метод системного проектування складних систем. Отримані такі **результати**. Проведено аналіз особливостей мережі засобів спеціального контролю як об'єкта проектування чи реінжинірингу. З урахуванням особливостей МЗСК виконано декомпозицію проблеми її оптимізації на множину взаємопов'язаних задач, що відносяться до різних ієрархічних рівнів декомпозиції. Встановлено схему взаємозв'язків виділених задач за вихідними даними та результатами їх розв'язання. Визначено вимоги, яким повинні задовольняти ефективні методи та процедури розв'язання задач оптимізації МЗСК. Це дозволило розробити ітераційну логічну схему та на її основі метод системного проектування МЗСК. **Висновки.** На основі аналізу взаємозв'язків задач оптимізації МЗСК за вихідними даними та результатами їх розв'язання розроблено ітераційну логічну схему та інтерактивний метод її системного проектування. Отримані результати доцільно використовувати для комплексного визначення структури, топології, параметрів та технологій функціонування МЗСК. Це дозволить скоротити час розв'язання задач проектування, планування розвитку чи реінжинірингу мереж засобів, скоротити витрати на їх створення й експлуатацію, за рахунок спільногорозв'язання задач підвищити якість рішень і на цій основі покращувати їх функціональні характеристики.

Ключові слова: великомасштабний об'єкт; система спеціального контролю; структура; топологія; проектування; оптимізація; логічна схема системного проектування.

Метод системного проектирования сети средств специального контроля

В. В. Бескоровайный, А. И. Солонец, К. К. Кулагин, Т. А. Кошель, С. В. Петров, А. В. Кошель

Предметом изучения в статье являются процессы системного проектирования сети средств специального контроля (СССК). **Цель** - разработка итерационной схемы логического проектирования сети средств специального контроля, которая будет основываться на идеях агрегативно-декомпозиционного подхода, системного анализа и системного проектирования сложных систем. **Задачи:** анализ особенностей сети средств специального контроля как объекта проектирования или реинжиниринга; декомпозиция проблемы оптимизации СССК на множество задач, относящихся к разным иерархическим уровням декомпозиции, с их взаимосвязями по исходным данным и результатам решения; формулирование требований, которым должны удовлетворять методы и процедуры решения задач оптимизации СССК; разработка итерационной логической схемы и метода системного проектирования СССК. Используемыми **методами** являются: системологический анализ процессов проектирования, причинно-следственный анализ, метод системного проектирования сложных систем. Получены следующие **результаты**. Проведен анализ особенностей сети средств специального контроля как объекта проектирования или реинжиниринга. С учетом особенностей СССК выполнено декомпозицию проблемы ее оптимизации на множество взаимосвязанных задач, относящихся к разным иерархическим уровням декомпозиции. Установлено схему взаимосвязей выделенных задач с входными данными и результатами их решения. Определены требования, которым должны удовлетворять методы и процедуры решения задач оптимизации СССК. Это позволило разработать итерационную логическую схему и на ее основе метод системного проектирования СССК. **Выводы.** На основе анализа взаимосвязей задач оптимизации СССК по входным данным и результатам их решения разработана итерационная логическая схема и интерактивный метод ее системного проектирования. Полученные результаты целесообразно использовать для комплексного определения структуры, топологии, параметров и технологии функционирования СССК. Это позволит сократить время решения задач проектирования, планирования развития или реинжиниринга сетей средств, сократить расходы на их создание и эксплуатацию, за счет совместного решения задач повысить качество решений и на этой основе улучшать их функциональные характеристики.

Ключевые слова: крупномасштабный объект; система специального контроля; структура; топология; проектирование; оптимизация; логическая схема системного проектирования.

A. Nechausov¹, I. Mamusuć², N. Kuchuk³

¹ National Aerospace University – Kharkiv Aviation Institute, Kharkiv, Ukraine

² University of Zagreb, Zagreb, Croatia

³ Vasyl Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

SYNTHESIS OF THE AIR POLLUTION LEVEL CONTROL SYSTEM ON THE BASIS OF HYPERCONVERGENT INFRASTRUCTURES

The subject matter of the article is an air pollution control process. **The aim** is development of proposals for the synthesis of the air pollution control system based on hyperconvergent infrastructures. **The objectives are:** the development of a mathematical model for constructing pollutants concentration fields; substantiation and development of a conceptual model of the geoinformation system for air pollution control, justification and selection of the basic infrastructure of the control system. **The methods used are:** system analysis of risks, cause-and-effect analysis, statistical methods. **The following results are obtained:** The basic influencing on character of dispersion and distribution of harmful substances factors in atmosphere are allocated. A multifactorial mathematical model has been developed for constructing fields of concentration of pollutants, which is based on two types of distribution-the normal and S_L -distribution of Johnson. The geoinformation technology (GIT) structure components are determined. A program for determining the stability class of the atmosphere has been developed. A model of the process under investigation on a cartographic basis was developed with the presentation of the results in the form of a concentration isotype. The structure of the database of the parameters of sources and characteristics of sources of air pollution, which is part of the serving hyperconvergent infrastructure, has been developed. **Conclusion.** The synthesized air pollution control system will allow to solve such tasks: collection of primary information, its systematization, analysis and formation of a data bank; processing and presentation of data in the form of thematic pollution maps; Assessment of the current state of the environment and forecast; analysis of the causes of observed and probable changes in the state; prompt provision of necessary information to all stakeholders.

Keywords: air pollution; control; hyperconvergence; model.

1. Problem analysis and the research task formulation

Atmospheric air monitoring systems are an integral part of state municipal complex systems for monitoring the state of the environment. The main goal of these systems is to fulfill the task of ensuring the safety and quality of the environment, developing a strategy and tactics for the work of environmental services, which guarantees obtaining objective information about the state of the environment [1–3]. Among industrial facilities, one of the main pollutants of the atmosphere are thermal power plants (about 30% of all hazardous emissions to the atmosphere comes from stationary sources), oil and gas complexes and chemical industry.

To implement existing and newly developed multitask mathematical models using factual and cartographic data and to visualize the results of the atmospheric air state calculations in the regions, an automated information system for air pollution monitoring with the ability to visualize the results on a cartographic basis online.

The obvious advantages of automated air pollution control systems are the ability to monitor and forecast changes in the state of atmospheric air. However, for a long time such systems could exist only in the form of calculations of local foci of contamination and could not be used as a full model of the entire situation of the region. The main reason of this was the lack of data collection, storage and distribution technologies capable of servicing large amounts of information in a real time, thus ensuring the interaction between the main functional blocks of complex systems. The next reason

was the inadequate development of suitable for the operational use of forecasts for the vertical distribution of meteorological values, which limited the introduction of methods for numerical prediction of air pollution and made it difficult to improve the predictive schemes. The introduction of hyperconvergent [4] systems in the process of creating and maintaining large-scale automated solutions based on interactive web services makes it possible to solve the task [5, 6]. The purpose of this article is to develop proposals on the synthesis of the air pollution control system based on hyperconvergent infrastructures.

2. Mathematical model for constructing pollutants concentration fields

The main requirement for the developing solution is the ability to perform the tasks in real time with the option of fast scanning and increasing the processing power.

The wide possibilities of geoinformational technology together with cloud-systems allow modeling the distribution of pollutants concentration fields on the basis of general indices of industrial facilities operation or other sources of pollution and the level of their impact on the environment in real time [7].

For heat and mass transfer process analysis results upon ejection gas mixture major influencing factors on the nature of the diffusion and propagation of harmful substances in the atmosphere were highlighted (Fig. 1) and based on this, a multifactorial mathematical model (1) to construct the concentration of contaminating fields substances which is based on two types of distribution - normal (for a description of dispersion of pollutants in the vertical plane and Y axis perpendicular

to the axial flow path) and Johnson SL-distribution (for hell suitable approach approximation asymmetric

concentration profile along the axis X of the wind direction) was created (Fig. 2):

$$f_C(x, y, z) = \frac{1}{4\sqrt{2\pi^3}\sigma_y\sigma_z} \cdot \frac{\eta}{(x-x_0)} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\gamma + \eta \ln \left(\frac{x-x_0}{\lambda} \right) \right)^2 + \left(\frac{y-y_0}{\sigma_y} \right)^2 \right] \right\} \cdot \left\{ \exp \left(-\frac{(z-z_0)^2}{2\sigma_z^2} \right) + \exp \left(-\frac{(z+z_0)^2}{2\sigma_z^2} \right) \right\}, \quad (1)$$

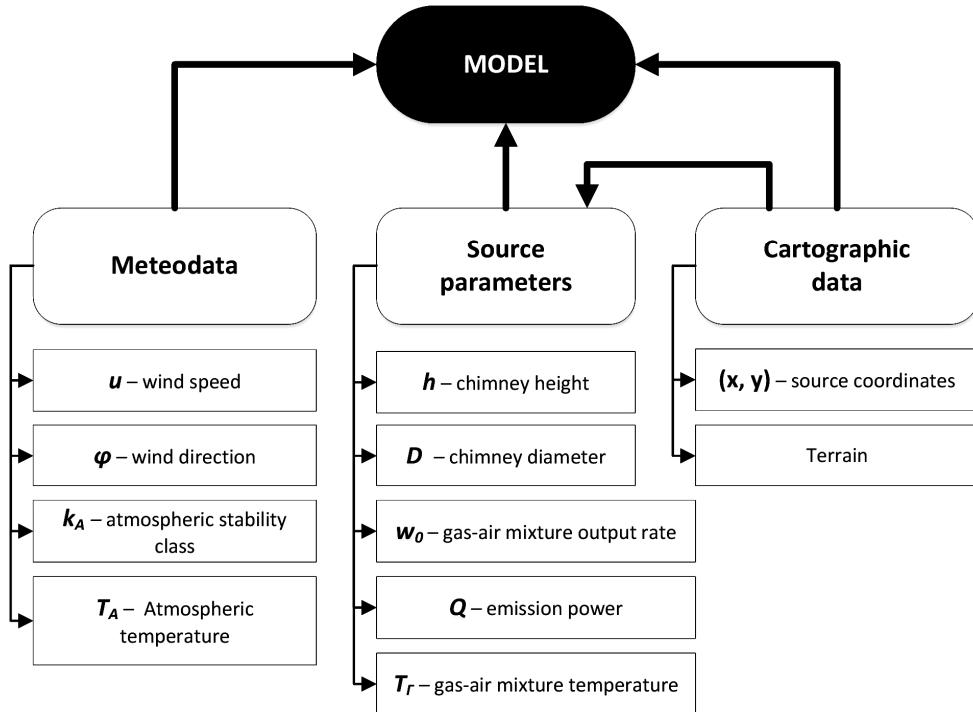


Fig. 1. The major factors affecting the nature of dispersion and movement of harmful substances in the atmosphere considered in the model

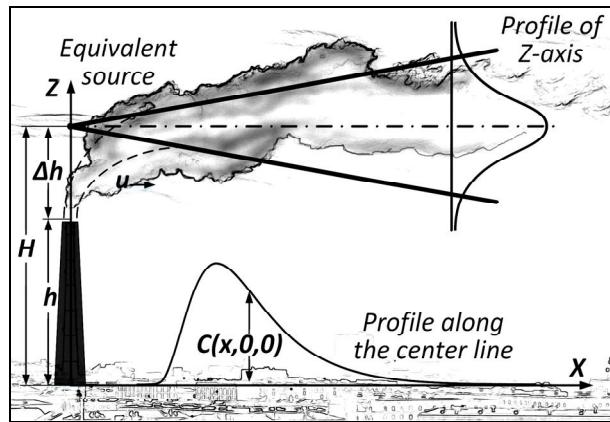


Fig. 2. Physics of the heat and mass transfer process illustration as a basis of multivariate mathematical model for constructing pollutants fields of concentration

where x_0, y_0, z_0 – spatial coordinates of the virtual pollution source; $x_0 \equiv \varepsilon$ and $\lambda (\lambda > 0)$ – scale parameters of S_L-Johnson distribution; η and γ – parameters of S_L-Johnson distribution form; σ_y and σ_z – standard deviation (SD), which characterize the scattering of pollutants along the corresponding axes.

Effective source height $H \equiv z_0$ is defined as the sum of the geometric height of the chimney h and the initial rise of the jet Δh :

$$\Delta h = 3,75 w_0 R_0 / u + (1,6gV\Delta T) / T_A u^3, \quad (2)$$

where w_0 – gas velocity at the source outlet, m/s; R_0 – jet radius, m; u – wind speed, m/s; V – volume of exhaust gas, m³/s; ΔT – overheating of gas relative to ambient air, °K; T_A – atmospheric temperature, °K.

Thematic information concerning the location and configuration of the main sources of environmental pollution should be provided by appropriate electronic maps. In related tables, it is useful to store general information about the enterprises of the region and the pollutants.

Thus, the structure of geoinformation technology should include the following interrelated links:

- database (DB) of environmental, meteorological, regulatory, sanitary-hygienic, technical and economic aspects;
- block of modeling and statistical analysis of results;
- block for the formation and forecast of the spread of the pollutant concentrations fields for non-stationary meteorological factors and taking into account the finite time of the functioning of emission sources;
- a block of managerial decisions making support;
- an online data distribution system

3. Geoinformation system for air pollution control

In order to automatically read data from meteorological resources and determine the atmospheric stability classes on a continuous basis and transmit these data to storage and modeling units, a corresponding

program based on the Pasquill table was developed (Fig. 3).

After calculating the local levels of atmospheric pollution, it becomes necessary to present the results of modeling in the form of the harmful substances concentration isotope on a cartographic basis in vector form with georeferencing.

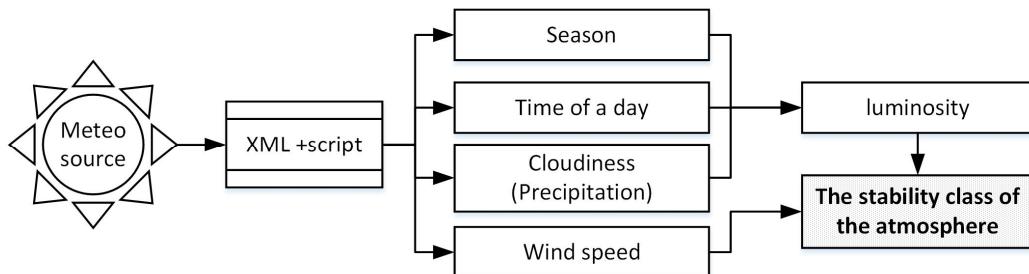


Fig. 3. Structural diagram of the program for determining the stability class of the atmosphere

For this purpose, a procedure (Fig. 4), implemented in the DECartesian program, was developed.

The algorithm of the program is conditionally divided into 2 functional blocks: 1 - the block of the concentration isotope contour points search. To do this, the fragment of the map is segmented into squares of the matrix with various average concentrations of pollutants, after which each square is assigned with a hazard level (determined by exceeding the maximum permissible concentration) (Fig. 5).

This level can vary with the inclusion of harmful substances from different sources. The final level of danger is calculated by the superposition method (4) of matrices from different sources located in the radius of contamination of each other. The second block is the unit for converting Cartesian coordinates into geographical coordinates, as a result of which a text file with geographic coordinates of the isopleth points is created.

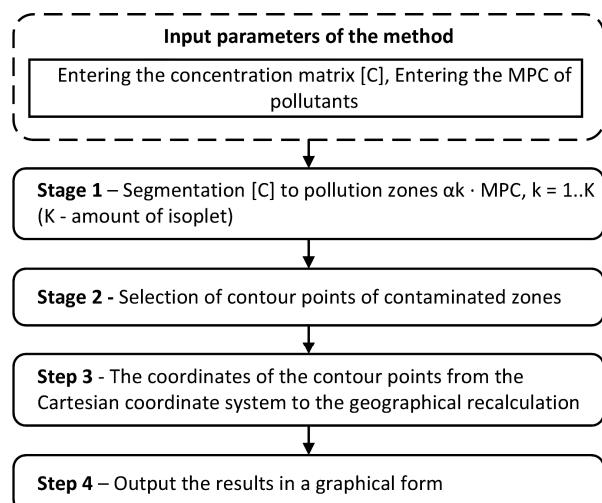


Fig. 4. The procedure for presenting the results of modeling the pollutants concentration fields in the form of contaminated zones on a cartographic basis

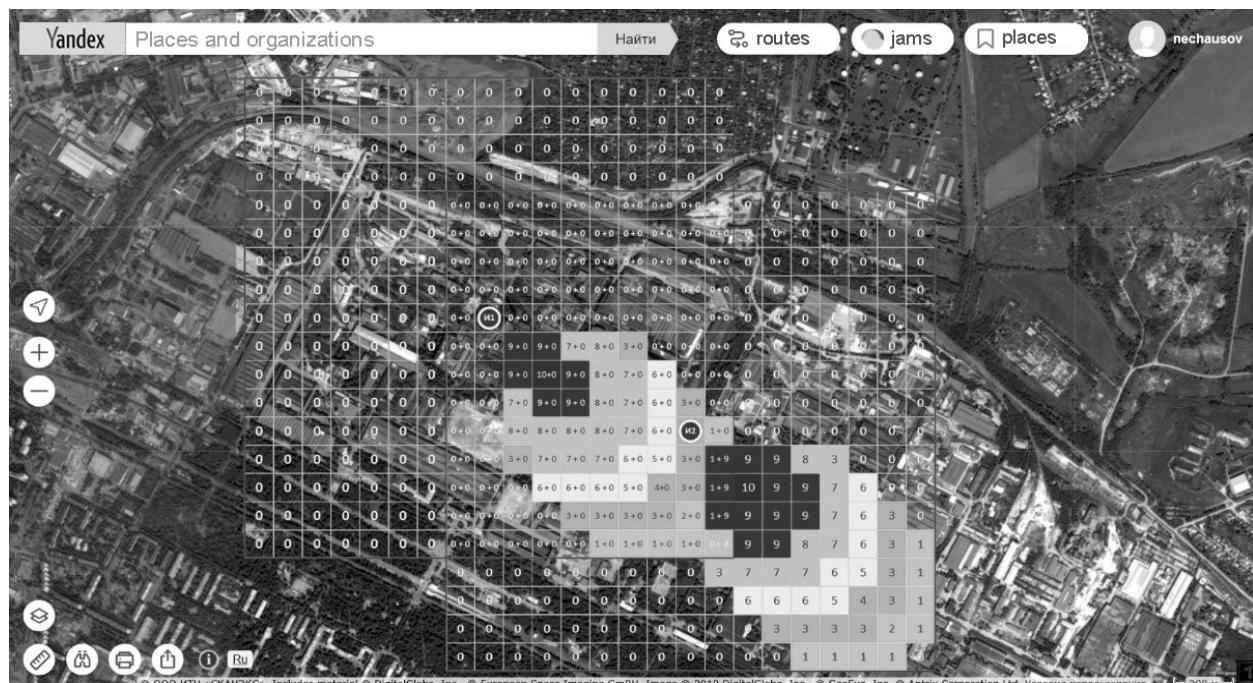


Fig. 5. The principle of applying matrixes of pollutants concentration on a cartographic basis

The final view of the working field of the visualization unit with the window for the simulation

parameters setting and the results of constructing the non-stationary concentration field is shown in Fig. 6.

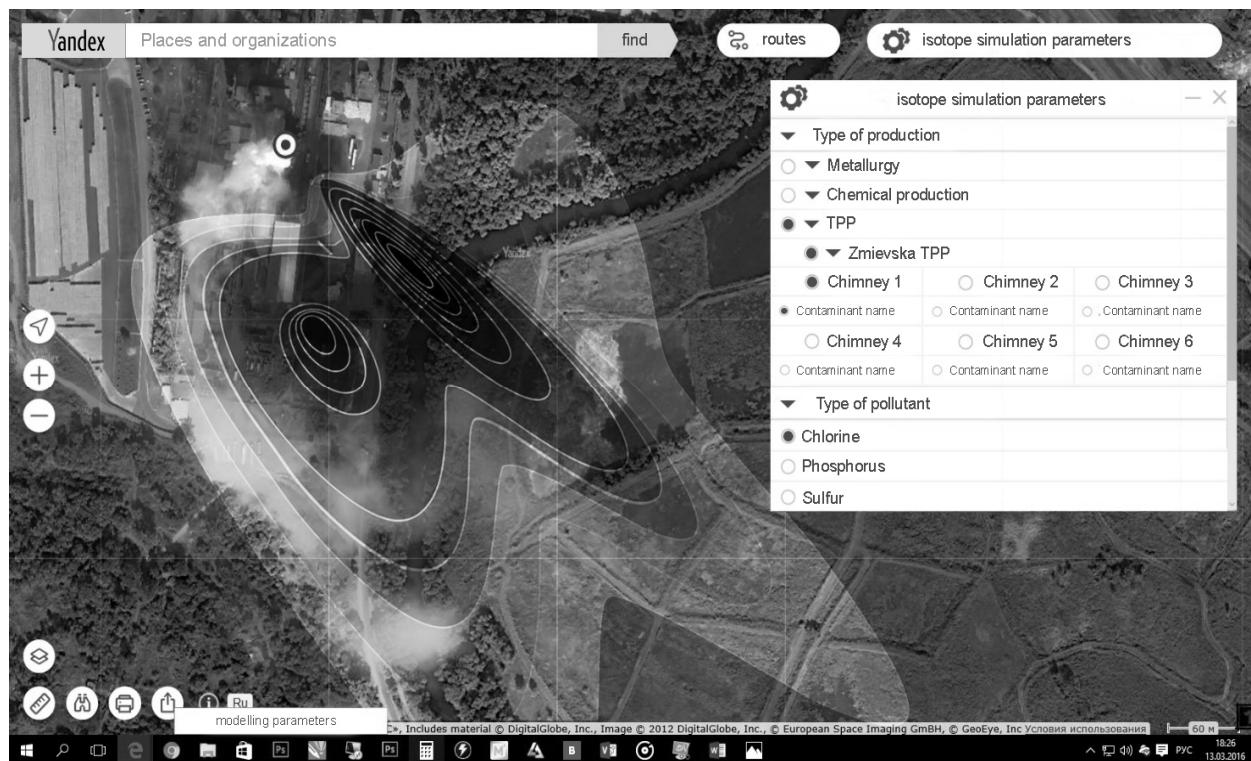


Fig. 6. Displaying simulation results on a cartographic basis in the form of an isotope concentration

The YandexMaps® API was used to build the state map, in addition, GoogleMaps® or GoogleEarth® technology can be used.

These services are open resources and can be used to visualize various thematic data. To store observational data (in the current time interval t_i) and corresponding fields of pollutant concentrations in the surface layer of the atmosphere, a remote temporary data storage is needed, which is part of the serving hyperconvergent system.

All the factors and input data necessary for determining the concentration of contamination are taken into account and reflected in the conceptual model of GIT [8] (Fig. 7).

The basis of this model are the outlined above functional units that somehow interact with the functional core and the serving hyperconvergent system, which allows to carry out the data traffic necessary for the timely provision of input data to all the geoinformation technology blocks and transmission of the results of these blocks, allowing to build long-term forecasts and collect and the analysis of statistical data for several years.

The second, no less important element of GIT, is the database of industrial enterprises in the region (Fig. 8), which is part of the serving hyperconvergent infrastructure.

It proposes to store attributive descriptions of enterprises: the industry, the composition of emissions into the atmosphere, the height h_i and the diameters of the pipes D_i , the power of the ejection Q , the velocity of the gases w_0 at the outlet of the source, the temperature

of the thrown out gas-air mixture T_f ; values of parameters Q , w_0 , T_f are established according to the current technological standards for the given production.

The values of the daily concentration fields for the monitored territory or monitored objects, as well as the fields of the measured meteofactors with the date of observations are transferred to the resulting data remote store of the serving hyperconvergent system.

An important and necessary feature of such a maintenance system is the use of modern technologies for replicating information, which allows you to restore data in the event of an emergency.

Conclusions

Thus, the proposed control of air pollution the geoinformation technology will solve such problems:

- collection of primary information, its systematization, analysis and formation of a data bank;
- processing and presentation of data in the form of thematic pollution maps;
- assessment of the current state of the environment and forecast;
- analysis of the causes of observed and probable changes in the state;
- prompt provision of necessary information to all stakeholders.

Direction of further research: selection of the characteristics and structure of the Hardware and Software hyperconvergent platform for the proposed system.

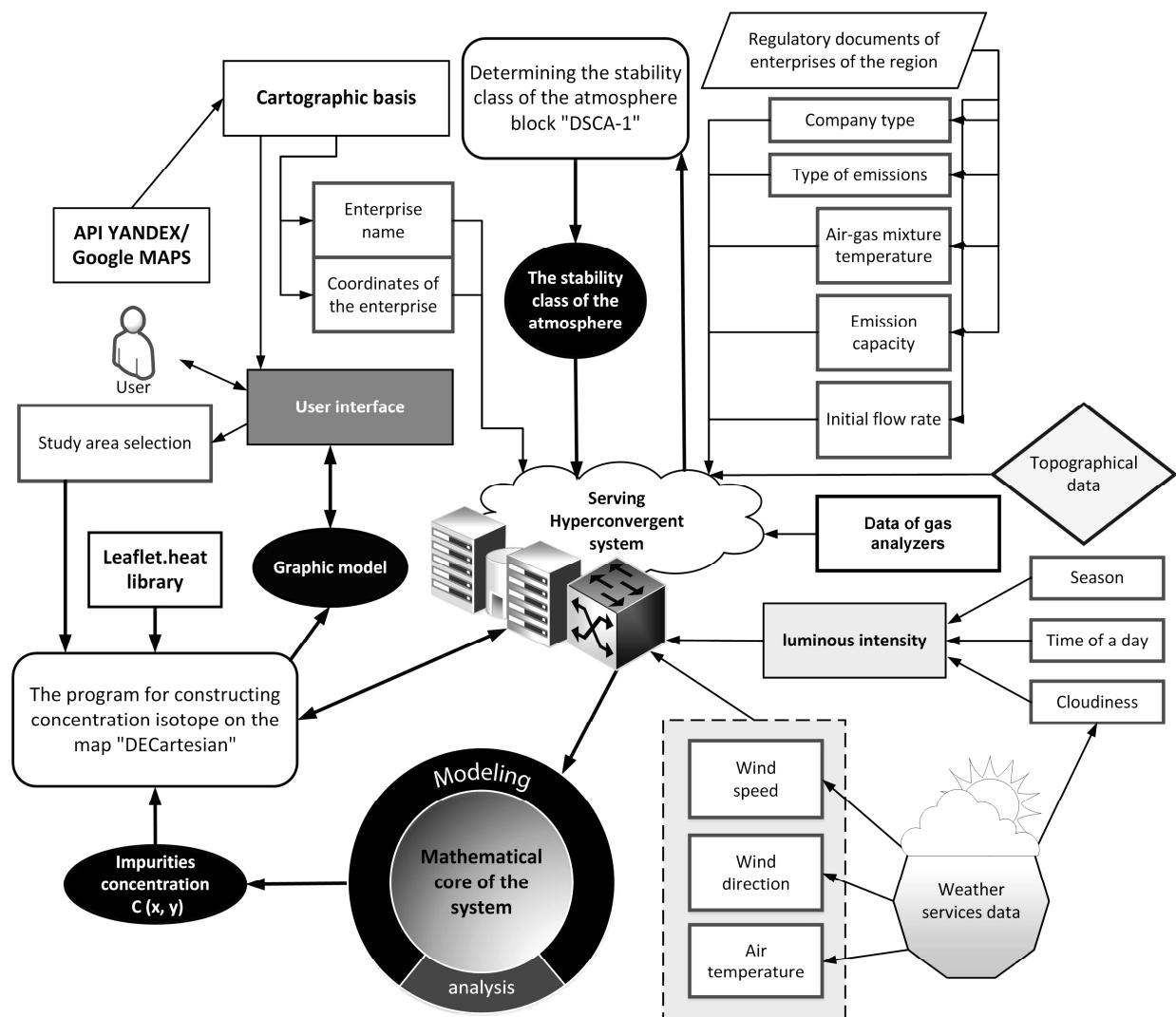


Fig. 7. The atmospheric air pollution control GIT conceptual model

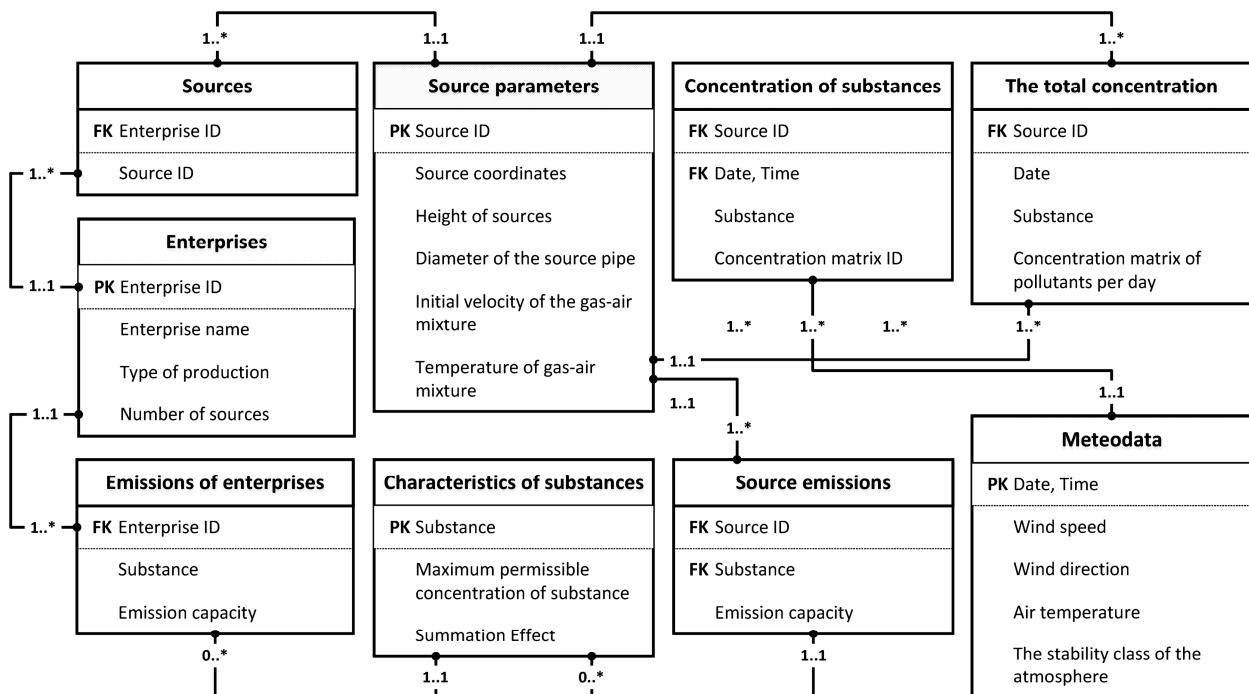


Fig. 8. Database of source parameters and contaminants characteristics structure

REFERENCES

1. Kobtseva, N.Yu. and Ermolenko, B.V. (2012), The analysis of existing mechanisms of regulation of influences users on a condition of atmosphere and planned way soft heir perfection, Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology, No. 03 (107), pp. 5-12.
2. Pripitina, I.V. and Bashkin, I.V. (2012), "Ekologicheskiye riski v svyazi s tekhnogennym zagryazneniyem okruzhayushchey sredy: analiz podkhodov i metodov otsenki" [Ecological risks in connection with technogenic pollution of the environment: an analysis of approaches and methods of assessment], *Problemy analiza risika [Problems of risk analysis]*, No. 5. pp. 12-25.
3. Gorelik, D.O. and Konopelko, L.A. (1992), *Monitoring zagryazneniya atmosfery i istochnikov vybrosov. Aeroanaliticheskiye izmereniya [Monitoring of air pollution and emission sources. Aerial analytic measurements]*, Publishing house of standards, Moscow, 432 p.
4. Ganja, D (2016), Hyperconvergence: IT infrastructure at times, two, three", *Zhurnal setevykh resheniy [Network Solutions Journal]*, No. 5, available at: www.osp.ru/lan/2016/05/13049349 (accessed April 23, 2017).
5. White Paper: Riverbed Hyper-converged Edge, available at: <https://www.riverbed.com/document-repository/white-paper--riverbed-hyper-converged-edge.html> (accessed April 23, 2017).
6. Kuchuk, G., Kharchenko, V., Kovalenko, A. and Ruchkov E. (2016), "Approaches to Selection of Combinatorial Algorithm for Optimization in Network Traffic Control of Safety-Critical Systems", Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDT'S'2016), pp. 384-389.
7. Vasilyeva, I.K. and Nechausov, A.S. (2016), "Struktura sistemy ekomonitoringa na osnove veroyatnostnoy modeli lokalnogo zagryazneniya atmosfery" ["The structure of the ecomonitoring system based on the probabilistic model of local atmospheric pollution"], *Systemy obrobky informatsiyi [Information Processing Systems]*, No. 1(138), pp. 176-182.
8. Nechausov, A. (2016), "The information model of the system for local atmospheric air pollution monitoring", *Systemy obrobky informatsiyi [Information Processing Systems]*, No. 2(139), pp. 190-195.

Надійшла (received) 12.05.2017

Прийнята до друку (accepted for publication) 04.10.2017

Синтез системи контролю рівня забруднення повітря на базі гіперконвергентних інфраструктур

А. С. Нечаусов, І. Мамусич, Н. Г. Кучук

Предметом вивчення в статті є процеси контролю рівня забруднення повітря. **Мета** - розробка пропозицій по синтезу системи контролю рівня забруднення повітря на базі гіперконвергентних інфраструктур. **Завдання:** розробка математичної моделі для побудови полів концентрації забруднюючих речовин; обґрунтування і розробка концептуальної моделі геоінформаційної системи контролю забруднення повітря, обґрунтування і вибір базової інфраструктури системи контролю. **Використовуваними методами є:** системний аналіз, статистичні методи, причинно-наслідковий аналіз. **Отримані такі результати.** Виділено основні впливові фактори на характер розсіювання і поширення шкідливих речовин в атмосфері. Розроблено багатофакторна математична модель для побудови полів концентрації забруднюючих речовин, яка ґрунтується на двох типах розподілу - нормальному і SL- розподілі Джонсона. Визначено компоненти структури геоінформаційної технології. Розроблено програму визначення класу стабільності атмосфери. Розроблено модель дослідженого процесу на картографічній основі з поданням результатів у вигляді ізоплет концентрації. Розроблено структуру бази даних параметрах джерел і характеристиках джерел забруднення повітря, яка входить до складу обслуговуючої гіперконвергентної інфраструктури. **Висновки.** Синтезовані система контролю забруднення повітря дозволить вирішувати такі завдання: збір первинної інформації, її систематизація, аналіз та формування банку даних; обробка та представлення даних у вигляді тематичних карт забруднень; оцінка поточного стану навколошнього середовища і прогнозу; аналіз причин спостережуваних та ймовірних змін стану; оперативне забезпечення необхідною інформацією всіх зацікавлених осіб.

Ключові слова: забруднення повітря; контроль; гіперконвергентность; модель.

Синтез системы контроля уровня загрязнения воздуха на базе гиперконвергентных инфраструктур

А. С. Нечаусов, И. Мамусич, Н. Г. Кучук

Предметом изучения в статье являются процессы контроля уровня загрязнения воздуха. **Цель** - разработка предложений по синтезу системы контроля уровня загрязнения воздуха на базе гиперконвергентных инфраструктур. **Задачи:** разработка математической модели для построения полей концентрации загрязняющих веществ; обоснование и разработка концептуальной модели геоинформационной системы контроля загрязнения воздуха, обоснование и выбор базовой инфраструктуры системы контроля. **Используемыми методами являются:** системный анализ, статистические методы, причинно-следственный анализ. **Получены следующие результаты.** Выделены основные влияющие факторы на характер рассеивания и распространения вредных веществ в атмосфере. Разработана многофакторная математическая модель для построения полей концентрации загрязняющих веществ, которая основывается на двух типах распределения – нормальном и SL- распределении Джонсона. Определены компоненты структуры геоинформационной технологии. Разработана программа определения класса стабильности атмосферы. Разработана модель исследуемого процесса на картографической основе с представлением результатов в виде изоплет концентрации. Разработана структура базы данных параметрах источников и характеристиках источников загрязнения воздуха, которая входит в состав обслуживающей гиперконвергентной инфраструктуры. **Выводы.** Синтезированная система контроля загрязнения воздуха позволит решать такие задачи: сбор первичной информации, ее систематизация, анализ и формирование банка данных; обработка и представление данных в виде тематических карт загрязнений; оценка текущего состояния окружающей среды и прогноза; анализ причин наблюдаемых и вероятных изменений состояния; оперативное обеспечение необходимой информацией всех заинтересованных лиц.

Ключевые слова: загрязнение воздуха; контроль; гиперконвергентность; модель.

Information systems research

UDC 621.391

doi: 10.20998/2522-9052.2017.2.05

R. Zhyvotovskyi, S. Petruk

Central Research Institute of weapons and military equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

METHODS OF ESTIMATION OF THE CHANNEL STATE OF AIR DEFENSE SYSTEMS

The subject of study in the article is the methods for assessing the state of channels of air-conditioning complexes operating in a complex electronic environment. The methods discussed in this article include the method of least squares, the method of mean square deviation, channels estimation methods for iterative methods of signal processing at reception, suboptimal algorithms for iterative channel estimation and information symbols based on the maximum likelihood method, linear unbiased estimation methods with minimal dispersion and methods of linear estimation with a minimum of mean square deviation. **The purpose** of the study is to conduct an analysis of existing methods for assessing the state of the air defense airway channels in the conditions of radio-electronic suppression and multi-beam propagation of radio waves. The tasks solved in the study: a mathematical description of known methods for assessing the state of the channels and the development of recommendations for the synthesis of optimal methods for assessing the state of the channels. The methods used in the study: theory of communication, theory of noise immunity and electronic warfare. In the course of the study, recommendations were obtained for the synthesis of optimal methods for assessing the status of channels under the conditions of intentional interference. **Conclusions:** in the presence of sufficient a priori information about the transmission of information symbols, the best results on the criterion of the ratio of accuracy of estimation and complexity of implementation is demonstrated by the algorithm of linear estimation at the minimum of the mean-square deviation. In the absence of sufficient a priori information about the transmission of symbols, the best option is an unmatched estimate for the minimum of the smallest squares. In order to increase the accuracy of the evaluation of the transmission characteristics of the air defense airway channels in the conditions of a complex electronic environment it is advisable to use iterative principles.

Keywords: radioelectronic environment; intentional interference; anti-aircraft defense; methods of analysis.

Introduction

Formulation of problem. Noise immunity of reception signals in modern systems of air defence (AD), which operate in a complex electronic environment [1], largely depends on the estimation accuracy of the channel state, which is determined by the transfer function [1-3].

In the presence of objective and accurate information on the status of the channels is the ability to carry out activities aimed at improving the noise immunity, the functioning of AD.

Because of this, **aim of the article** is analysis of existing methods of evaluation of condition of channels of air defense systems in the conditions of jamming and multipath propagation.

Methods of solving scientific problems. For solution scientific problems used methods of analysis and synthesis of complex technical systems, theory of noise immunity of radio systems and mathematical modeling techniques.

Main material of research

Problem of estimating transfer characteristics of the control channels and data transmission can be represented as finding their values is the impulse response or the corresponding values of the frequency characteristic.

Classification of methods for assessing the quality of the channel showed on Fig. 1.

Necessity of ensuring high precision estimates of the channels limits effectiveness of practical application

of modern complexes of AD. To avoid this problem by developing robust against the estimation errors of channels of reception algorithms.

However, this approach, as shown in [4], cannot always provide satisfactory results, and, as a rule, leads to significant complication of electronic equipment.

Determining the structure and parameters of the system observations is one of the main tasks of the modern theory and technology of automatic control. This problem arises in the study of the properties and characteristics of objects to further control them, and as a consequence the creation of adaptive systems that are based on the identification of the object produced by the optimal control actions.

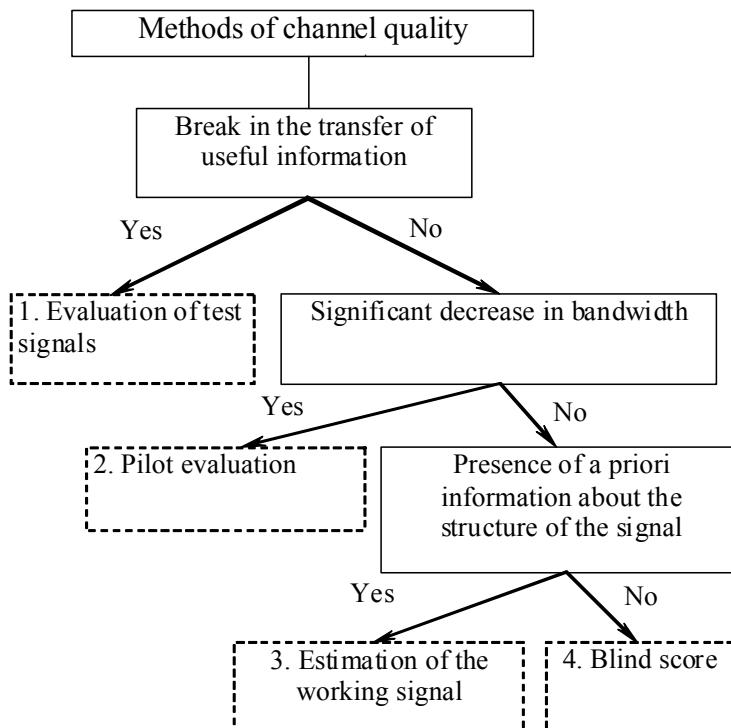
Identification means definition of the system structure and its parameters by analyzing the input and output of the system [3-5].

The main objective of identification is to identify the best in some sense of evaluation of the characteristics of the object.

Distinguish between **parametric** and **nonparametric** identification.

When using the methods of parametric identification determined from the coefficients of the transfer function or the equation object.

Second group of methods is used to identify temporal or frequency characteristics of the objects and characteristics of the random generated process objects. According to the obtained characteristics determined by the transfer function or the equation object.

**Fig. 1.** Classification of channel quality assessment methods

First consider more on methods of **nonparametric identification**.

Determination of transfer function of the temporal characteristics of the object. As is well known differential equation and transfer function are the most common forms of communication between the state variables at the input and output of a linear system. Large spread of methods of identification of deterministic objects by defining transient response curve of acceleration characteristic $h(t)$ for given step change of the control input:

$$h(t) \approx \frac{y(t) - y_0}{u - u_0}, \quad (1)$$

where $y(t)$ – variable in output values of the object fed to its input speed control u (curve acceleration);

y_0 and u_0 values of the entry and exit of the object before the start of the experiment.

If the control object does not allow to change output coordinates to input instead of the step action serves single pulse or series of pulses.

Determination of transfer function by frequency characteristics of the object. The essence of the method lies in the fact that the first experimental take off the frequency characteristic of the object, and then according to the experimental characteristics of the calculated transfer function.

When removing the frequency characteristics of the use such methods of influence on the object as a sine wave method and the method of „rectangular” waves [7-9].

Main disadvantage of these methods is long-time experiment that is spent mainly on the expectation of

steady state oscillation and gain sufficient to approximate the frequency characteristics of the values.

Correlation method of identification. Output variables of the object $y(t)$ are determined not only deterministic control inputs $u(t)$ but also by uncontrollable factors (noise) $e(t)$ that may take place and cause a deviation of the output variables from given values. To obtain the equation of the relationship between the statistical characteristics of the input and output ergodic process for stationary processes using statistical characteristics and, in particular, correlation functions or spectral density functions.

To improve accuracy of the estimated correlation functions is necessary to choose monitoring interval of signals for which these correlation functions.

Identification of object parameters by the spectral method. Spectral identification methods based on using of the unit matrix operators. These methods are a further development of frequency methods based on the decomposition of signals of the object on orthonormality functions, not necessarily harmonious. The result of identification is the determination of the integral equation kernel object, which in the simplest case a linear one-dimensional systems coincide with the weighting function. Spectral methods can be used to identify time-varying systems whose parameters and, in particular, the kernel of the integral equation, change over time.

In AD systems much more widespread **parametric identification** methods [10].

Parametric identification allows to find values of coefficients of model object with measuring values of the managed y and control u signals of the object.

This assumes that the structure and the model of the object is known.

Important advantage of the methods of parametric identification is the ability to use recursive algorithms that allow for the current identity in real time at the nominal operation modes of the object. These methods include: method of least squares, maximum likelihood method and the method of stochastic approximation.

Least squares method (LSM). Using LSM when effect of time correlated noise, that is, when minimizing the loss function according to the criterion of least squares causes a shift of the parameter estimates is the increase in the variance of these estimates. The deterioration of these estimates leads to a decrease in the quality of governance. To obtain nesman estimates used generalized LSM (GLSM). When using GLSM estimated parameters of models of the object and noise at its output.

Model least squares (LS) is described using equation

$$y(z) = \frac{B(z)}{A(z)} z^{-d} u(z) + \frac{1}{A(z)} e(z), \quad (2)$$

where $A(z)$, $B(z)$ – operators, form of which is unknown, but the known parameters (control coefficients),

$y(z)$ – output sequence,

$u(z)$ – input signal sequence,

$e(z)$ – unknown sequence of identically distributed random variables with zero mathematical expectation and unit variance (sequence interference);

z^{-d} – ratio of preventing delay of the signal in the object, equal to an integer number of sampling periods.

This method is using for large relations signal/noise, as in small ways, he gives a significant bias of the parameter estimates. The advantage of this method is that the reliable convergence of the estimates requires a relatively small amount of computations.

Method of auxiliary variables. Method of auxiliary variables (MAV) is using when there is correlation between noise $e(k)$ and elements of the data vector $\Psi(k+1)$ and model object and noise presented in the full model (3). The identification algorithm by the method of auxiliary variables similar to the LSM algorithm.

For the implementation of the algorithm introduce a vector of auxiliary variables. MAV allows to compute only the estimates of the parameters of object identification. In that case, if the desired estimation of the model parameters forming the noise filter, you can use LSM:

$$y(z) = \frac{B(z)}{A(z)} z^{-d} u(z) + \frac{D(z)}{C(z)} e(z), \quad (3)$$

where $C(z)$, $D(z)$ – operators, form of which is unknown, but known parameters (coefficients).

Method provides reasonably accurate estimate of the parameters. It is used at high intensities of noise, and their correlation with variables of the object. To speed up convergence of estimates at the initial stage it is recommended to use a recursive LSM. The disadvantage is large amount of computation.

Maximum likelihood method. Maximum likelihood method (MLM) is that estimates of the parameters θ are their values at which the likelihood function reaches its maximum. Value θ_{\max} depends on the sample (x_1, x_2, \dots, x_l) :

$$(\theta_{\max}) = \Gamma(x_1, x_2, \dots, x_l), \quad (4)$$

where (x_1, x_2, \dots, x_l) – basis of the state space.

The corresponding function of sample $\Gamma(x_1, x_2, \dots, x_l)$ is called the most plausible estimate θ .

Model of maximum likelihood (ML) has form

$$y(z) = \frac{B(z)}{A(z)} z^{-d} u(z) + \frac{D(z)}{A(z)} e(z). \quad (5)$$

If the fair model noise D/A, then this method ensures high accuracy of estimates. However, it requires more computations than the LSM.

Method of stochastic approximation. Method of stochastic approximation (MSA) is developed for determination of roots of an equation, if the value of the function at a given argument value observed in the presence of interference.

MSA organizes sequence of solutions for finding estimates of the parameter vector in each dimension $\hat{\theta}(k)$, such as

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \hat{\theta}(k) = \theta. \quad (6)$$

MSA can be easily extended to the problem of determining the parameters in stochastic systems in terms of consistent estimation (recursive identification).

Disadvantage of MSA – slow convergence of the estimates $\hat{\theta}(k)$ even if the variance $e(k)$ is significantly less variance $y(k)$.

Despite the slow convergence of the estimates, the algorithms of the

MSA due to its simplicity find application in practical problems of identification of linear and nonlinear models of objects with independent additive noise.

Acceptable estimation accuracy while using method is achieved in very large number of measurements. When small amounts of computing and noises of high intensity, all methods (except MSA) have the same quality of the estimates, therefore, give preference to the GLSM because it is simpler and other guarantees the convergence of the estimates. The advantage GLSM manifests itself in large volumes of measurements.

Robust method of estimation. Robust evaluation is the application of ideas of MLM in a situation when

the form or the parameters of the distribution, which is based on the method determined fully. Uncertainty distributions can be described with the introduction of a parameter that belongs to the set Ξ .

Then instead of the density that appears in the MLM, there is a conditional density $p(y|\tau, \xi)$. Solution to the problem is to select "the worst" in plural Ξ value ξ_* , parameter ξ_* and then use MLM based on density $p(y|\tau, \xi_*)$.

This idea has received recognition and development and is known as *robust estimation* or *stable of MLM* [12].

Maximum entropy method (Berg). Maximum entropy method of Berg [5, 10] refers to the category of parametric methods of spectral analysis. In such methods, in accordance the studied process is given always the a priori model of the spectral density and the problem of estimating model parameters based on the analysis of the studied time series.

In the method of Berg use variational principle to evaluate the quality of the model is searched for the process with maximum entropy or the process, the spectrum of which corresponds to the most random time series, and correlation function of this series have the best match to the given sequence.

Estimation of the spectral density in the method of Berg is equivalent to using autoregressive model of the first order with the input white noise. The Burg's method, perhaps, has the highest spectral resolution among all spectral methods.

Disadvantages of the method include absence of accurate information about values of amplitudes and phases of harmonics and the necessity of preliminary selection the parameter of the autoregressive order, because for large parameters, numerical greater than half the length of the row, this method can be unstable and, in particular, can occur in the splitting of the spectral components.

Note also that the method is not designed to work with simple harmonic signals.

Following algorithms for the estimation of the channels, based on using considered methods of identification.

Algorithm for estimating the parameters of the channel using precisely known (pilot) and unknown information symbols. Least squares estimator and the weighted average least squares error of the IX channel on test symbols has the form

$$\hat{\mathbf{h}}_{\text{MSDE}} = (\mathbf{X}_p^H \mathbf{W} \mathbf{X}_p)^{-1} \mathbf{X}_p^H \mathbf{W} \mathbf{y},$$

where \mathbf{X}_p^H – matrix of samples with pilot signal and the impulse response;

\mathbf{W} – matrix samples of the additive noise with mean zero and correlating matrix;

$$\mathbf{R}_w = E\{ww^H\},$$

\mathbf{X}_p - the matrix of samples with pilot signals.

Complexity of the estimation algorithm using pilot symbols is low, because the matrix

$$(\mathbf{X}_p^H \mathbf{W} \mathbf{X}_p)^{-1} \mathbf{X}_p^H \mathbf{W}$$

is known and can be calculated in advance and not in real time with any required precision.

In the absence of a priori information about transmitted symbols and assessment IX will always be null, so almost these methods can also be used only if an iterative algorithm of reception on all iterations except the first, as alternative to proposed below ML algorithm.

Advantage of considered estimation algorithm is that it does not require knowledge of the statistics of noise in any form.

Algorithms, which are discussed later, not have this property.

Standard deviation estimates (SDE) is handy feature. We know that from this point of view, the best estimation will be the minimum standard deviation of estimates (MSDE), which is the posterior mean. In the case when \mathbf{h} and \mathbf{y} in conjunction gaussi, it can be obtained as follows:

$$\hat{\mathbf{h}}_{\text{MSDE}} = (\mathbf{X}_p^H \mathbf{W} \mathbf{X}_p)^{-1} \mathbf{X}_p^H \mathbf{W} \mathbf{y} \quad (7)$$

where

$$\bar{\mathbf{h}} = E\{\mathbf{h}\},$$

$$\mathbf{R}_{hy} = E\{(\mathbf{h} - \bar{\mathbf{h}})(\mathbf{y} - E\{\mathbf{y}\})^H\}.$$

Methods of evaluation channels when iterating methods of signal processing at reception. ML estimator of vector counts IX. ML algorithm is an iterative method of maximum likelihood estimation is convenient in the case when the unknown associated parameters, for example, the information symbols [6-11].

Key idea of the ML algorithm lies in choice of the complete data set \mathbf{z} , to integration and the maximization could be easily carried out. The main property of this algorithm is that

$$p(y | \hat{\Theta}_{ML}^{(i+1)}) \geq p(y | \hat{\Theta}_{ML}^{(i)}),$$

that is likelihood function monotonically increases at each subsequent stage of the assessment.

In the General case, the ML algorithm converges to local maximum of the likelihood function $p(y | \Theta)$. Ability to reach the global maximum depends on the initial conditions.

Rate of convergence depends on the choice of the complete data set \mathbf{z} .

Main difficulty of the calculation is to use the a posteriori density function the probability distribution that imposes statistical dependence between iterations, and ultimately leads to the dependence of the magnitude of the displacement from the initial conditions.

Suboptimal algorithm for iterative estimation channel and information symbols based on ML algorithm. ML algorithm is based on using posterior information about the information symbols, and

therefore, its using in iterative procedures requires reinitialize after each evaluation cycle, \mathbf{h} , that is, the zeroing of "external" information of all modules is supplied via the feedback channels to the inputs of a priori information to all processing modules. This greatly increases the number of iterations and, as a consequence, the volume of the computational cost. If not to reinitialize algorithm of reception after each evaluation cycle, would be violated, turbo principles, and the estimation algorithm will not be ML algorithm.

However, this technique will lead to substantial reduction in computations, so this approach deserves attention.

Nesman linear estimation with minimum variance (NLE). This estimate is calculated as

$$\hat{\mathbf{h}}_{\text{NLE}} = \mathbf{A}\mathbf{y},$$

where the matrix \mathbf{A} is chosen such that the rating was nesman and SDE error of each element of the vector \mathbf{h} would be minimal in evaluation only using known test characters

$$\mathbf{A} = (\mathbf{X}_p^H \mathbf{R}_w^{-1} \mathbf{X}_p)^{-1} \mathbf{X}_p^H \mathbf{R}_w^{-1}.$$

When estimating using the information contained in the unknown information symbols

$$\begin{aligned} \mathbf{A} &= \\ &= \left(\mathbf{E}_x^{(e)} \{ \mathbf{X}^H \} \mathbf{R}_{\Sigma}^{-1} \mathbf{E}_x^{(e)} \{ \mathbf{X} \} \right)^{-1} \mathbf{E}_x^{(e)} \{ \mathbf{X}^H \} \mathbf{R}_{\Sigma}^{-1}, \end{aligned} \quad (8)$$

where

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_{\Sigma} &= \mathbf{R}_w + \\ &+ \mathbf{E}_x^{(e)} \{ \mathbf{X} \mathbf{h} \mathbf{h}^H \mathbf{X}^H \} - \mathbf{E}_x^{(e)} \{ \mathbf{X} \} \mathbf{h} \mathbf{h}^H \mathbf{E}_x^{(e)} \{ \mathbf{X}^H \}. \end{aligned} \quad (9)$$

As can be seen from the formula (9), to assess need to know \mathbf{h} . As \mathbf{h} can be used to preliminary estimate \mathbf{h} .

For example, obtained at the previous iteration, and in the first iteration, estimate obtained by using any of the methods that do not require priori information.

Unlike previous evaluation methods, this method requires priori information about the channel and knowledge of the statistics of noise (generally in the form of its correlation matrix \mathbf{R}_w).

Linear estimation in the minimum mean-square deviation (MMSD).

This assessment defined as

$$\hat{\mathbf{h}}_{\text{MMSD}} = \mathbf{A}\mathbf{y} + \mathbf{b}$$

where matrix \mathbf{A} and vector \mathbf{b} chosen so that the evaluation was nesman and should have the minimum error for each component of the vector \mathbf{h} .

If

$$E_{\mathbf{h}} \{ \mathbf{h} \} = \bar{\mathbf{h}}$$

and

$$E \{ (\mathbf{h} - \bar{\mathbf{h}})(\mathbf{h} - \bar{\mathbf{h}})^H \} = \mathbf{R}_{\mathbf{h}},$$

that

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{h}}_{\text{MMSD}} &= \bar{\mathbf{h}} + \mathbf{R}_{\mathbf{h}} \mathbf{E}_x^{(e)} \{ \mathbf{X}^H \} (E_{\mathbf{h}} \{ \mathbf{R}_{\Sigma} \} + \\ &+ \mathbf{E}_x^{(e)} \{ \mathbf{X} \} \mathbf{R}_{\mathbf{h}} \mathbf{E}_x^{(e)} \{ \mathbf{X}^H \ })^{-1} (\mathbf{y} - \mathbf{E}_x^{(e)} \{ \mathbf{X} \} \bar{\mathbf{h}}), \end{aligned} \quad (10)$$

accordingly

$$\begin{aligned} E_{\mathbf{h}} \{ \mathbf{R}_{\Sigma} \} &= \mathbf{R}_n + \\ &+ \mathbf{E}_x^{(e)} \{ \mathbf{X} \mathbf{R}_{\mathbf{h}} \mathbf{X}^H \} - E \{ \mathbf{X} \} \mathbf{R}_{\mathbf{h}} E \{ \mathbf{X}^H \ } + \\ &+ E \{ \mathbf{X} \bar{\mathbf{h}} \mathbf{h}^H \mathbf{X}^H \} - \mathbf{E}_x^{(e)} \{ \mathbf{X} \} \bar{\mathbf{h}} \mathbf{h}^H \mathbf{E}_x^{(e)} \{ \mathbf{X}^H \ }. \end{aligned} \quad (11)$$

Unlike NLE score (11) in the absence of information on the information symbols, that is, when $E \{ \mathbf{X} \} = 0$.

In the same way as in the case of NLE, this estimation may use the available a priori information on the channel (keeping performance in case of its absence), and requires knowledge of the statistics of the noise (in the General case, the correlation matrix of the noise \mathbf{R}_w).

Conclusion

Thus it is possible to draw the following conclusions:

1. If sufficient a priori information about the transmitted information symbols the best results according to the criterion of the ratio of the estimation accuracy and the complexity of the algorithm demonstrates linear estimation in the minimum SDE.

2. In the absence of sufficient a priori information about the transmitted symbols is not the best offset option estimates the minimum least squares.

3. To improve the accuracy of estimation of transmission channel characteristics of air defense systems in a complex electronic environment, it is advisable to use iteration principles.

Directions for further research will be focused on the development of a combined evaluation method of the channel state of air defense systems in electronic environment complex.

REFERENCES

1. Semenov, A.D., Artamonov, D.V. and Bruhachev, A.V. (2003), *Identification of objects of management*, Textbook, Publishing House Penz. state University, Penz, 211 p.
2. Zipkin, Y.Z. (1995), *Information theory of identification*, Science MathLit, Moscow, 336 p.
3. Grop, D. (1979), *Methods of identification systems*, Publishing house World, Moscow, 301 p.
4. Rao, S.R. (1968), *Linear statistical methods and their application*, Science, Moscow, 548 p.

5. Nechaev, U.B. and Malutin, A.A. (2009), "Estimation of parameters .multipath communication channel with iterative reception algorithms", *Theory and technique of radiocommunication*, Release 2, pp. 35-43.
6. Uotkins, D. (2006), *Fundamentals of matrix computations*, Binom, Moscow, 664 p.
7. Gutkin, L.S. (1986), *Optimization of electronic devices on the basis of indicators of quality*, Radio, Moscow, 368 p.
8. Andersen, T. (1976), *Statistical analysis of time series*, World, Moscow, 756 p.
9. Brilindger, D. (1980), *Time series*, Mir, Moscow, 536 p.
10. Savaragi, E., Soeda, T. and Nakimozu, T. (1983), "Classical" methods and the estimation of the time series, World, Moscow.
11. Burg, J.P. (1975), *Maximum Entropy Spectral Analysis*, Ph.D. Dissertation, Department of Geophysics, Stanford University, Stanford.
12. Savchenko, V.V. (1996), "Detection and prediction of change of a random process based on spectral estimation", *Avtometria*, No. 2, pp. 77-84.

Надійшла (received) 23.04.2017
Прийнята до друку (accepted for publication) 10.10.2017

Аналіз методів оцінки каналів комплексів протиповітряної оборони

Р.М. Животовський, С.М. Петрук

Предметом вивчення в статті є методи оцінки стану каналів комплексів протиповітряної обстановки, що функціонують в складній радіоелектронній обстановці. До зазначених методів, що були розглянуті в статті відносяться: метод найменших квадратів, метод середньоквадратичного відхилення, методи оцінювання каналів при ітеративних способах обробки сигналу на прийомі, субоптимальні алгоритми ітераційного оцінювання каналу та інформаційних символів на основі методу максимальної правдоподібності, методи лінійної несміщеності оцінки з мінімальною дисперсією та методи лінійного оцінювання за мінімумом середньоквадратичного відхилення. **Метою** дослідження є проведення аналізу існуючих методів оцінювання стану каналів комплексів протиповітряної оборони в умовах радіоелектронного подавлення та багатопроменевого поширення радіохвиль. Завдання, що вирішувалися в дослідженні були: математичний опис відомих методів оцінювання стану каналів та розробка рекомендацій щодо синтезу оптимальних методів оцінювання стану каналів. Використовуваними методами в дослідженні є: теорія зв'язку, теорія завадозахищеності та радіоелектронної боротьби. В ході дослідження отримані рекомендації щодо синтезу оптимальних методів оцінювання стану каналів в умовах впливу навмисних завад. **Висновки.** При наявності достатньої априорної інформації про передаванні інформаційні символи кращі результати за критерієм співвідношення точності оцінки і складності реалізації демонструє алгоритм лінійного оцінювання за мінімумом середньоквадратичного відхилення. За відсутності достатньої априорної інформації про передаванні символи кращим є несміщений варіант оцінки за мінімумом найменших квадратів. Для підвищення точності оцінювання передаточної характеристики каналів комплексів протиповітряної оборони в умовах складної радіоелектронної обстановки доцільно використовувати ітеративні принципи.

Ключові слова: радіоелектронна обстановка; навмисні завади; протиповітряна оборона; методи аналізу.

Анализ методов оценки каналов комплексов противовоздушной обороны

Р.Н. Животовский, С.Н. Петрук

Предметом изучения в статье есть методы оценки состояния каналов комплексов противовоздушной обстановки, функционирующих в сложной радиоэлектронной обстановке. К указанным методам, которые были рассмотрены в статье относятся: метод наименьших квадратов, метод среднеквадратичного отклонения, методы оценки каналов при итеративных способах обработки сигнала на приеме, субоптимальные алгоритмы итерационного оценивания канала и информационных символов на основе метода максимального правдоподобия, методы линейной несмешенной оценки с минимальной дисперсией и методы линейного оценивания по минимуму среднеквадратичного отклонения. **Целью** исследования является проведение анализа существующих методов оценки состояния каналов комплексов противовоздушной обороны в условиях радиоэлектронного подавления и многолучевого распространения радиоволн. Задачи, которые решались в исследовании были: математическое описание известных методов оценки состояния каналов и разработка рекомендаций по синтезу оптимальных методов оценки состояния каналов. Используемыми методами в исследовании являются: теория связи, теория помехозащищенности и радиоэлектронной борьбы. В ходе исследования получены рекомендации по синтезу оптимальных методов оценки состояния каналов в условиях воздействия преднамеренных помех. **Выходы.** При наличии достаточного априорной информации о передаче информационные символы лучшие результаты по критерию соотношения точности оценки и сложности реализации демонстрирует алгоритм линейного оценивания по минимуму среднеквадратичного отклонения. При отсутствии достаточной априорной информации о передаче символы предпочтительным является несмешенной вариант оценки по минимуму наименьших квадратов. Для повышения точности оценки передаточной характеристики каналов комплексов противовоздушной обороны в условиях сложной радиоэлектронной обстановки целесообразно использовать итеративные принципы.

Ключевые слова: радиоэлектронная обстановка; умышленные помехи; противовоздушная оборона; методы анализа.

A. Serkov¹, V. Breslavets¹, M. Tolkachov¹, G. Churyumov², Issam Saad¹

¹National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

²Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

NOISE-LIKE SIGNALS IN WIRELESS INFORMATION TRANSMISSION SYSTEMS

The **subject matter** is analysis and evaluation of efficiency of noise-like signals in wireless information transmission systems. The **aim** is quality of service improvement for mobile subscribers, due to communication channel multiplexing using complex signal-code structures. The **objective** is development of a systemic view of the technology of information transmission using ultra-short pulse signals focusing on main phenomena that arise at different stages of signal transmission in a wireless information transmission system. The **methods** use dare sequential analysis, simulation modeling and digital signal coding. The following **results** have been obtained. An antenna design featuring an expanding slit has been proposed for effective emission and reception of noise-like signals. A method for controlling radiation pattern of such antenna array has been developed. Gaussian Monocycle coding of information with time position-pulse modulation has been justified to be used as a noise-like signal. It has been shown that for the organization of independent channels in one frequency band, it is practical to use a system of orthogonal codes, e.g. Walsh sequence. Due to accumulation of pulses of a useful information signal in the receiver correlator, significant increase in signal-to-noise ratio becomes possible, which enables information transmission over a wide frequency range well below the noise level. As a result, a systematic understanding of the technology of information transmission using ultra-short pulse signals in wireless information transmission systems is developed and a quantitative evaluation of the efficiency of the proposed technical solutions is provided. **Conclusion.** The use of noise-like signals in wireless information transmission systems provides for high data transmission rates with high interference immunity and tapping protection communication channel. The ability to operate with low emitted power and the high penetrability of noise-like signals through various obstacles, for example, walls, allow meeting the requirements for electromagnetic compatibility and ensuring stable communication in conditions of multipath propagation of radio waves. These circumstances form the basis for the development and implementation of information transfer technology using noise-like signals when designing office networks.

Keywords: noise-like signal; wireless information transmission system; time position-pulse modulation; orthogonal coding; electromagnetic compatibility.

Introduction

The first practical experiments in wireless information transmission, conducted by A.S. Popov and G. Marconi, showed the possibility of signal transmission at a distance of tens of kilometers. Information was carried with electromagnetic pulses that occur during a spark discharge. It should be noted that information is an ordered set of fixed symbols (pulses) of arbitrary nature [1, 2].

The development of information transfer technologies would have proceeded in the direction of improving and developing pulse information transfer systems but a mathematical apparatus of harmonic analysis, introduced at that time, laid a foundation of a communication theory based on sinusoidal functions, which gave a powerful impetus to the development of this realm. However, treating information systems in terms of harmonic oscillations gradually accumulated a set of problems, and that stimulated transition to noise-like (pulse) signals in wireless information transmission systems (WITS). H. Harmuth showed [3–5] that harmonic signals in WITS are a particular case of non-sinusoidal oscillations, and that Sequential Analysis Theory being applied here allows avoiding many of the problems that arise from usage of Harmonic Analysis methods [4].

Practical implementations of WITS devices have proved this theory adequate [5]. This approach was further developed by American scientists D. Ross, K. Robbins and L. Fullerton (Fig. 1). The latter has coined

the term "pulse radio" and founded Time Domain Corp., which has successfully worked in this field since 1987.

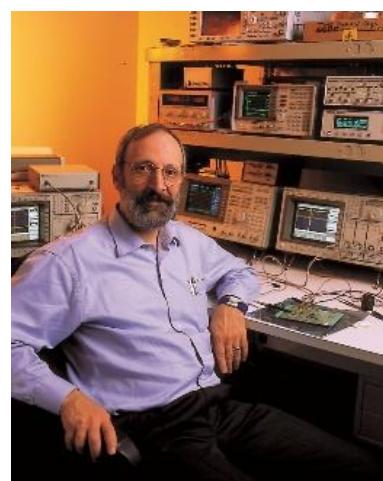


Fig. 1. Larry Fullerton

Wireless information transmission systems work with large streams of diverse information, providing a high-quality exchange of information among subscribers. However, further increase in the number of wireless devices typically connected to a WITS imposes stricter requirements upon the information transmission medium, which leads to communication channel multiplexing using complex signal-code patterns. Depending on the correlation properties of coded information signals, a code division of the channels is

used, and each channel is assigned a specific waveform serving as a distinctive feature of the channel.

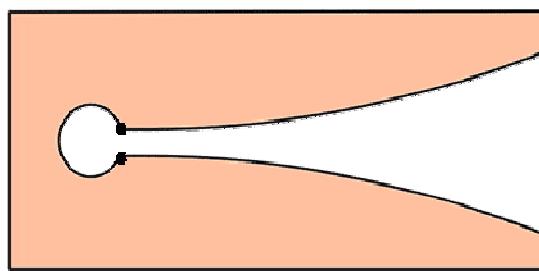
The use of noise-like signals (NLS) improves the information transmission speed as well as secrecy and reliability of mobile communication channels. Moreover, the use of NLS in wireless communication systems provides for simultaneous high-quality joint operation of a large number of devices. The implementation of such joint operation is currently an actual and complex task.

The analysis of the problem and formulation of the task

According to the definition provided by L. Astanin [6], in noise-like signals, spectral width is commensurable with central frequency. In broadband transmission, relatively narrowband information signals with an effectively transmitted spectral width Δf are deliberately converted to wideband signals with effectively transmitted spectral width ΔF , preserving the level of total signal energy E . Spectral energy density of the channel signal is deliberately reduced $\Delta F/\Delta f$ times, which results in value of $\Delta E/\Delta F$, while the channel signal base rises $\Delta F/\Delta f$ times. The basis of the ultra-short pulse (i.e. NLS) is equal to a product of the signal duration by its spectrum width:

$$B = \Delta t \cdot \Delta F \approx 1,$$

where Δt is the pulse duration, and ΔF is the pulse power spectrum width.



Thus, direct expansion of the frequency spectrum is the simplest and the most convenient method to expand the signal base. E.g. using a Gaussian monocycle with a duration Δt ranging from 2.0 ns to 0.1 ns as a coding pulse results in the bandwidth of power spectrum from 500 MHz to 10 GHz, respectively; while the signal spectrum occupies the entire frequency band from 0 to $\Delta F \approx 1/\Delta t$. To encode a symbol of information not a single ultra-short pulse but a sequence of them is used, and the signal base increases in proportion to the number of pulses.

Radiating a broadband signal's electromagnetic wave to free space imposes restrictions on the design of antenna devices used. For organization of WITS that utilize noise-like signals, the characteristics of the generators, radiators and receivers have to be optimized for the nature of the signals.

Task solution

Antenna e. The analysis [7] of the design of antenna array elements for emission of ultra-short pulses reveals that the best results are obtained with Tapered Slot Antenna (TSA) also known as Vivaldi Antenna, which is an antenna with an expanding slit. A TSA is fed with a signal from a short pulse generator [7]. These antennae are of complex shape, so we used a 3D electrodynamic simulation software package to study their characteristics. TSA size/shape optimization performed with the software results in a variety of shapes and proportions, depending on the specific task (Fig. 2).

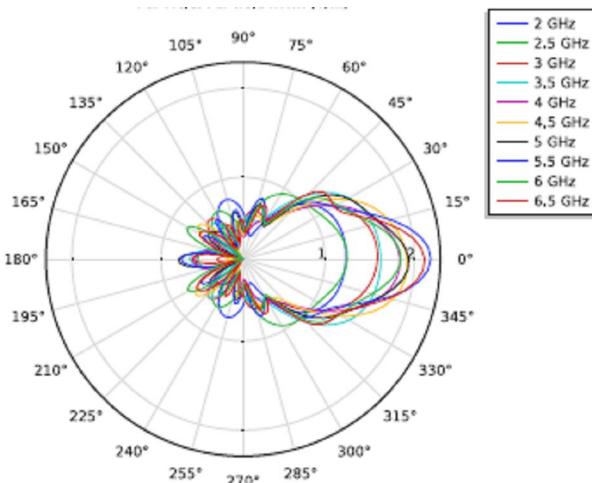


Fig. 2. The design of TSA and radiation patterns of the antenna for frequencies of 2.0–6.5 GHz

Antenna width limits the lower radiation frequency, as in the case of a dipole, while antenna length determines the gain in the middle and at the upper edge of the band, like with log-periodic or horn antennae. The shape of the open slit determines the frequency band as with log-periodic antennae. The shape of the slit can be different, but the widest band is obtained with exponential (for example, $e^{0.044x}$) increase in the slit width. The dimensions and the shape of the hole affect the matching at the bottom of the frequency band. A TSA is usually produced with conductors printed on fiberglass. The influence of the dielectric somewhat lowers the frequency and the input

resistance, but the latter remains well above 50 Ohms: 140 – 160 Ohm, depending on the fiberglass thickness. A distinctive feature of phased antenna arrays using TSAs as their basic element is the significant expansion of the frequency band of electromagnetic radiation, which is important for the usage of the arrays in wideband WITS. In this case, we also get excess values of frequency and gain. The energy radiation pattern of such pulsed antenna array is characterized by a narrow main beam and practically no side lobes.

Thus, considering their bandwidth, gain and beam characteristics, antenna arrays consisting of TSA elements are the most suitable for usage in WITS.

Besides, as it was shown in [8], the direction of the maximum of the radiation diagram can be changed through changing the shape of the pulse current/voltage feeding the transmitting antenna (Fig. 3). The radiation diagram pattern control is based on the properties of pulse waveforms and utilizes changes in the energy spectrum of the signal depending on the receiving direction. This property can be used to control antenna radiation diagram pattern when aligning the maximum directions of transmitting and receiving antennae of a WITS. Using changes in the shape of the pulse wave, we can automate beam control.

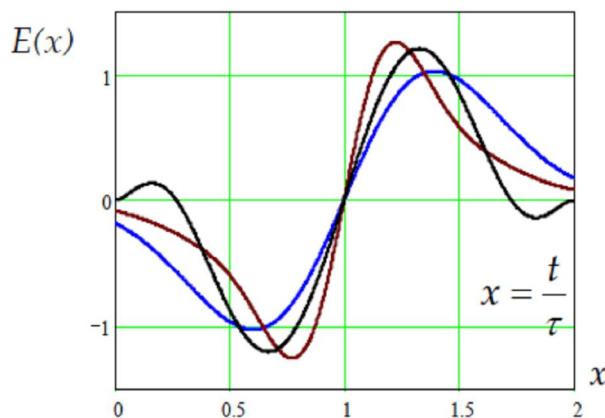


Fig. 3. Signal forms for changing the direction of radiation

Generation. One of the most important elements in implementation of a WITS basing on noise-like signals consists in powerful pulse keys. Their commutation front duration must be about 10–100 ps with a megahertz repetition rate and a very high stability during about 10 ps. In this case, the commutated voltage is measured in hundreds and thousands volts.

Since radiation of an antenna electromagnetic wave to free space is formed at the moment of a sharp drop in the voltage pulse front, it becomes necessary to generate pulses with the highest possible slew rate. High-speed circuit breaking switches can be constructed from drift step recovery diodes as it was first demonstrated at Ioffe Institute [9]. Such diodes can switch voltages up to 1800 V. A pulse of such amplitude corresponds to current of 36 A. Thus with such diodes, it is possible to form ultra-short voltage pulses with 2–4 V/ps rising front rate. A typical pulse shape of an ultra-short voltage pulse generator (UVPG) is shown in Fig. 4 [7].

A family of electric pulse generators has been developed based on short pulse power keys proposed by the group of A. Kardo-Sysoev (see Table 1 for their technical characteristics).

It should also be noted that the developed generators have almost unlimited service life, which makes them an ideal basis for development of powerful ultra-wideband transmitters.

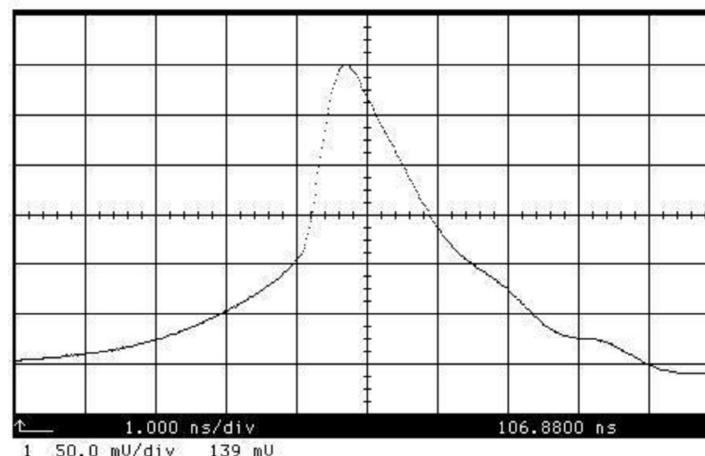


Fig. 4. Typical pulse shape of the UVPG generator

Particular properties of noise-like signal applications. Usually, noise-like signals have the form of idealized Gaussian Monocycles with radiation spectrum mainly in the range from 1 to 7 GHz. The pulse duration ranges from 200 picoseconds to a nanosecond, and the pulse repetition intervals range from 10 to 1000 ns. An average pulse repetition period determines the information transmission rate. Therefore, at a pulse repetition period of 10 ns the maximum transmission rate is 100 Mbit/s.

The need to increase the performance of WITS forces us to use complex signals that can significantly improve the quality of information transmission. Obtaining high information transfer rates can be possible with ultra-dense communication channel

design using complex signal-code structures for information transfer. Such channels provide data transfer rates close to communication channel bandwidths.

However, a regular sequence of such pulses does not carry any information. Therefore, one information bit is encoded by a sequence of many pulses, e.g. 200 pulses per bit. Information is encoded using Pulse Position Modulation (PPM) when the information parameter of an information bit consist in time positions of the leading edges of the 200 pulses representing the bit.

The position of each of the coding pulses varies in time in respect to positions of periodic reference pulses. Forward displacement of the pulse relative to its nominal position in the sequence denotes '0',

backward – ‘1’. The magnitude of the displacement should not exceed a quarter of the pulse duration. For example, in a sequence of pulses with 0.5 ns duration

and 100 ns intermittent interval a pulse that came 100 ps earlier denotes ‘zero’, and the one coming 100 ps later denotes ‘one’.

Table 1. Generators of ultra-wideband pulses

Model	Rise time, ns.	Pulse Width, ns.	Amplitude, V	Repetition Rate, MHz
HFPG-1-0,5	< 0,7	< 2	500	2(3)
HFPG-1-2,5	< 0,7	< 2	2500	(2)
HFPG-1-5	< 0,7	< 2	5000	(0,5)
HFPG-5-0,05	< 0,14	< 0,3	50	10(20)
HFPG-7-0,15	< 0,3	< 0,7	150	10(20)
HFPG-7-0,5	< 0,3	< 0,7	500	2
HFPG-7-1	< 0,3	< 0,7	1000	1
HFPG-4-0,5	< 0,1	< 0,5	500	(0,2)
HFPG-4-1-10	< 0,1	< 0,25	1100	0,01
HFPG-4-1-50	< 0,1	< 0,25	1100	0,05

For organization of several independent channels within a single frequency band with smoothing spectral characteristics and protection from interference, the position of each information bit is shifted by time proportional to a current value of some pseudo-random sequence. The shift time is one or two orders of magnitude higher than the offset at PPM modulation. Using a system of orthogonal codes to control time delays, e.g. Walsh Sequence, up to a thousand independent communication channels can be created within one band without using special algorithms for digital signal processing. Thus, all the channels occupy a single wide frequency range, and the signal spectrum is substantially smoothed out and becomes noise-like. Due to the broadband signal, its power is reduced, even below the white noise level – in case of very long base.

To select a signal that is intended for this receiver from the total mass of radio signals, a separate numerical code assigned to each user can be applied. All other signals would be regarded as noise.

AWITS receiver is a direct gain receiver and a correlator. Being synchronized with the transmitter and knowing the law of generation of the pseudo-random sequence of pulses in time, the receiver synchronously generates a sequence of reference pulses for the correlator. The correlator determines the coincidence of the reference and received pulses, setting the output to +1, if the signal comes e.g. 100 ps before the end of the inter-pulse interval, -1 – if 100 ps after and 0 – in all other cases. These values are accumulated in an integrator. As a result, narrowband interference from a continuous carrier transmitter or a signal from another pulse transmitter can impede correct receiving of individual pulses, not the information bit as a whole. The value accumulated at the correlator from random interference would be zero. This allows avoiding signal interference that may occur when organizing communication within buildings or on complex terrain. The reflected signal enters the correlator with a delay and the correlator interprets it as a random interference

without affecting the direct signal anyhow. Estimation of noise tolerance can be done using the concept of processing gain. In spread spectrum systems, processing gain is defined as the ratio of channel bandwidth to information signal bandwidth. Thus, for spreading-spectrum systems using direct sequence method with channel bandwidth of 5 MHz and information signal bandwidth of 10 kHz, the gain would be 27 dB. For the same signal transmitted through a 2 GHz bandwidth, the gain would be 53 dB. So due to the high effective amplification of signals in noise-like systems, they can operate at very low average transmitter power (50 µW - 2 mW). Therefore, they do not interfere with existing radio engineering systems using the same frequency band.

Due to the broadband character of the signal, its attenuation in various media is insignificant. Short pulses easily pass through various obstacles, since signal suppression does not occur throughout the entire band. Due to different paths of propagation of radio waves (multipath propagation), interference of signals occurs, which creates a complex electromagnetic situation at the receiver site. A digitally coded signal comes in the form of several copies shifted in time. However, if the difference in the shift is greater than chip duration then the receiver synchronizes with the most powerful component of the received signal discarding the other.

Thus, the resistance to multipath propagation of the WITS signals is ensured.

Analysis

It should be noted that while average power of emitted pulses is relatively small, the magnitude of the electric component of the electromagnetic field reaches very high values. This increases the likelihood of a malfunction and possible failure of ambient radio electronic equipment. The studies of resistance of radio electronic equipment to the impact of ultra-short voltage pulses (UVP) performed by K. Sakharov's school [11-

15] determined the maximum permissible levels of pulsed electromagnetic fields that guarantee uninterrupted operation of the equipment. These levels are different for different radioelectronic systems and depend also on the repetition rate of the pulses. E.g. the maximum allowable intensity of the electric component of an electromagnetic field generated by a UVP ranges from 2 kV/m for 1 MHz repetition rate to 300 kV/m – for 1 KHz. The analysis and generalization of experimental results revealed that at a 10 MHz repetition rate of UVP (100 ns repetition period) the intensity of the electric component of the electromagnetic field of the UVP would not exceed 300 V/m.

This limitation can be met in practice using a UVP generator out of the family of generators developed by A. Kardo-Sysoev's group [10]. HFPG-5-0,05 or HFPG-7-0,15 models with 0.14–0.3 ns rise time, 0.3–0.7 ns pulse duration and 50–150 V amplitude, ensuring temporal stability of pulse positions in order of 10 ps are the most suitable for the task.

Conclusions

The usage of noise-like signals in the WITS allows obtaining a number of advantages that cannot be achieved with traditional methods. It concerns, in particular, improving the quality of service for mobile communication, such as the increase in the number of subscribers served simultaneously. Communication channel bandwidth expansion and transition to ultra-wideband channels leads to practically unlimited increase in the number of communication channels. Pre-allocating signals, their frequencies and modulation types to subscribers, we can implement inter-subscriber

communication without mutual listening-in and interference.

The most important criterion characterizing the efficiency of wireless communication systems is the high potential unit density of data transmission. It is defined as the amount of achievable total data transfer rate per square meter of the working area and now this value is about 1 Mbit/s/m².

The use of short pulses prevents inter-signal distortion since the energy of the received pulse usually has time to die out completely until the next one arrives. This also reduces the level of distortion of information signals caused by its multipath propagation. Therefore, low power noise-like systems are able to transmit data inside buildings with complex architecture.

A characteristic feature inherent to communication systems based on noise-like signals is the low probability of either detection of a fact of temporary establishment of a communication channel or unauthorized access to the information transmitted through the channel. Moreover, in this case, mobile operators do not need to obtain additional band licenses and use already occupied radio frequency bands.

Simultaneous joint interference-free operation in the same frequency band for either traditional narrowband communication systems or communication systems with noise-like signals is possible because the level of the information signal does not exceed the noise level in the band of operation. At the same time, the reduction in the power and the level of electromagnetic field radiation makes it possible to ensure compliance with the requirements of electromagnetic compatibility at all stages of development and implementation of mobile communication systems.

REFERENCES

1. Serkov, A.A. and Logvinenko, N.F. (2009), "Development of Approaches to Creating the Theory of the Value of Information", *Bulletin of NTU "KhPI". Themes. Vyp.: Informatics and Modelling*, NTU "KhPI", Kharkiv, No. 2, pp. 18-24.
2. Shannon, K. (1963), *Works on Information Theory and Cybernetics*, Nauka, Moscow, 830 p.
3. Harmuth, H.F. (1969), *Transmission of Information by Orthogonal Functions*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 269 p.
4. Harmuth, H.F. (1980), *Sequency Theory: Foundations and Applications*, Academic Press, New York, 575 p.
5. Harmuth, H.F. (1981), *Non sinusoidal Waves for Radar and Radio Communication*, Academic Press, New York, London, Toronto, Sydney, San Francisco, 376 p.
6. Varganov, M.E., Zinoviev, Yu.S. and Astanin, L.Yu. (1985), *Radioactive Characteristics of Aircraft*, Radio and Communication, Moscow, 230 p.
7. Kochetov, A.V. (2013), "Element of the antenna array for the emission of powerful ultrashort pulses", Collection of proceedings of the IV All-Russian scientific conference "Ultra-wideband signals in radar, communications and acoustics", pp. 211-215.
8. Shostko, I.S. (2011), "Methods of forming a directional pattern in ultra-wideband antenna arrays for wireless access points", *Problems of telecommunications*, No. 1 (3), pp. 52-61, available at : <http://pt.journal.kh.ua> (last accessed March 15, 2017).
9. Smirnov, A.A, Ivanov, B.V, Cardo-Sysoev, A.F. and Shevchenko, S.A. (2015), "Investigation of the process of formation of subnanosecond voltage drops by carbide-silicon drift diodes with a sharp recovery", *NAUKOVODENIE*, Vol. 7, No. 4, available at : <http://naukovedenie.ru/PDF/141TVN415.pdf> (last accessed March 15, 2017), DOI : 10.15862/141TVN415.
10. Shakhnovich, I.V. (2001), "Ultra-wideband Communication. Second Birth?", *Electronics Science Technology Business*, No. 4, pp. 8-15.
11. Sakharov, K.Yu. (2006), *Emitters of ultrashort electromagnetic pulses and methods for measuring their parameters*, Publishing house of MIEM, Moscow, 159 p.
12. Mikhailov, K.A., Sakharov, K.Yu. and Turkin, V.A. (2008), "Evaluation of the durability of on-board computers in conditions of ultrashort electromagnetic fields influence", *EMC Technologies*, No. 4, pp. 12-19.
13. Sakharov, K.Yu., Yankovsky, B.D. and Edlin, M.Yu. (2009), "Influence of ultrashort electromagnetic pulses on the execution of information function of digital devices with non-volatile memory", *EMC Technologies*, No. 3, pp. 47-54.

14. Akbashev, B.B., Batonov, N.M., Sakharov, K.Yu. and Turkin, V.A. (2011), "Stability of video surveillance systems to the effect of powerful ultrashort electromagnetic pulses", *EMC Technologies*, No. 2 (37), pp. 24-29.
15. Akbashev, B.B., Batonov, N.M., Sakharov, K.Yu. and Turkin, V.A. (2011), "Experimental studies of the operation of devices of a standard integrated security system under the influence of ultra short electromagnetic fields", *EMC Technologies*, No. 2 (37), pp. 30-36.

Received (Надійшла) 11.06.2017
Accepted for publication (Прийнята до друку) 19.09.2017

Шумоподібні сигнали у безпроводових системах передачі інформації

О.А. Серков, В.С.Бреславець, М.Ю. Толкачов, Г.І. Чурюмов, Іссам Саад

Предметом вивчення є процеси аналізу та оцінки ефективності використання шумоподібних сигналів в безпроводових системах передачі інформації. **Мета** – підвищення показників якості обслуговування абонентів мобільного зв'язку шляхом ущільнення каналів зв'язку за рахунок застосування складних сигнально-кодових конструкцій. **Завдання:** формування системного уявлення щодо технології передачі інформації надкороткими імпульсними сигналами із виділенням основних особливостей, які виникають на різних етапах проходження сигналів у безпроводній системі передачі інформації. **Методами**, що використовувались, є такі: секвентний аналіз, методи імітаційного моделювання та цифрового кодування сигналів. Отримані такі **результати**. Для ефективного випромінювання та прийому шумоподібних сигналів запропонована конструкція антени із щілиною, яка розширяється. Запропоновано метод керування діаграмою спрямованості цієї антенної решітки. Обґрунтовано використання у якості шумоподібного сигналу гаусівського моноциклику із кодуванням інформації за допомогою часової позиційно-імпульсної модуляції. Показано, що для організації незалежних каналів в одній смузі частот доцільно використовувати систему ортогональних кодів, наприклад, послідовність Уолша. Накопичені у кореляторі приймача імпульси корисного сигналу дають можливість суттєво підвищити співвідношення сигнал / шум, забезпечуючи цим можливість передачі інформації у широкому частотному діапазоні значно нижче рівня шуму. В результаті сформовано системне уявлення про технологію передачі інформації надкороткими імпульсами у безпроводових системах передачі інформації. Також проведені кількісні та якісні оцінки ефективності запропонованих технічних рішень. **Висновки.** Використання шумоподібних сигналів у безпроводових системах передачі інформації дозволяє забезпечити велике швидкості передачі інформації з одночасною високою завадозахищеністю та захистом його від перехоплення. Можливість працювати із малою потужністю випромінювання та висока проникливість шумоподібних сигналів крізь будь-які перешкоди, наприклад, стіни, дозволяють виконати вимоги щодо електромагнітної сумісності та забезпечити стійкий зв'язок в умовах багатопроміневого розповсюдження радіохвиль. Ці обставини створюють підґрунт для розвитку та впровадження технології передачі інформації із застосуванням шумоподібних сигналів при створенні офісних мереж.

Ключові слова: шумоподібний сигнал; безпроводова система передачі інформації; часова позиційно-імпульсна модуляція; ортогональне кодування; електромагнітна сумісність.

Шумоподобные сигналы в беспроводных системах передачи информации

А.А. Серков, В.С. Бреславец, М.Ю. Толкачов, Г.И. Чурюмов, Иссам М. Саад

Предметом изучения являются процессы анализа и оценки эффективности использования шумоподобных сигналов в беспроводных системах передачи информации. **Цель** – повышения показателей качества обслуживания абонентов мобильной связи путем уплотнения каналов связи за счет применения сложных сигнально-кодовых конструкций. **Задача:** формирование системного представления о технологии передачи информации сверхкороткими импульсными сигналами с выделением основных особенностей, возникающих на различных этапах прохождения сигналов в беспроводной системе передачи информации. Используемыми **методами** являются: секвентный анализ, методы имитационного моделирования и цифрового кодирования сигналов. Получены следующие **результаты**. Для эффективного излучения и приема шумоподобных сигналов предложена конструкция антенны с расширяющейся щелью. Предложен метод управления диаграммой направленности этой антенной решетки. Обосновано использование в качестве шумоподобного сигнала гауссовского моноцикла с кодированием информации посредством временной позиционно-импульсной модуляции. Показано, что для организации независимых каналов в одной полосе частот целесообразно применять систему ортогональных кодов, например, последовательность Уолша. Накопленные в корреляторе приемника импульсы полезного информационного сигнала дают возможность существенно повысить соотношение сигнал/шум, обеспечивая возможность передачи информации в широком частотном диапазоне значительно ниже уровня шума. В результате сформировано системное представление о технологии передачи информации сверхкороткими импульсными сигналами в беспроводных системах передачи информации и проведена количественные и качественные оценки эффективности предлагаемых технических решений. **Выводы.** Использование шумоподобных сигналов в беспроводных системах передачи информации позволяет обеспечить большие скорости передачи информации при высокой помехозащищенности канала связи и защиты его от перехвата. Возможность работы с малой излучаемой мощностью и высокая проникающая способность шумоподобных сигналов через различные препятствия, например, стены, позволяют выполнить требования по электромагнитной совместимости и обеспечить устойчивую связь в условиях многолучевого распространения радиоволн. Эти обстоятельства создают основу для развития и внедрения технологии передачи информации с использованием шумоподобных сигналов при создании офисных сетей.

Ключевые слова: шумоподобный сигнал; беспроводная система передачи информации; временная позиционно-импульсная модуляция; ортогональное кодирование; электромагнитная совместимость.

Intelligent information systems

УДК 004.891.2 : 528.854

doi: 10.20998/2522-9052.2017.2.07

Н. Ю. Любченко, А. О. Подорожняк, В. К. Бондарчук

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

НЕЙРОМЕРЕЖЕВИЙ МЕТОД ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ОБРОБКИ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Предметом вивчення в статті є нейромережеві методи розпізнавання об'єктів на мультиспектральних даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). **Мета** – забезпечення автоматичного розпізнавання об'єктів незаконного використання природних ресурсів на мультиспектральних зображеннях ДЗЗ. **Задача** – формулювання методу інтелектуальної обробки даних ДЗЗ, який реалізує автоматичне розпізнавання об'єктів незаконного використання природних ресурсів на мультиспектральних зображеннях ДЗЗ за допомогою згорткової нейронної мережі. Аналіз проблем методів та алгоритмів обробки мультиспектральних аерокосмічних зображень показав, що найбільш перспективно використовувати гнучкі алгоритми, які пристосовані до зміни умов спостереження об'єктів пошуку. Однією з перспективних технологій реалізації таких алгоритмів є застосування нейронних мереж. Вибір згорткових нейронних мереж для вирішення задачі розпізнавання пов'язаний із здатністю даних мереж, за умови коректного навчання, до розпізнавання об'єктів в складних умовах спостереження та при деформації об'єкта, що спостерігається. **Висновки:** Запропоновано нейромережевий метод інтелектуальної обробки мультиспектральних зображень. Розглянуто алгоритм побудови даної мережі, обрано практичну область застосування запропонованого методу і показані результати роботи його програмної реалізації. Отримані результати дозволили зробити висновок про працевздатність запропонованого алгоритму та є підґрунттям для подальших досліджень з розробки та реалізації алгоритмів обробки мультиспектральних знімків у системах дистанційного зондування землі.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі; обробка зображень; нейромережа; згорткова нейронна мережа; мультиспектральні зображення.

Вступ

На даний момент у світі у зв'язку із розвитком інформаційних технологій та їх поширенням на всі сфери людської діяльності великим темпами збільшується об'єм та якість інформації, що викликає потребу у засобах та методах які дозволяють аналізувати її більш якісно та з меншими затратами на їх імплементацію.

Якщо ж говорити дані про навколошнє середовище, в глобальних масштабах (планета, країна, регіон тощо) то одним із найефективніших засобів їх отримання – використання даних систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) [1]. Данна технологія базується на спостереженні поверхні землі із борту космічного апарату (КА) та отримані зображені поверхні Землі у різних діапазонах електромагнітних хвиль і наступному їх аналізі та інтерпретації в залежності від поставлених задач. Однією із таких задач є екологічний моніторинг регіонів, в яких існує проблема незаконного використання природних ресурсів. Для боротьби із незаконними промисловими добуванням бурштину на території нашої держави насамперед необхідно забезпечити оперативний пошук цих промислів, наразі одним із найефективніших способів їх знаходження є аеророзвідка з використанням гвинтокрилів, проте кожен з вилетів є досить коштовним [2]. Оскільки через велику площину території, класичні методи моніторингу не дозволяють оперативно отримувати інформацію про

великі площини, проте через велику кількість даних отриманих із КА необхідна розробка методу, який дозволяє автоматизувати аналіз даних ДЗЗ.

Одним із шляхів вирішення даної проблеми є використання методів машинного навчання, насамперед нейронних мереж.

Аналіз проблеми та постановка задачі

На даний момент розроблено та розроблюється велика кількість методів та алгоритмів обробки мультиспектральних аерокосмічних зображень [3], які можна поділити на дві великі групи: класичні алгоритми, для яких жорстко формулюється класифікатор та алгоритм класифікації, і гнучкі алгоритми, які пристосовані до зміни умов спостереження об'єктів пошуку. Алгоритми першої групи мають дуже вузьку область застосування, насамперед через важкість коректного налаштування класифікатора під кожну наявну задачу. Для подолання цих недоліків використовуються гнучкі алгоритми, серед яких в останній час все більшого застосування набувають нейронні мережі [4, 5].

Теорія нейронних мереж була сформульована в 1960-х роках та зарекомендувала себе як ефективний засіб для розпізнавання звукових та графічних об'єктів, проте довгий час не набувала значного поширення через недостатню потужність обчислюваних можливостей і отримала потужний стимул для розвитку із появию потужних графічних прискорювачів в

2000-х та розробкою алгоритмів глибокого навчання багатошарових нейронних мереж на основі обмеженої машини Бойцмана у 2006 році [6]. Для задач розпізнавання графічних образів було розроблено теорію згорткових мереж, які наразі є поширеним засобом для даного класу задач в різноманітних сферах і показують хороші результати [7]. Проте наразі в теорії нейронних мереж є прогалини, які перешкоджають їх більш широкому застосуванню, насамперед через неповне розуміння процесів, що відбуваються під час навчання та розпізнавання [8].

Відомі варіанти застосування нейромережевих технологій при виборі алгоритмів стиску великих масивів даних [9], для стиску фотозображень [10, 11] та пошуку заданих об'єктів у даних ДЗЗ [12]. Однак запропоновані методи або не забезпечують заданої якості обробки зображень, або є дуже ресурсомісткими і не в змозі забезпечити режим реального часу при застосуванні в системах ДЗЗ.

Таким чином, задачею статті є формулювання методу інтелектуальної обробки даних дистанційного зондування землі, який реалізує автоматичне розпізнавання об'єктів незаконного використання природних ресурсів на мультиспектральних зображеннях ДЗЗ за допомогою використання згорткової нейронної мережі.

Основна частина

Вибір нейронних мереж, а саме згорткових нейронних мереж (ЗНМ) для вирішення задачі розпізнавання пов'язаний із здатністю даних мереж, за умови коректного навчання, до розпізнавання об'єктів в складних умовах спостереження та при деформації об'єкта, що спостерігається.

Згорткова нейронна мережа (англ. convolutional neural network), представляє собою спеціальну архітектуру штучних нейронних мереж та націлена на ефективне розпізнавання зображень та об'єктів на зображеннях [7]. Використовує деякі особливості

зорової кори, в якій були відкриті так звані прості клітини, що реагують на прямі лінії під різними кутами, і складні клітини, реакція яких пов'язана з активацією певного набору простих клітин. Загальна ідея згорткових нейронних мереж полягає в чергуванні згорткових шарів і субдискретизуючих шарів або шарів підвибірки. Структура мережі – односпірамована, принципово багатошарова. Для навчання використовуються стандартні методи, найчастіше метод зворотного поширення помилки.

Назва архітектура мережі отримала через наявність операції згортки. Згортка – це математична операція (вид інтегрального перетворення), застосована до двох функцій $f(x)$ і $g(x)$, що породжує третю функцію, яка іноді може розглядатися як модифікована версія однієї з початкових. Маючи двовимірне зображення I і невелику матрицю K розмірності $h \times w$ (так зване ядро згортки), побудовану таким чином, що графічно кодує будь-яку ознаку, ми обчислюємо згорнуте зображення $I * K$, накладаючи ядро на зображення усіма можливими способами і записуючи суму добутків елементів вихідного зображення і ядра:

$$(I * K)_{xy} = \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^w K_{ij} \times I_{x+i-1, y+j-1}. \quad (1)$$

Для спрощення обчислювань, а також неважливості для задач машинного розпізнавання, операція транспонування не виконується.

Звичайну архітектуру ЗНМ для розпізнавання зображення по k класах можна розділити на дві частини: послідовність шарів згортки/підвибірки Conv→Pool, що чергуються (деколи із кількома шарами згортки підряд) та декілька повнозв'язних шарів (шари, які приймають кожний піксель зображення, як незалежне значення).

У загальнена схема згорткової нейронної мережі може бути представлена на рис. 1.

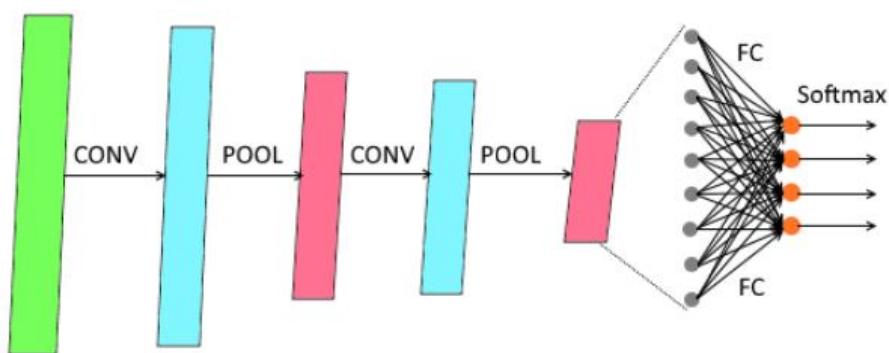


Рис. 1. Узагальнена схема згорткової нейронної мережі

Шар підвибірки (Pool) слугує для субдискретизації вибірки, його робота полягає в отриманні на вході окремих фрагментів зображення та їх об'єднанні в одне значення, зазвичай використовується функція максимізації, тобто з отриманих даних обирається значення з найбільшою величиною.

Один прохід Conv→Pool впливає на зображення наступним чином: він скорочує довжину і ширину певного каналу, але збільшує його значен-

ня (глибину). У кінці згорткової нейронної мережі використовується функція softmax, яка перетворює вектор дійсних чисел в вектор ймовірностей. У контексті нейронної мережі вихідні значення є вірогідністю влучення зображення в певний клас. Мінімізація втрат перехресної ентропії забезпечує впевненість у визначені приналежності зображення певного класу, не беручи до уваги ймовірність інших класів, таким чином, для ймовірнісних задач

softmax краще, ніж, наприклад, метод квадратичної помилки.

Під час навчання нейронної мережі може виникнути проблема перенавчання, яка полягає в надмірно точній відповідності нейронної мережі конкретному набору навчальних прикладів, при якій мережа втрачає здатність до узагальнення. Дано проблема виникає у випадку, якщо модель змогла вивчити навчальну множину (разом із шумом, який присутній в ній), проте не змогла розпізнати скриті процеси, які цю множину породили.

Для того, щоб позбутися від можливості перенавчання вводяться засоби регулярізації: замість скорочення кількості параметрів, накладаються обмеження на параметри моделі під час навчання, не дозволяючи нейронам вивчати шум навчальних даних. Найрозповсюдженіший засіб, який і використовується в нашій моделі, – dropout. Він полягає в тому, що під час навчання, використовується параметр p , який дозволяє за одну ітерацію навчання, проходячи по нейронам одного шару із ймовірніс-

тю p повністю виключає їх з мережі на час ітерації. Це дозволяє мережі обробляти помилки і не покладатися на існування певного нейрону (або групи нейронів), а покладатися на “єдину думку” (consensus) нейронів усередині одного шару. Це доволі простий засіб, який ефективно бореться із проблемою перенавчання, без потреби введення інших регуляторів.

В якості області використання розроблюваної нейронної мережі було обрано пошук місць незаконного використання природних ресурсів на території Рівненської області, Україна, а саме місця незаконного видобутку бурштину, оскільки на даний час дана проблема призводить до великих матеріальних втрат та екологічних збитків [2].

На рис. 2 зображене одне із місць незаконного видобутку бурштину (координати – N51°38'27.37" E26°33'25.86" [13]) у видимому діапазоні. Площа досліджуваної області склала приблизно 40 км², фактичний розмір зображення – 21441×20641 пікселів.

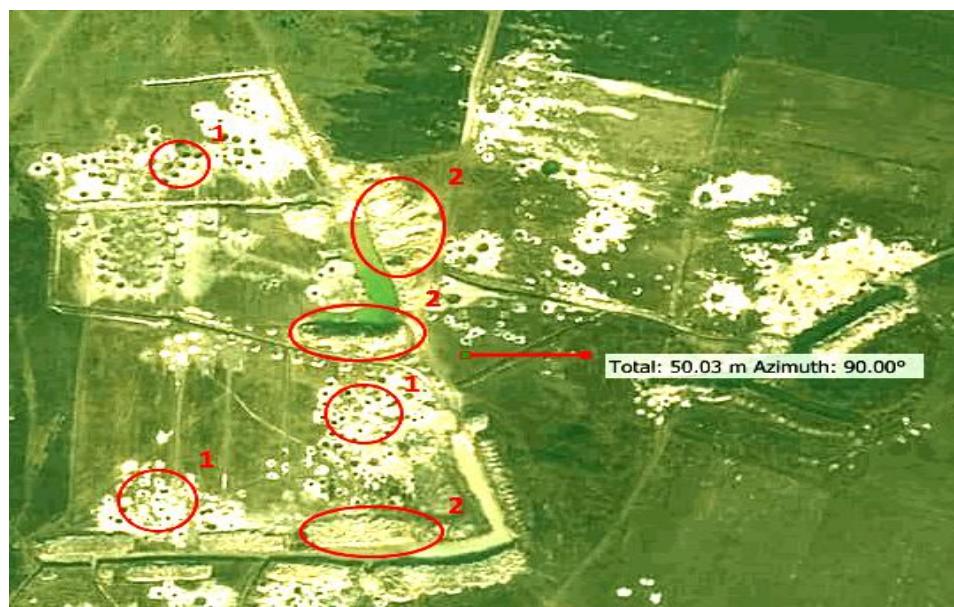


Рис. 2. Загальний вигляд незаконного промислу бурштину (1 – “копанки”, 2 – намиви від роботи помп)

На рис. 2 можна виділити такі об’єкти пошуку:

1) місця видобутку відкритим способом із необладнаних ям, які називаються копанками що представляють собою структури 2-8 метрів у діаметрі, та 2-5 метрів у глибину. Зазвичай незаконний промисел займає площу 1-5 км² і представляє собою розсип “копанок”;

2) намиви ґрунту, які формуються біля водойм після використання помп для розмиву берегів та подальшого видобутку бурштину.

Проаналізувавши дані об’єкти та виділивши їх характерні ознаки можна побудувати класифікатор, який буде шукати дані об’єкти на супутникових зображеннях.

Структура згорткової нейронної мережі для детектування об’єктів пошуку на зображені складається декількох шарів згортки, які передуються субдискретизуючими шарами та з вихідним шаром, перед

яким буде застосовано декілька шарів для усунення проблеми перенавчання за допомогою методу dropout. Також для перед кожним шаром згортки будуть додані підготовчі шари, які додають нульові елементи по контуру вхідної матриці для обробки у наступному шарі. На вхід нейронної мережі подається зображення розміром 32×32 пікселів та 3 спектральними каналами, а отже в загальному випадку на вхід подається матриця розміром (32,32,3). На виході нейронної мережі маємо вектор ймовірностей з двома параметрами, з яких перший – це ймовірність того, що дане зображення має в собі шуканий об’єкт, а другий – ймовірність того, що на зображені шуканий об’єкт відсутній.

Алгоритм формування нейромережі та її навчання був представлений авторами [14].

Отримана схема нейронної мережі зображена на рис. 3.

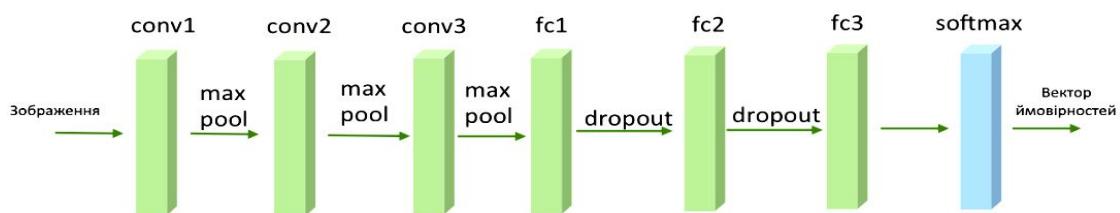


Рис. 3. Узагальнена структура отриманої згорткової нейронної мережі (кожен шар згортки складається з трьох підшарів)

В якості навчальної вибірки було сформовано набір навчальних зображень, розміром 32×32 пікселів за 3 спектральними каналами, для яких відомий їх зміст, а розмір навчальної вибірки є достатнім для коректного навчання згорткової нейронної мережі і в рамках практичної реалізації він обраний у розмірі не менше 10000 зображень.

На рис. 4 зображені приклади навчальних зображень для отриманої мережі.

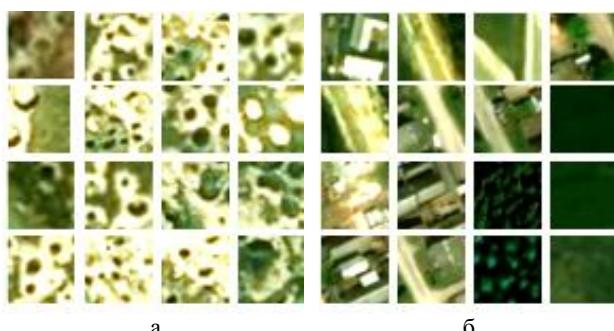


Рис. 4. Приклади зображень з навчальної вибірки:
а – шукані об’єкти наявні; б – шукані об’єкти відсутні

Процес роботи з навченою нейронною мережею полягає в розділені вхідного зображення на області розміром 32×32 пікселів та перевірці кожного отриманого зображення на наявність об’єктів пошуку.

На основі отриманого вектору ймовірностей для кожної області було сформовано «теплову» карту (англ. heatmap) місцевості, яка дозволила наочно оцінити результат роботи нейронної мережі.

Для реалізації програмного продукту, який демонструє розроблений метод було обрано мову про-

грамування Python. Алгоритм роботи програмного продукту в загальному вигляді полягає в наступному:

- 1) навчання нейронної мережі на основі підготовленої навчальної вибірки, у форматі масиву зображень розміром 32×32 пікселів та трьома спектральними каналами. Даний шаг є підготовчим та виконується один раз, ваги нейронної мережі зберігаються в окремому файлі та в подальшому повторно використовуються;

- 2) читування зображення для розпізнавання з трьома спектральними каналами та будь-якого розміру;

- 3) розділення читаного зображення для розпізнавання на ділянки 32×32 пікселя та підготовці вихідних даних до формату, який можна подати на вхід нейронної мережі;

- 4) розпізнавання зображення за допомогою згорткової нейронної мережі та отримання вектора вірогідності наявності шуканих об’єктів для кожної ділянки зображення;

- 5) на основі отриманого вектора ймовірностей виконується побудова теплової карти, для наочної візуалізації результатів роботи програмного продукту.

Для навчання нейронної мережі було створено навчальну вибірку розміром 10223 зображення, з яких 1750 зображень мають шуканий об’єкт.

В результаті після 100 епох навчання, точність розпізнавання склала 0,9769, при цьому виникла проблема перенавчання, через що точність незначно зменшилась після 90 епохи.

Було проаналізовано похибку розпізнавання для різної кількості епох навчання від 10 до 100 з шагом 10, графік залежності точності розпізнавання тестової вибірки від кількості епох навчання зображенено на рис. 5.

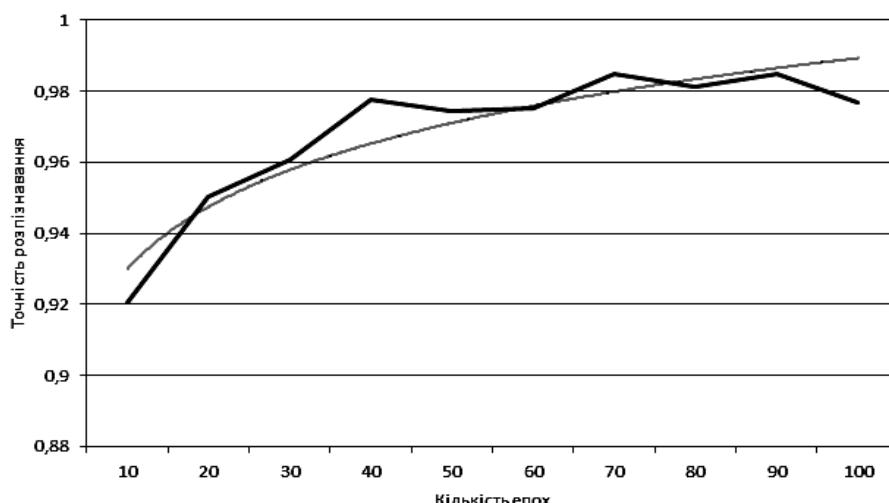


Рис. 5. Графік залежності точності розпізнавання тестової вибірки від кількості епох навчання
(менш насиченим кольором позначена лінія тренду)

Загальний час навчання склав близько 12,5 секунд для кожної епохи і загалом 1237 секунд, а час розпізнавання займає близько 230-240 секунд.

Запропонований підхід дозволяє вирішити завдання розпізнавання об'єктів на мультиспектральних зображеннях даних ДЗЗ та покращити результати розпізнавання у порівнянні з існуючими методами.

Висновки

У статті представлено метод інтелектуальної обробки даних дистанційного зондування Землі та реалізація методу розпізнавання зображень, сформованих з даних, отриманих з КА ДЗЗ на основі

застосування згорткової нейронної мережі. Обрано практичну задачу в області екологічного моніторингу для використання даного методу та оцінки доцільності його використання та подальших можливостей з удосконалення методів інтелектуальної обробки даних, заснованих на згорткових нейронних мережах.

Створено програму, яка виконує обробку зображення. Отримані результати дозволили зробити висновок про працевздатність запропонованого алгоритму та є підґрунтам для подальших досліджень з розробки та реалізації алгоритмів обробки мультиспектральних знімків у системах дистанційного зондування Землі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Бакланов А.И. Анализ состояния и тенденции развития систем наблюдения высокого и сверхвысокого разрешения / А.И. Бакланов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2010. – № 2. – С. 80-91.
- Потіха А. Проблема видобутку бурштину: сучасний стан та перспективи вирішення [Електронний ресурс] / А. Потіха // Україна: події, факти, коментарі, 2016. – № 5. – С. 36-44. – Режим доступу: <http://nbuviap.gov.ua/images/ukraine/2016/ukr5.pdf>.
- Кашкин В.Б. Цифровая обработка аэрокосмических изображений / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин. – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – 121 с.
- Gonzalez R. Digital Image Processing / R. Gonzalez, R. Woods. – Prentice Hall, 2008. – 954 p.
- LeCun Y., Bengio Y. Convolutional networks for images, speech and time series / Y. LeCun, Y. Bengio // The handbook of brain theory and neural network. – MIT Press, 2003, pp. 276–279.
- Горбачевская Е.Н., Краснов С.С. История развития нейронных сетей / Е.Н. Горбачевская, С.С. Краснов // Вестник ВУИТ. – Тольятти: ВУИТ. – №1 (23). – 2015. – С. 52-56.
- LeCun Y., Kavukcuoglu K., Farabet C. Convolutional Networks and Applications in Vision. / Y. LeCun, K. Kavukcuoglu, C. Farabet // International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'10). Paris, IEEE, 2010, pp. 253–256.
- Галушкин А.И. Нейронные сети. Основы теории. / А.И. Галушкин – М: Горячая Линия - Телеком, 2012. – 496 с.
- Баранник В.В. Метод интеллектуализации обработки данных в бортовой аппаратуре системы дистанционного зондирования земли / В.В. Баранник, А.А. Подорожняк // Сучасна спеціальна техніка. – Київ: ДНДІ МВС України. – № 2 (37). – 2014.– С. 5-13.
- Подорожняк А.О. Метод інтелектуальної обробки даних дистанційного зондування Землі / А.О. Подорожняк, Ю.Б. Прібілев, Д.І. Торохтій // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС. – вип. 2 (118). – 2014. – С. 48-51.
- Подорожняк А.О. Метод інтелектуальної обробки мультиспектральних зображень / А.О. Подорожняк, Н.Ю. Любченко, О.Д. Лагода // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС, 2015. – Вип. 10 (135). – С. 123-125.
- Подорожняк А.А Метод выявления объектов интереса при обработке данных в системе дистанционного зондирования земли / А.А. Подорожняк. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – № 4. – С. 60-64.
- В якості джерел для зображення використані карти сервісу Here.com. Режим доступу: <https://here.com/en>.
- Бондарчук В.К. Використання згорткових нейромереж для розпізнавання об'єктів на зображеннях / В.К. Бондарчук, А.А. Подорожняк, Н.Ю. Любченко // Проблеми інформатики і моделювання. Тезиси чотирнадцятої міжнародної науково-технічної конференції. 12-16 вересня 2016 року. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2016. – С. 54.

REFERENCES

- Baklanov, A.I. (2010), Analyz sostoiiania y tendentsyy razvityia system nabliudenya visokoho y sverkhvisokoho razreshenyia [Analysis of the state and tendency of development of observation systems of high and ultrahigh resolution], *Vestnik Samarskogo Gosudarstvennogo Aerokosmicheskogo Universiteta* [Bulletin of the Samara State Aerospace University], Samara, No 2, pp. 80-91.
- Potikha, A. (2016), Problema vydobutku burshtynu: suchasnyi stan ta perspektyvy vyrischennia [The problem of amber extraction: the current state and prospects of solution], *Ukraina: podii, fakty, komentari* [Ukraine: Events, Facts, Comments], Kyiv, No 5, pp. 36–44, available at: <http://nbuviap.gov.ua/images/ukraine/2016/ukr5.pdf> (last accessed January 23, 2017).
- Kashkin, V.V. and Sukhimin, A.I. (2008), *Tsifrovaya obrabotka aerokosmicheskikh izobrazheniy* [Aerospace images digital processing], IPK SFU, Krasnoyarsk, 121 p.
- Gonzalez, R. and Woods, R. (2008), *Digital Image Processing*, Pearson Prentice Hall, 954 p.
- LeCun, Y. and Bengio, Y. (1995), Convolutional networks for images, speech and time series, *The handbook of brain theory and neural network*, Vol. 3361, No 10, MIT Press, pp. 276–279.
- Gorbachevskaya, E.N. and Krasnov, S.S. (2015), Istoriya razvityia neironnikh setei, [History of neural networks development], *Vestnik Volzhskogo universiteta imeni V.N. Tatyshcheva* [Bulletin of the Volga University named after V.N. Tatischev], VUiT, Tolyatti, No 1 (23), pp. 52-56.

7. LeCun, Y., Kavukcuoglu, K.. and Farabet, C. (2010), Convolutional Networks and Applications in Vision, *Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'10)*, IEEE, Paris, pp. 253–256.
8. Galushkin, A.I. (2012), *Neironnye seti. Osnovy teorii*, [Neural networks. Fundamentals of the theory], Horiachaia Lynya – Telekom, Moscow, 496 p.
9. Barannik, V.V. and Podorozhniak, A.A. (2014), Metod intellektualyzatsyy obrabotky dannikh v bortovoi apparature systemi dystantsyonnoho zondirovaniya zemly [The method of data processing intellectualization in on-board equipment of the Earth remote sensing system], *Suchasna spetsialna tekhnika* [Modern special technique], DNDI MVS Ukrainy, Kyiv, No 2 (37), pp. 5-13.
10. Podorozhniak, A.O. Pribylev, Yu.B. and Torokhtii, D.I. (2014), Metod intelektualnoi obrabotky danykh dystantsiinoho zonduvannia Zemli [The method of intellectual data processing of remote sensing], *Systemy obrabotki informatsii* [Information processing systems], KhUPS, Kharkiv, No 2 (118), pp. 48-51.
11. Podorozhniak, A.O., Liubchenko, N.Yu. and Lagoda, O.D. (2015), Metod intelektualnoi obrabotky multyspektralnykh zobrazhen [The method of intellectual multispectral image processing], *Sistemi obrabotki informatsii* [Information processing systems], KhUPS, Kharkiv, No 10 (135), pp. 123-125.
12. Podorozhnyak, A.A. (2014), Metod viyavleniya obektov interesa pry obrabotke dannikh v sisteme dystantsyonnoho zondirovaniya zemly, [Method of interest objects detection while processing data in the system of earth remote sensing], *Informacijno-kerujuchi systemy na zaliznychnomu transporti* [Information management systems in the railway transport], UkrDAZT, Kharkiv, No 4, pp. 60-64.
13. Digital map service Here.com, available at: <https://here.com/en> (last accessed January 23, 2017).
14. Bondarchuk, V.K., Podorozhniak, A.O. and Liubchenko, N.Yu. (2016), Vykorystannia zghortkovykh neiromerezh dla rozpisnavannia obiektiv na zobrazhenniakh [Use of convolutional neural networks to recognize objects in images], Tezy 16 mizhnarodnoi naukovo-tehnichnoi konferentsii *Problemi informatyky i modeliuannia* [Proceedings of 16th International scientific and technical conference Problems of Informatics and Modeling], NTU "KhPI", Kharkiv, p. 54.

Надійшла (received) 19.05.2017

Прийнята до друку (accepted for publication) 11.10.2017

Нейросетевой метод интеллектуальной обработки мультиспектральных изображений

Н.Ю. Любченко, А.А. Подорожняк, В.К. Бондарчук

Предметом изучения в статье являются нейросетевые методы распознавания объектов на мультиспектральных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). **Цель** – обеспечение автоматического распознавания объектов незаконного использования природных ресурсов на мультиспектральных изображениях ДЗЗ. **Задача** – формулировка метода интеллектуальной обработки данных ДЗЗ, который реализует автоматическое распознавание объектов незаконного использования природных ресурсов на мультиспектральных изображениях ДЗЗ путем использования свёрточной нейронной сети. Анализ проблем методов и алгоритмов обработки мультиспектральных аэрокосмических изображений показал, что наиболее перспективно использовать гибкие алгоритмы, которые приспособливаются к изменению условий наблюдения объектов поиска. Одной из перспективных технологий реализации таких алгоритмов является применение нейронных сетей. Выбор свёрточных нейронных сетей для решения задачи распознавания связан со способностью данных сетей, при условии корректного обучения, к распознаванию объектов в сложных условиях наблюдения и при деформации наблюдаемого объекта. **Выводы:** предложен нейросетевой метод интеллектуальной обработки мультиспектральных изображений. Рассмотрен алгоритм построения данной сети, избрана практическая область применения предложенного метода и показаны результаты работы его программной реализации. Полученные результаты позволили сделать вывод о работоспособности предложенного алгоритма и являются основой для дальнейших исследований по разработке и реализации алгоритмов обработки мультиспектральных снимков в системах дистанционного зондирования земли.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли; обработка изображений; нейросеть; свёрточная нейронная сеть; мультиспектральные изображения.

Neural network method of intellectual processing of multispectral images

A.O. Podorozhniak, N.Y. Lubchenko, V.K. Bondarchuk

The **subject** of the study in the article is the neural network method of object recognition on multispectral Earth remote sensing (ERS). The **goal** providing automatic recognition of objects illegal exploitation of natural resources in multispectral ERS images. The **task** is formulation of the method of intellectual processing of ERS data, which implements automatic recognition of objects of illegal use of natural resources on multispectral ERS images by using a convolutional neural network.. Analysis of the problems of methods and algorithms for processing multispectral aerospace images has shown that it is most promising to use flexible algorithms that adapt to changing conditions for observing search objects. One of the most promising technologies of the implementation of such algorithms is the use of neural networks. The selection of convolutional neural networks for solving the recognition problem is related to the ability of these networks, under the condition of correct training, to recognize objects under difficult observation conditions and when the observed object. **Conclusions:** the neural network method of intellectual processing of multispectral images is proposed. The algorithm for constructing this network is considered, the practical scope of the proposed method is chosen and the results of its program implementation are shown. The obtained results made it possible to conclude that the proposed algorithm is working and are the basis for further research into the development and implementation of processing algorithms for multispectral images in ERS systems.

Keywords: Earth remote sensing; image processing; neural network; convolutional neural network; multispectral images.

Khudhair Abed Thamer

Al-Maaref University College, Republic of Iraq

RELATIONS AND OPERATIONS ON PREDICATES IN THE THEORY OF INTELLIGENCE

Purpose. The purpose of the paper is to develop a formal technique of the theory of intelligence, namely, to develop the model and axiomatics in the language of algebra of finite predicates (AFP); to introduce a system of operations on relations; to construct of the algebra of relations. **Methods.** The methods of algebra of finite predicates, Boolean algebra and axiomatic method are used in the paper. **Results.** In the paper the mathematical apparatus of the theory of intellect was further developed. The models and axiomatics of relations in the language of algebra of finite predicates (AFP) are developed, operations on relations such as the injection, equivalence, surjection, quasi-order, partial order, circulation and product of the relation are introduced. The algebra of relations is constructed. The system of operations on predicates in the algebra of finite predicates, namely, the Boolean negation, disjunction, conjunction, implication, equivalence is axiomatically assigned. The basic predicates (predicates of object recognition) are introduced. **Conclusions.** The predicates of different orders correspond to concepts of a different level of abstraction. The solution of the AFP equations can be interpreted as a creative activity of a person. Due to the presence of such a wide and meaningful interpretation, even the purely mathematical development of the AFP allows at the same time to impel the development of the theory of intelligence. The minimization, decomposition, solution of equations, identical transformation of formulas are important tasks of the theory of intelligence.

Keywords: theory of intelligence; algebra of finite predicates; comparator identification.

Introduction

The present paper is a continuation of the paper [1], in which a multidimensional predicate model of comparator identification [2, 3] was proposed and the axiomatics of this model was substantiated.

In the article were obtained mathematical results aimed at developing the formal apparatus of the theory of intelligence [4-12].

Models and axiomatics of relations in the language of algebra of finite predicates (AFP) and the operations on predicates are considered.

1. Relations

Any ordered collection of any elements a_1, a_2, \dots, a_n is called a set, a list, or a sequence. Elements that form a set are called its components. Each component in the set is characterized by its place, so that changing the places of different elements in the set leads to a change in the entire set. Sets may differ from each other in the number of components n , as well as the composition or order of the elements in the set. To record a set, is used a list of all its components, enclosed in parentheses: (a_1, a_2, \dots, a_n) . The sets will be denoted by lowercase Latin letters, for example, $a = (a_1, a_2, \dots, a_n)$.

The parts of the components in the set are numbered from left to right. At different places in the set there can be both different and identical elements. One-component set is called - unary, bicomponent - binary, three-component - ternary, n -component - n -ary. The number of components in a set is called its arity. A binary set is called an ordered pair or simply a pair. Any unary set (a) coincides with the element a . If the characters a and b denote the same set, then it is said that the sets a and b are equal and it is written $a = b$. Two sets $a = (a_1, a_2, \dots, a_m)$, $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ are

equal only if $m = n$ and $a_i = b_i$ for all $n i = 1, m$. The sets can be built not only from the elements, but also from the sets according to the rule

$$\begin{aligned} ((a_1, a_2, \dots, a_m), (b_1, b_2, \dots, b_n)) &= \\ &= (a_1, a_2, \dots, a_m, b_1, b_2, \dots, b_n). \end{aligned} \quad (1)$$

Let's assume that A_1, A_2, \dots, A_n – nonempty subsets of the universe U . Let's make a set $a = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ of the elements $a_1 \in A_1, a_2 \in A_2, \dots, a_n \in A_n$. The set $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ all such sets is called the Cartesian product of sets A_1, A_2, \dots, A_n . We can talk about belonging of $a \in A$ set a to the Cartesian product A . If $n = 2$ and $A_1 = A_2 = A$, then the Cartesian product is called the Cartesian square or simply the square of the set A : $A \times A = A^2$. The Cartesian product $A \times A \times A = A^3$ is called the cube of set A . The Cartesian product $A \times A \times \dots \times A$, where A is met n one time, is called n -stage of the set A and is written as A^n .

The operation \times of obtaining a Cartesian product $A \times B$ from the set A and B is associative:

$$(A \times B) \times C = A \times (B \times C) \quad (2)$$

at any A, B, C . In combination with operations \cup , \cap , $\bar{\cup}$, $\bar{\cap}$. The operation of the Cartesian product of sets has the following properties:

$$(A \cap B) \times (C \cap D) = (A \times C) \cap (B \times D), \quad (3)$$

$$(A \cup B) \times C = (A \times C) \cup (B \times C) \quad (4)$$

$$(A \times (B \cup C)) = (A \times B) \cup (A \times C) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} (A \cup B) \times (C \cup D) &= \\ &= (A \times C) \cup (B \times C) \cup (A \times D) \cup (B \times D) \end{aligned} \quad (6)$$

for any A, B, C, D . The relations $\in, =$ and \subseteq In combination with operations $\times, \cup, \cap, \bar{\cup}$ possess the following properties: $(a_1, a_2, \dots, a_n) \in A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ is equally matched to $a_1 \in A_1, a_2 \in A_2, \dots, a_n \in A_n$ for any a_1, a_2, \dots, a_n and $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n; A \subseteq B$ and $C \subseteq D$ is equally matched to $A \times C \subseteq B \times D; A = B$ and $C = D$ is equally matched to $A \times C \subseteq B \times D; (A \times B) \cup (C \times D) \subseteq (A \cup C) \times (B \cup D); A \subseteq C$ and $B \subseteq D$ results in $A \times B = (A \times D) \cap (C \times B); (A \times B) \cup (B \times A) = C \times D$ results in $A = B = C = D$ for any A, B, C, D .

Any subset P of the Cartesian product A of the sets A_1, A_2, \dots, A_n is called the relation, defined for $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$. the relation \emptyset , not containing a single set, is called empty; the relation P , consisting of all the sets of the Cartesian product A , is called complete. The relations, as well as sets, we will denote in bold capital Latin letters. At $n=1$ the relation is called unary, at $n=2$ – binary, at $n=3$ – ternary. At arbitrary value n the relation is called n -ary. About n -ary relation, defined for A^n , or brevity, it is said that it is defined for A . Instead of expression «the relation P , defined for A » is briefly called «the relation P for A ». For tasks in which the Relations appear for A , the set A plays the role of the universe, and the relations themselves are the role of subsets of this universe.

We can speak of the attribute of a set to the relation, equality and inclusion of relations on A , as well as on their integration, intersection and addition. Thus, on the set of all relations is defined an algebra, which is a kind of Boolean algebra. The unification of the relations is called their disjunction, the intersection - the conjunction, the complement - the negation of the relations. We can talk about the Cartesian product $P \times Q$ of the relations P and Q . The predication $(a_1, a_2, \dots, a_m) \in P$ and $(b_1, b_2, \dots, b_m) \in Q$ equally match the predication

$$(a_1, a_2, \dots, a_m, b_1, b_2, \dots, b_m) \in P \times Q$$

at any $a_1 \in A_1, a_2 \in A_2, \dots, a_m \in A_m, b_1 \in B_1, b_2 \in B_2, \dots, b_n \in B_n, P \subseteq A, Q \subseteq B$, where $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_m$ and $B = B_1 \times B_2 \times \dots \times B_n$.

If the set belongs to the relation P , then it is called a vector of the relations P . For binary relations, except for the record $(a, b) \in P$, is used a record equivalent to it aPb . If $(a, b) \notin P$, then it is written $a\bar{P}b$. The binary relation D , composed of all pairs of the form (a, a) , where $a \in U$, is called equality or diagonal, the relation, defined for the universe U . To define the relations D is also used the character $=$. The pairs in the form of (a, a) are called diagonal. The relation of equality is reflexive: $a = a$ for any a ; symmetrically: $a = b$ results in $b = a$ for any a, b ; transitively: $a = b$ and $b = c$ results in $a = c$ for any a, b, c . The relation of equality can be defined not only

on the universe U , but also on any of its subsets A . In this case one speaks of equality on A .

The relation F , defined for $A \times B$, is called functional if it satisfies the single-valued condition: for any $a \in A$ and $b, c \in B$ aFb and aFc results in $b = c$. It is said that the functional relation F , defined for $A \times B$, determines the corresponding function or operation f , acting from the set A to the set B . The functions will be denoted by lowercase Latin or Greek letters. If for $a \in A$ is found an element $b \in B$ is such, that aFb , then the function f aligns the element a the only element b . This fact is written as follows: $b = f(a)$ if $b = fa$. If for $a \in A$ there is not $b \in B$ such an element, that aFb , then the function f does not associate an element with a any element from the set B . In this case it is said that the function f for the element $a \in A$ is not defined.

The function f can be determined by indicating the corresponding relation F . In order for the definition of a function to be logically flawless (correct), it must be proved that the relation F obeys the uniqueness condition. Such a proof is called a verification of the correctness of the definition of a function f . The relation of equality D for A defines the function d , is called the identity. It is characterized by the property: $a = d(a)$ for every $a \in A$.

If $b = f(a)$, then the element $b \in B$ is called the image of element $a \in A$, and the element a – preimage of element b in relation to the function f . The collection of all inverse images of an element b in relation to the function f , contained in the set A , is called a complete preimage of element b in A in relation to the function f . The set A is called scope of dispatch of function f , The set B – e arrival area. The set of all elements $a \in A$, for each of which there is an element $b \in B$, fulfilling the condition $b = f(a)$, is called an area of definition of a function f . The set of all the elements $b \in B$ for each of which there is an element $a \in A$, fulfilling the condition $b = f(a)$, is called the range f . If the area of the dispatch of function f is a Cartesian product $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$, then it is said that the function f n -place.

A function is called everywhere defined if its domain of definition coincides with the domain of departure, otherwise it is called partial. It is said that an everywhere defined function f defined for $A \times B$, reflects the set A to the set B , and it is written $f : A \rightarrow B$. Sometimes, for brevity, an everywhere-defined function is simply called a function. Everywhere a certain function is called surjection, if its range of values coincides with the arrival area. It is said, that a surjection, defined for $A \times B$, reflects the set A for the set B . It is said that surjection $f : A \rightarrow A$ reflects the set A for itself.

Everywhere defined function f , defined for $A \times B$ is called an injection, if for each $b \in B$ there is no more than one element $a \in A$, satisfying the condition $b = f(a)$. The surjective and injective function is called the bijection. It is said that that a bijective function on $A \times B$ one-to-one reflects the set A for the set B . The final areas of departure and arrival of the bijection consist of the same number of elements, and the infinite ones are equinumerous.

The binary relation E for A is called the equivalence if it is reflexive: aEa for any $a \in A$; symmetrically: aEb results in bEa for any $a, b \in A$; transitively: aEb and bEc results in aEc for any $a, b, c \in A$. The relation of equality D is an equivalence. Partitioning S of the set A is called any system of nonempty subsets of the set A , such that each element of the set A belongs to only one of them. Of the set S , are called layers or adjacent partition classes S .

To each equivalence E for A one can put in one-to-one correspondence the decomposition S of the set A , and vice versa, according to the following rule: if aEb , then a and b are put in one layer of the partition S , if $a \bar{E} b$, then to the different. So related equivalence E and the partitioning S are called corresponding to each other. The equality D for A corresponds to a partition of the set A , is made up of singleton layers.

The partition S , corresponding to the equivalence E for A , is called the factor - the set from A to E and defined $A|E$. The surjection $f_E : A \rightarrow A|E$, which to each element $a \in A$ puts in correspondence its containing layer of decomposition S , is called the canonical image A for $A|E$. The canonical image $f_E : A \rightarrow A|E$ will be a bijection if and only if the equivalence E coincides with the equality D .

Let f – the surjection representing A for B . Let's define for A the equivalence E , considering that aEb only if $f(a) = f(b)$. The layers S , corresponding to the equivalence E , are complete preimages in A items from the set B . By matching each element of the set B its complete preimage in A , are obtained a bijection that maps B for $A|E$. This bijection is called the canonical image B for $A|E$. The equivalence E is called the nuclear for function f .

The binary relation of the sets A is called quasi-order if it is reflexive and transitively. The partial order is quasi-order P , fulfilling the condition of antisymmetry: aPb and bPa results in $a = b$ for every $a, b \in A$. For a partial order is used a special notation \leq . If $a \leq b$ and $a \neq b$, then it is written $a < b$ and say that a is less b . The record $a \leq b$ means that a is less or equal to b . The element $a \in A$ is called the largest in A with respect to partial order \leq for A , if $b \leq a$ for every $b \in A$; the least - if $a \leq b$. The elements a and b of the set A are named to be comparable with respect to the partial order \leq for A , if $a \leq b$ or $b \leq a$.

Partial order \leq for A is called the linear order on A , if any $a, b \in A$ are relatively compared \leq . The set, on which a partial order is specified, is called partially ordered; linear - linearly ordered or chain.

The binary relation Q for $B \times A$ is called an inverse to the relation P for $A \times B$, if it satisfies condition: aPb is equally matched to bQa for every $a \in A$ and $b \in B$. The operation $*$ which corresponds to each relation P for $A \times B$ the relation opposite to it P^* for $B \times A$, is called the converse the relations P . The factum of the relations P for $A \times B$ and Q for $B \times A$ is called the relation R for $A \times C$, satisfying the condition: for any $a \in A$ and $c \in C$ the predication «exists $b \in B$, such that aPb and bQc » equally match the predication aRc . The operation \circ , which puts in correspondence the relations P for $A \times B$ and Q for $B \times C$ their factum $P \circ Q$ for $A \times C$, is called the multiplication of the relations. The factum $H = F \circ G$ of functional relations F and G and corresponds to the function $h = gf$, is called the superposition of functions f and g , of the corresponding relations F and G . If $xF \circ Gy$, then it is written $y = g((f(x)) = gf(x)$.

Algebra of the relations for A is called the set of all binary of the relations on A with the operations defined on it \cup , \cap , $-$, \circ and $*$. In the algebra of the relations, all the basic identities of Boolean algebra are valid. The role of operations $=$, \cdot and $'$ in the algebra of the relations, they perform the operations of union, intersection and addition of the relations. Operations \circ and $*$ obey the following identities:

$$(P^*)^* = P, \quad (7)$$

$$(P \circ Q) \circ R = P \circ (Q \circ R), \quad (8)$$

$$(P \circ Q)^* = P^* \circ Q^*, \quad (9)$$

$$\overline{P^*} = (\bar{P})^*, \quad (10)$$

$$(P \cup Q)^* = P^* \cup Q^*, \quad (11)$$

$$(P \cap Q)^* = P^* \cap Q^*, \quad (12)$$

$$P \circ (Q \cup R) = (P \circ Q) \cup (P \circ R), \quad (13)$$

$$(P \cup Q) \circ R = (P \circ R) \cup (Q \circ R), \quad (14)$$

Which, together with the basic identities of the Boolean algebra, are considered the basic identities in the algebra of the relations. The analogue of the last two identities for the operation \cap is incorrect, instead of them there are inclusions

$$P \circ (Q \cap R) \subseteq (P \circ Q) \cap (P \circ R), \quad (15)$$

$$(P \cap Q) \circ R \subseteq (P \circ R) \cap (Q \circ R). \quad (16)$$

The character P , Q and R denote arbitrary binary relations on A .

2. Predicates

Let's consider a formal language, the algebra of finite predicates, with the help of which predicates realized by the subject can be mathematically expressed [1]. First, let's consider the algebra of logic, which is used to use the introduction of the algebra of predicates. Let's introduce the set $\Sigma = \{0,1\}$. The symbols 0 and 1 are called Boolean elements. The symbol 0 is called zero or false, the symbol 1 is one or true. Variable, defined for set Σ , is called Boolean. Boolean variables will be denoted by lower case letters of the Greek alphabet.

The single operation $\beta = \bar{\alpha}$, displaying the set Σ itself and defined by the equalities

$$\bar{0} = 1 \quad (17)$$

and

$$\bar{1} = 0, \quad (18)$$

is called Boolean negation.

Double operation $\gamma = \alpha \vee \beta$, reflecting Σ^2 for Σ and defined by the equalities

$$0 \vee 0 = 0, \quad (19)$$

$$0 \vee 1 = 1, \quad (20)$$

$$1 \vee 0 = 1, \quad (21)$$

$$1 \vee 1 = 1, \quad (22)$$

is called a Boolean disjunction or Boolean addition. Double operation $\gamma = \alpha \wedge \beta = \alpha \cdot \beta = \alpha\beta$, reflecting Σ^2 for Σ and defined by the equalities

$$0 \wedge 0 = 0, \quad (23)$$

$$0 \wedge 1 = 0, \quad (24)$$

$$1 \wedge 0 = 0, \quad (25)$$

$$1 \wedge 1 = 1, \quad (26)$$

is called a Boolean conjunct or Boolean multiplication.

The set Σ , together with the operations defined on it \neg , \vee and \wedge , is called algebra of logic. The algebra of logic is a kind of Boolean algebra. The role of operations $+$, \cdot and $'$ in algebra, the logic performs operations \vee , \wedge and \neg . In the algebra of logic all the basic identities of Boolean algebra are valid. Functions obtained by superposition of operations \neg , \vee and \wedge , are called Boolean functions. Boolean function

$$\alpha \supset \beta = \alpha \vee \bar{\beta} \quad (27)$$

is called the implication, the Boolean function

$$\alpha \sim \beta = (\alpha \supset \beta) \wedge (\beta \supset \alpha) - \quad (28)$$

the equivalence.

The predicate P , defined for U^n , is called any function $\zeta = P(x_1, x_2, \dots, x_n)$, reflecting the set Σ^n to the set Σ . The variables x_1, x_2, \dots, x_n are called subject,

and their meanings are objects. If $n=1$, the predicate P is called unary, if $n=2$ – binary, if $n=3$ – ternary. At an arbitrary value n the predicate is called n -ary. If the set U is the final, the predicate P is called finite, otherwise - infinite.

A predicate equal to one for every set of values of its arguments, is called identically true; equal to zero - identically false.

These predicates are denoted by the symbols 1 and 0.

Disjunction or logical addition of predicates P and Q is called the predicate $P \vee Q$, values of which at any $x_1, x_2, \dots, x_n \in U$ are determined by the formula

$$(P \vee Q)(x_1, x_2, \dots, x_n) = \\ = P(x_1, x_2, \dots, x_n) \vee Q(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (29)$$

The conjunction or logical addition of predicates P and Q is called the predicate $P \wedge Q = P \cdot Q = PQ$ with the values

$$(P \wedge Q)(x_1, x_2, \dots, x_n) = \\ = P(x_1, x_2, \dots, x_n) \wedge Q(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (30)$$

The negation of the predicate P is called the predicate \bar{P} with the values

$$(\bar{P})(x_1, x_2, \dots, x_n) = P(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (31)$$

On the right-hand side of (29) - (31), the signs \vee , \wedge , \neg is denoted the Boolean disjunction, conjunction and negation. On the left-hand side of the same equations, the signs \vee , \wedge , \neg are denoted operations of disjunction, conjunction and negation of predicates.

The set of all n -ary predicates, assigned for U^n , on which the operations of disjunction, conjunction and negation are defined, predicates is called algebra n -ary predicates for U .

The operations of disjunction, conjunction and negation of predicates are called basic for the algebra of predicates.

The algebra of predicates at any value n is a kind of Boolean algebra. In it all the basic identities of Boolean algebra are satisfied.

In the algebra of predicates, the role of the elements 0, 1 and operations $+$, \cdot and $'$ perform respectively the identically false and identically true predicates and operations of disjunction, conjunctions and negations of predicates.

Predicates of the form:

$$x_i^a = \begin{cases} 1, & \text{если } x_i = a, \\ 0, & \text{если } x_i \neq a \end{cases} \quad (32)$$

are called basic for the algebra of predicates. Here $i = \overline{1, n}$, a – any element of the universe U . If the universe is finite and consists of k the elements, then everything is available kn of the different basic elements.

The algebra of predicates is complete in the sense that any of its predicates can be represented in the form

of a certain superposition of basic operations that are changed to basic elements.

The predicate x_i^a is called the recognition of an object a under the variable x_i .

For item recognition at any $i = \overline{1, n}$ the following identities are valid:

Law of truth

$$\vee_{a \in U} x_i^a = 1, \quad (33)$$

law of negation – for any $a \in U$

$$\overline{x_i^a} = \vee_{\substack{b \in U \\ b \neq a}} x_i^b \quad (34)$$

law of falsity – for any $a, b \in U$, if $a \neq b$, then

$$x_i^a x_i^b = 0. \quad (35)$$

The record $\vee_{a \in U}$ means the logical sum of the operation that is executed for every a , belonging to the universe U .

If universe is final $U = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$, then the newly derived identities can be rewritten in the form: of the truth law $i = \overline{1, n}$

$$x_i^{a_1} \vee x_i^{a_2} \vee \dots \vee x_i^{a_k} = 1, \quad (36)$$

law of negation – for any $i = \overline{1, n}$ and $j = \overline{1, k}$

$$\overline{x_i^j} = x_i^{a_1} \vee x_i^{a_2} \vee \dots \vee x_i^{a_{j-1}} \vee x_i^{a_{j+1}} \vee \dots \vee x_i^{a_k}, \quad (37)$$

law of falsity – for any $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, k}$ and $j \neq i$

$$x_i^{a_j} x_i^{a_1} = 0. \quad (38)$$

Let P – the relation, defined for U^n . The predicate P , values of which are calculated by the rule

$$\begin{aligned} P(x_1, x_2, \dots, x_n) &= \\ &= \begin{cases} 1, & \text{если } (x_1, x_2, \dots, x_n) \in P, \\ 0, & \text{если } (x_1, x_2, \dots, x_n) \notin P, \end{cases} \end{aligned} \quad (39)$$

is called the predicate, relevant to the relation P . To each relation P for U^n corresponds its own predicate P for U^n and vice versa. The presence of such a one-to-one correspondence between the relations and the predicate makes it possible to write mathematically any of the relations in the form of some formula of the predicate algebra over which the values of the predicate corresponding to this relation can be calculated.

For example, to the relation

$$P = \{(n, a, n, a), (m, a, m, a)\}$$

corresponds the predicate P , values of which are determined by the formula

$$P(x_1, x_2, x_3, x_4) = x_2^a x_4^a (x_1^n x_3^n \vee x_1^m x_3^m).$$

The variables x_1, x_2, x_3, x_4 , the figures appearing in the formula can be interpreted meaningfully as the names of the first, second, third and fourth places of the elements in the sets forming the relation P (counting from the left is wrong).

The recording $x_1 = n, x_2 = a, x_3 = n, x_4 = a$ means that in this case it is a matter of typing (n, a, n, a) , on the first and third places of which there is a letter n , and on the second and fourth - the letter a .

Any predicate P , preset at U^n , can be expressed by the following formula of the algebra of predicate

$$\begin{aligned} P(x_1, x_2, \dots, x_n) &= \\ &= \vee_{(a_1, a_2, \dots, a_n) \in P} x_i^{a_1} \vee x_i^{a_2} \vee \dots \vee x_i^{a_n}, \end{aligned} \quad (40)$$

is called the perfect disjunctive normal form of the predicate P (abbreviated as CDNF the predicate). The entry on the right-hand side of (40) means that a logical summation is carried out over all sets of objects (a_1, a_2, \dots, a_n) , which is part of the relations P , corresponding to the predicate P .

Cartesian product $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ of the sets $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n \subseteq U$ corresponds the predicate $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$, values of which are determined by the formula

$$\begin{aligned} (A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n)(x_1, x_2, \dots, x_n) &= \\ &= A_1(x_1) A_2(x_2) \dots A_n(x_n). \end{aligned}$$

Here A_i – the predicate, corresponding to the set A_i $i = \overline{1, n}$, standing at i -place in a Cartesian product $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_i \times \dots \times A_n$. Its values are sought by the formula

$$A_i(x_i) = \vee_{a \in A_i} x_i^a. \quad (41)$$

If the set A_i is final ($A_i = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$), Then the values of the corresponding predicate are determined by the formula

$$A_i(x_i) = x_i^{a_1} \vee x_i^{a_2} \vee \dots \vee x_i^{a_k}. \quad (42)$$

The expression of the sets A_i of formulas (41) and (42) reveals the following important fact: it turns out that predicate $A_i(x_i)$, corresponding to the set A_i , Describes not only this the set itself, but also its place in the Cartesian product $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_i \times \dots \times A_n$. This place is represented by a variable x_i . So the expression of the set A_i the predicate $A_i(x_i) = x_i^{a_1} \vee x_i^{a_2} \vee \dots \vee x_i^{a_k}$ characterizes the set more fully than the record $A_i = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$.

Let's consider, for example the Cartesian product $A = M \times M$, where $M = \{a, b\}$. To the set M , standing in first place in A , according to (42) there corresponds a predicate $M(x_1) = x_1^a \vee x_1^b$. To the set

M , standing in second place in A and having the same number and the same composition of elements, there corresponds another predicate: $M(x_2) = x_2^a \vee x_2^b$.

Let P – the relation, defined for the Cartesian product $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$, where $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n \in U$. The relation P can be formally expressed by any predicate P , defined for U^n , which satisfies the condition: $P(x_1, x_2, \dots, x_n) = 1$, if $(x_1, x_2, \dots, x_n) \in P$; $P(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$, if $(x_1, x_2, \dots, x_n) \in A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n \setminus P$. Outside the region $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ of the value of the predicate P can be chosen arbitrarily. The fact of setting the relations P on a Cartesian product A formally expressed by a system of equations

$A_1(x_1) = 1, A_2(x_2) = 1, \dots, A_n(x_n) = 1$,
bounding values of variables x_1, x_2, \dots, x_n of the sets A_1, A_2, \dots, A_n .

Trying to describe in the language of predicate algebra the relation of equality D , defined for U , we find that there is more than one predicate corresponding to this relation D , but a whole family of predicates $D(x_i, x_j)$ ($i \neq j, i, j = \overline{1, n}$), which depend on all possible pairs of arguments.

Thus, we are forced to distinguish between the relations of equality, depending on where in n -component set are the elements associated with this relation of equality.

To the equality D , connecting the elements in n -component set on i -M and j -M places, there corresponds a predicate D , whose values are determined by the formula:

$$D(x_i, x_j) = \bigvee_{a \in U} x_i^a x_j^a. \quad (43)$$

If the universe is finite ($D = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$), then formula (43) can be written in the form

$$D(x_i, x_j) = x_i^{a_1} x_j^{a_1} \vee x_i^{a_2} x_j^{a_2} \vee \dots \vee x_i^{a_k} x_j^{a_k}. \quad (44)$$

Let's call the set the same if the corresponding predicates depend on the same variable. Let the same type of the set A and B correspond to predicates $A(x_i)$ and $B(x_i)$ ($i = \overline{1, n}$). Then the union $A \cup B$ these sets correspond to the predicate

$$(A \cup B)(x_i) = A(x_i) \vee B(x_i). \quad (45)$$

To the intersection $A \cap B$ of the sets A and B corresponds the predicate

$$(A \cap B)(x_i) = A(x_i) \wedge B(x_i). \quad (46)$$

To the addition \tilde{A} of the set A corresponds to the predicate

$$(\tilde{A})(x_i) = \overline{A(x_i)}. \quad (47)$$

It is seen that the union, intersection and addition of predicates coincide, respectively, with their disjunction, conjunctions and negations, (29) - (31). In the same way, the disjunction, conjunction and negation of predicates corresponding to these theses correspond to the unification, intersection and addition of the relations. It can be shown that at such a definition of operations \cup , \cap and \sim for the sets and of the relations they will satisfy all the basic identities of Boolean algebra.

We note that an empty set \emptyset corresponds to the predicate

$$\emptyset(x_i) = 0 \quad (48)$$

for every $x_i \in U$. The universal set U corresponds to the predicate

$$U(x_i) = 1 \quad (49)$$

for every $x_i \in U$. Similarly, to empty and complete relations correspond predicates identically false and identically true.

Conclusions

The predicates of different orders correspond to concepts of a different level of abstraction.

The solution of algebra of finite predicates (AFP) equations can be interpreted as a creative activity of a human.

Due to the presence of such a broad meaningful interpretation, even the purely mathematical development of the AFP allows at the same time to advance the development of the theory of intelligence.

The minimization, decomposition, solution of equations, identical transformation of formulas are the important tasks of the theory of intelligence. In this area there are obtained already significant results.

Thus, the AFP formulas can be directly interpreted as phrases of the natural language; the predicates denoted by formulas - as human thoughts; operations on the predicates - as human intellectual activity. The AFP equations are interpreted as the laws of thought. The minimization of formulas is directly connected with the laconism of speech.

The decomposition of formulas corresponds to the dismemberment of the text into separate sentences in the process of speech.

REFERENCES

- Khudhair, Abed Thamer (2017), "The formal basis of the intelligence theory mathematical apparatus", *Suchasni informacijni sistemi [Advanced Information Systems]*, Vol. 1, No 1, pp. 38-43.
- Bondarenko, M.F., Shabanov-Kushnarenko, Yu.P. and Shabanov-Kushnarenko, S.Yu. (2011), "Modeli komparatornoy identifikatsii v vide semeystv integral'nykh odno- i dvukhparametricheskikh operatorov" [Models of comparative identification in the form of families of integral one- and two-parameter operators], *Bionika intellekta [Intelligence Bionics]*, No 2. pp. 86-97.

3. Shabanov-Kushnarenko, S.Yu. (2015), Comparatornaya identifikaciya processov mnogomernoy kolichestvennoy ocenki [Multidimensional quantitative estimation processes comparative identification] Saarbrucken, Deutschland: Palmarium Academic Publishing, 217 p.
4. Bondarenko, M.F. and Shabanov-Kushnarenko, Yu.P. (2007), *Teoriya intellekta* [Intelligence theory], SMIT, Kharkiv, 576 p.
5. Shabanov-Kushnarenko, S.Yu., Kalinichenko, O.V. and Kovalenko, A.I. and Shmatko, A.A. (2015), "O formalizacii znanii na baze akgebry konechnykh predikatov" [About the finite predicates algebra knowledge based formalization] // Zbirnyk Harkivskogo nacionalnogo universytetu Povitryanyh Syl [Collected papers of the Air Force Kharkov National University] [Bulletin of the Ukraine HAC], No. 3 (44), pp. 70-73.
6. Kalinichenko, O.V., Shabanov-Kushnarenko, S.Yu. and Yarmak, A.V. (2015), "O predikatnyh modelyah neyavnih znanii v zadachah analiza informacionyh processov" [On implicit knowledge predicate models in problems of information processes analysis] // Zbirnyk Harkivskogo nacionalnogo universytetu Povitryanyh Syl [Collected papers of the Air Force Kharkov National University] [Bulletin of the Ukraine HAC], No. 2 (43). pp. 46-49.
7. Shabanov-Kushnarenko, S.Yu., Khudhair Abed Thamer and Leshchynska, I.O. (2013), "Razrabortka predikatnyh modeley logicheskikh svyazey ponyatiy" [Development of logical connections concepts predicate models], Zbirnyk Harkivskogo nacionalnogo universytetu Povitryanyh Syl [Collected papers of the Air Force Kharkov National University] [Bulletin of the Ukraine HAC], No. 4 (37). pp. 72-75.
8. Sutton, R.S. and Barto, A.G. (2016), Reinforcement Learning: An Introduction. Second edition, in progress. A Bradford Book. The MIT Press. 455 p.
9. Red'ko, V.G. (2011), Evolyuciya, neyronnye seti, intellect. Modeli i koncepcii evolyucionnoy kibernetiki [Evolution, neural networks, intelligence. Models and concepts of evolutionary cybernetics], Seriya: Sinergetika: ot proshloga k buduschemu [Series: Synergetics: from past to future], Libercom, Moscow, 224 p.
10. Russell, S. and Norvig, P. (2009), Artificial Intelligence: A Modern Approach, Prentice Hall, (3 edition), 1152 p.
11. Flreani, D. and Mattiussi, C. Bio-Inspired Artificial Intelligence: Theories, Methods, and Technologies (Intelligent Robotics and Autonomous Agents series), The MIT Press, 2008, 658 p.
12. Petrunin, Yu.Yu., Ryazanov, M.A. and Savel'ev, A.V. (2010), *Filosofiya iskusstvennogo intellekta v koncepciyah neyronauk* [Philosophy of artificial intelligence in the neuroscience concepts], Max Press, Moscow, 78 p.

Надійшла (received) 31.05.2017

Прийнята до друку (accepted for publication) 18.10.2017

Відношення і операції над предикатами в теорії інтелекту

Кудхаір Абед Тамер

Мета. Метою статті є розробка формальної методики теорії інтелекту, а саме розробка моделі і аксіоматики на мові алгебри кінцевих предикатів. Пропонується ввести систему операцій за відносинами для побудови алгебри відносин.

Методи. У статті використані методи алгебри кінцевих предикатів, булева алгебра і аксіоматичний метод. **Результати.** У статті був розвинений математичний апарат теорії інтелекту. Розроблено моделі та аксіоматику відносин на мові алгебри кінцевих предикатів, введені операції над такими відносинами, як ін'єкція, еквівалентність, сюр'єкція, квазіпорядок, частковий порядок, циркуляція і добуток відносин. Побудована алгебра відносин. Аксіоматично призначається система операцій над предикатами в алгебрі скінчених предикатів, а саме: булеве заперечення, диз'юнкція, кон'юнкція, імплікація, еквівалентність. Вводяться основні предикати (предикати розпізнавання об'єктів). **Висновки.** Предикати різних порядків відповідають поняттям іншого рівня абстракцій. Рішення рівнянь алгебри кінцевих предикатів можна інтерпретувати як творчу діяльність людини. Через наявність такої широкої і змістової інтерпретації навіть чисто математичний розвиток алгебри кінцевих предикатів дозволяє в той же час стимулювати розвиток теорії інтелекту. Мінімізація, декомпозиція, рішення рівнянь, тогожне перетворення формул є важливими завданнями теорії інтелекту.

Ключові слова: теорія інтелекту; алгебра скінчених предикатів; компараторна ідентифікація.

Отношения и операции над предикатами в теории интеллекта

Кудхаир Абед Тамер

Цель. Целью статьи является разработка формальной методики теории интеллекта, а именно разработка модели и аксиоматики на языке алгебры конечных предикатов. Предлагается ввести систему операций по отношениям для построения алгебры отношений. **Методы.** В статье использованы методы алгебры конечных предикатов, булева алгебра и аксиоматический метод. **Результаты.** В статье получил дальнейшее развитие математический аппарат теории интеллекта. Разработаны модели и аксиоматика отношений на языке алгебры конечных предикатов, введены операции над такими отношениями, как инъекция, эквивалентность, сюръекция, квазипорядок, частичный порядок, циркуляция и произведение отношений. Построена алгебра отношений. Аксиоматически назначается система операций над предикатами в алгебре конечных предикатов, а именно: булево отрицание, дизъюнкция, конъюнкция, импликация, эквивалентность. Вводятся основные предикаты (предикаты распознавания объектов). **Выводы.** Предикаты разных порядков соответствуют понятиям другого уровня абстракции. Решение уравнений алгебры конечных предикатов можно интерпретировать как творческую деятельность человека. Из-за наличия такой широкой и содержательной интерпретации даже чисто математическое развитие алгебры конечных предикатов позволяет в то же время стимулировать развитие теории интеллекта. Минимизация, декомпозиция, решение уравнений, тождественное преобразование формул являются важными задачами теории интеллекта.

Ключевые слова: теория интеллекта; алгебра конечных предикатов; компараторная идентификация.

Saadi T. Kurdi¹, Ahmed Hameed Reja¹, Al-Ashmati Akram Fathi Hussein²

¹ Electromechanical Engineering Department, University of Technology, Baghdad, Iraq

² Alfarahidi University College, Baghdad, Iraq

INCREASE THE AVIATION EFFICIENCY OF UAVS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Purpose. It is known that the flight of the UAV is conducted by sensors that transmit the performance of the UAV and on the basis of this information is controlled on the UAV and give them the orders which are necessary to perform the task of flying UAV. and normal these faults occur during the flight of unmanned air vehicle (UAV), according to the concepts of aviation is a very critical situation that affects the completion of the mission. These faults are mainly due to failure in the sensors, which can be divided into. Flight Situation is about the flying situation of the aircraft, such as (heading, altitude, airspeed, and vertical speed and angle of attack sensors. And Flight Control Situation, this is about the flight control surfaces such as (rudder, aileron, and elevator deflection), pitch attitude, and roll attitude sensors. This paper presents an effective technique to ensure that the sensors can operate with high efficiency. **Methods.** Two different approaches are used in this work. The first approach is Neural Network (NN) based tool for the modeling, simulation and analysis of aircraft (SFDIA), sensors failure, detection, and identification and accommodation problem. The second approach is Neural Network trained with the (EMRAN) algorithms which is a set of conditions that decide how the (EMRAN) structure should be adapted to better suit the training data. **Results.** The results from the modeling process and analysis of aircraft sensors showed that the neural network based tool (SFDIA) and the (EMRAN) algorithms are able to show high-resolution results in the behavior of sensors and hence in the (UAV) behavior. **Conclusions.** The capabilities of (SFDIA) are a consequence of the extensive modularity of the whole simulation tool. It allows an easy change of unmanned air vehicle (UAV), dynamics and feedback control law as well as Neural Network (NN) estimators and (SFDIA) scheme.

Keywords: Unmanned aircraft vehicle; Sensor fault detection; Fault diagnosis; Aircraft sensors modeling and simulation.

List of Acronyms

UAV - Unmanned Air Vehicle
SFD - Sensor fault detection
SFDIA - Sensor Failure Detection Identification and Accommodation
NN - Artificial Neural Networks
EMRAN - Extended Minimal Resource Allocation Network
RBF - Radial Basis Function

1. Introduction

Unmanned air vehicle (UAV) are complex technical systems. They are out of reach of the pilot. But the name of this aircraft does not fully demonstrate the way in which they are operated. They are in fact not fully self piloted, but also need a pilot sitting at the steering station on the ground, to remotely control it by a wireless manner. The control Process of the (UAV) is through signals transmitted by sensors. In this respect comes the importance of increasing the efficiency of sensors. Which transmit signals back to ground stations [1]. Sensor fault in (UAV) is detected by using two different approaches. The first approach is Radial Basis Function (RBF) NN trained with the Extended Minimal Resource Allocation Network- (EMRAN) algorithms [2, 3]. The second approach, which is presented in this Paper, is based on Knowledge based Neural Network (NN) based tool (SFDIA) Sensor Failure, Detection, Identification and Accommodation problem [4-5]. The tool is based on a (SFDIA) scheme in which learning NNs are used as on-line non-linear approximates of the analytically redundant portion of the system dynamics [6]. This can provide validation

capability to measurement devices, allowing sensors failures to be detected, identified and accommodated. Research on fault tolerance based on analytical redundancy has produced a quite mature framework especially for linear systems [7]. But unfortunately, the assumption of linearity is not often valid throughout the whole flight envelope of the aircraft. Thus the performance of a fault tolerance scheme based on such assumption can become inadequate, for example providing a high false alarm rate in a wide portion of the flight envelope. Chow and Willsky (1984) first defined model-based FDI to consist of two main stages; residual generation and residual evaluation [8]. Patton et al. (1989) also outlined the criteria for selecting a suitable FDI approach, two of which were low false alarm rates and fewer missed faults [9]. In this work, SFDIA software has been designed in the Simulink environment. The tool allows evaluating either the open loop or the closed loop performance of the SFDIA scheme that employs different kinds of NN approximators and learning algorithms [10]. The NN structure chosen is based on the Extended-Minimum Resource Allocating Network (EMRAN) Radial Basis Function (RBF), due to its good generalization ability and fast performance [11].The completion of the process has two stages the first stage construction of the scheme NN base (SFDIA),involved the process of modeling and simulation of (Power supply, Engine Condition, Flight Control Situation, Environmental Situation, and the second stage the (EMRAN) algorithms (Extended Minimal Resource Allocation Network) which is a set of conditions that decide how the (EMRAN) structure should be adapted to better suit the training data, using (Mat lab, Simulink program) and Extended-MRAN (EMRAN) algorithms.

2. Neural network-based SFDIA

Analytical redundancy implies that some of the system variables are functionally related namely a variable $y(k)$ can be expressed as function of a suitable set of other variables $Z(k)$ and input commands $U(k)$.

Fig. 1 shows the (SFDIA) scheme.

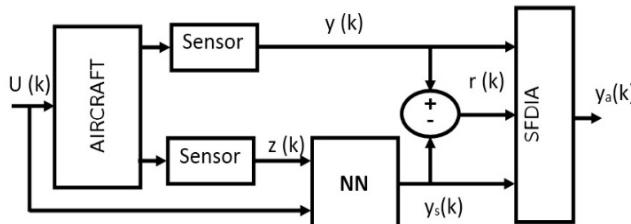


Fig. 1. General SFDIA scheme [12]

$$y_s(k) = f[z(k), u(k)], \quad (1)$$

where $u(k)$ – inputs commands. $z(k)$ – function of a suitable set of other variables, $y_s(K)$ - estimation signal provided by estimator (ANN).

The residual signal $r(k)$ is the difference between the sensor output $y(k)$ and its estimation $y_s(k)$ provided by a proper estimator (in this work the estimator is a Neural Networks NN) [13].

$$r(k) = y(k) - y_s(k), \quad (2)$$

where: $y(k)$ –sensor output, $y_s(k)$ – estimation signal provided by estimator (ANN), $r(k)$ – residual signal.

When the square of this (filtered) residual exceeds predefined threshold, the state of the corresponding sensor is declared suspect and a suitable procedure is called to decide on the health status of this sensor.

Fig. 2 shows a flowchart of the predefined threshold.

If the state of the sensor is then declared faulty, a procedure is enabled, and an accommodated variable $y_a(k)$ are provided as output. In this work the accommodation procedure simply substitutes the faulty measure with the Estimation given by the ANN.

Fig. 3 Shows the accommodation with the estimation given by the ANN.

$$y_a(k) = r(k) \quad (3)$$

Several options can be added to this basic scheme to increase robustness in presence of noisy measurements and/or intermittent sensor failures [14]. Thus, the accommodation procedure substitutes the faulty measurement with the estimation given by the NN [15]. As for any SFDIA approach, the following capabilities are critical:

1) failure detect ability and false alarm rate (the sooner the fault is detected and the least the number of false alarm it is, the better is the SFDI system [16];

2) estimation error (The least is the estimation error; the better is the quality of the accommodation) [17].

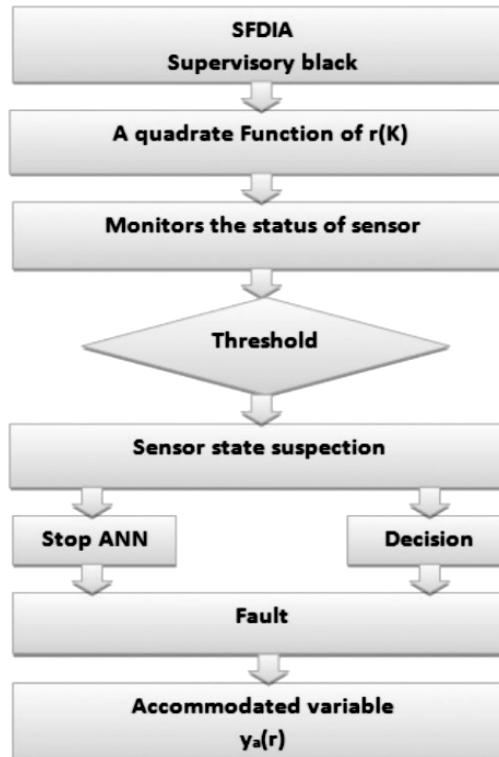


Fig. 2. Predefined Threshold

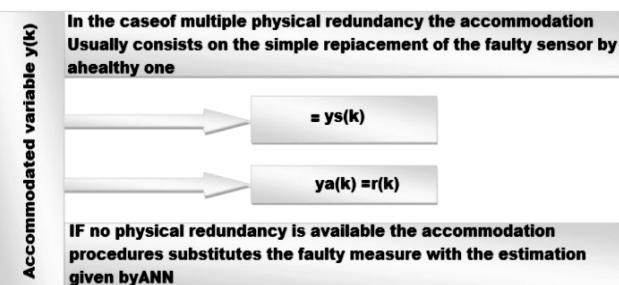


Fig. 3. The accommodation with the estimation given by the ANN

3. The simulation

The Neural Network based SFDIA modeling and simulation toolbox was built under the Math lab and simulink for Technical computing (by The Math works Inc) [18]. In particular the freely available aircraft Sensor Failure, Detection, Identification and Accommodation (SFDIA) toolbox for Mat lab provides powerful tools for aircraft simulation [19-20]. A bank of output estimators has been implemented as showed in Fig. 4.

SFDIA (Sensor Failure Detection Identification and Accommodation).

It is the core of the tool that performs the main SFDIA procedures. It is constituted by two main sub-blocks [21]:

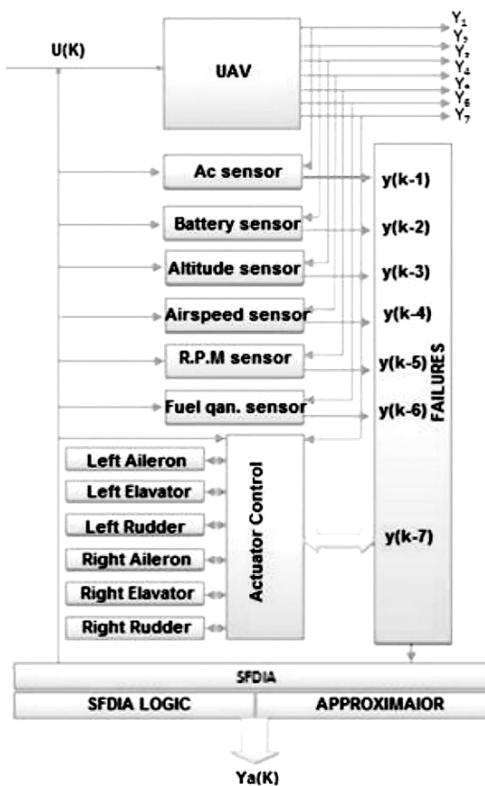


Fig. 4. Bank of estimators for output residual generation

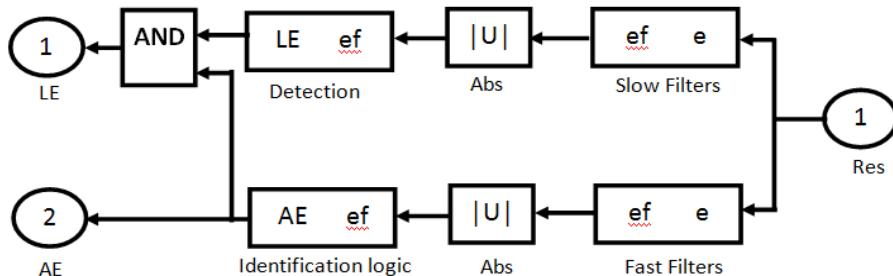


Fig. 5. SFDIA Logic

4. Results

In order to apply this technique (ANN based SFDIA) and (NN) trained with the (EMRAN) algorithms (Extended Minimal Resource Allocation Network) which is a set of conditions that decide how the (EMRAN) structure should be adapted to better suit the training data to improve electrical sources performance of unmanned airborne vehicles seven cases were taken in this study as follows:

4.1 The altitude and airspeed sensor

Figure (6-a) and (6-b) show a typical time of Y_1 (altitude and airspeed sensor) and its estimation, during the occurrence of a simulated failure on it, at ($t_f=300$ sec) using the (EMRAN) algorithm, [25, 26]. The results show that EMRAN-algorithm is well suited for fast on-line identification of nonlinear plants.

4.2 The (R.P.M) and fuel quantity sensor

Figure 7a and 7b shows a typical time of Y_2 (R.P.M) and fuel quantity sensor) and its estimation,

1. Approximators

The block contains the Neural Network based function estimators. Fig. 5 is a scheme for estimation of (6) types of faults. It includes Ac. Generator sensor channel (k), sensor channel $b(K)$, altitude sensor channel $c(K)$, air speed sensor channel (K), RPM sensor channel (k), fuel quantity sensor channel $f(k)$ [22, 23].

2. SFDIA LOGIC

The block performs the main threshold based sensor failure detection identification and accommodation operations (Fig. 5). Two filtered residuals (derived by filtering the absolute approximation error with both a “fast” low pass filters and a “slow” low pass filter) are contemporaneously evaluated for each sensor.

When the fast filter output is bigger than a threshold, the corresponding NN learning is preventively stopped (LE=0), in order to prevent the possibly wrong signal from being learnt. When the slow filter output is bigger than a threshold, the corresponding sensor is declared failed (AE=0), so the accommodation logic is enabled, and the estimated signal is fed back through the controller instead of the faulty one [24].

during the occurrence of a simulated failure on it, at ($t_f=300$ sec).

4.3 The Ac generator and battery sensor

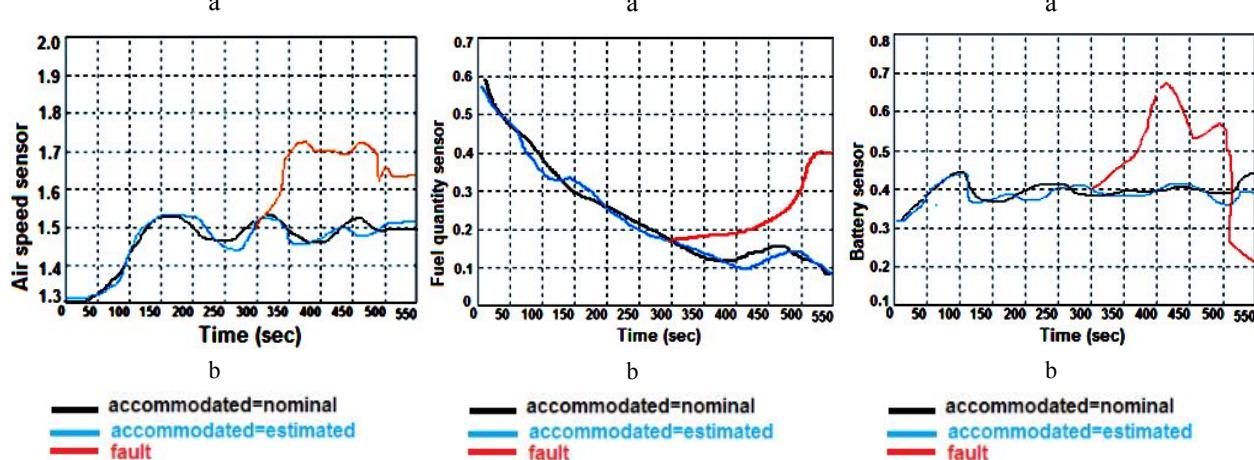
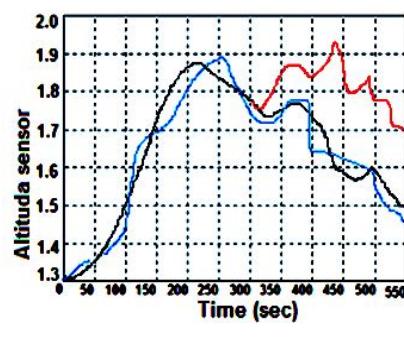
Figure 8a and 8b show a typical time of Y_1 (Ac generator and battery sensor) and its estimation, during the occurrence of a simulated failure on it, at ($t_f=300$ sec).

4.4 The (pitch, roll and heading angle) sensors

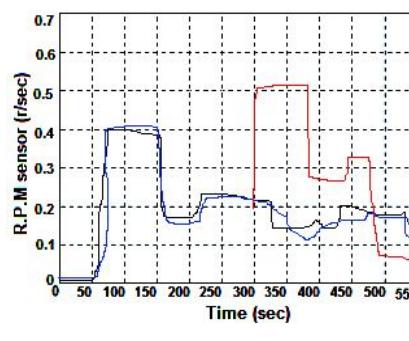
Figure 9a, 9b and 9c show a typical time of Y_3 (pitch angle, roll angle and heading angle sensor) and its estimation, during the occurrence of a simulated failure on it, at ($t_f=300$ sec).

4.5 The (aileron, rudder and elevator) deflection sensor

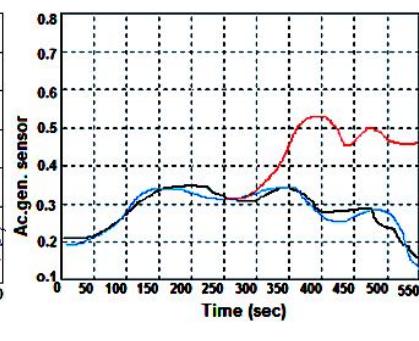
Figure 10-12 show typical time of (Aileron, Rudder and Elevator) angle and its estimation, during the occurrence of a simulated failure on it, at $t_f=50$ sec.



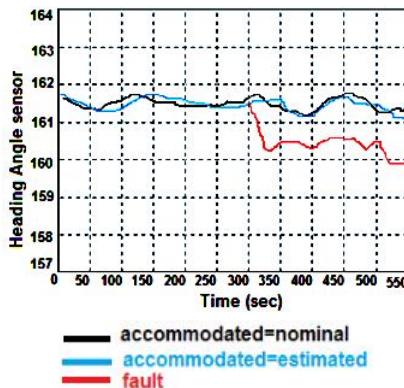
Fig/ 6. Altitude (a) and airspeed (b) sensor (accommodated nominal, accommodated estimated, failed) at ($t_f = 300$ sec)



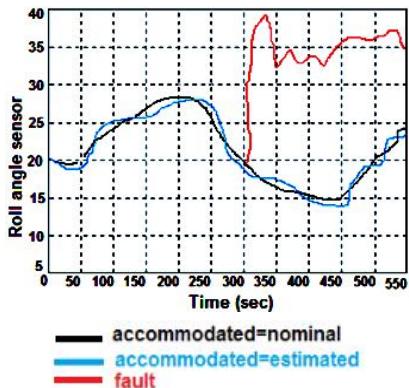
Fig/ 7. R.P.M. (a) and fuel quantity (b) sensor (accommodated nominal, accommodated estimated, failed) at ($t_f = 300$ sec)



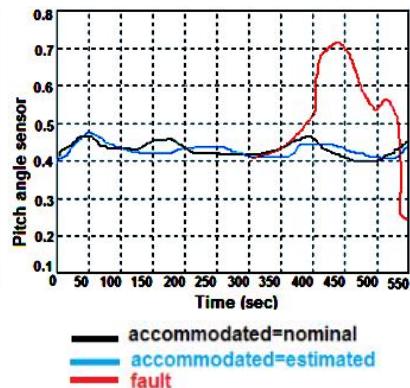
Fig/ 8. Ac generator (a) and Battery (b) sensor (accommodated nominal, accommodated estimated, failed) at (a – $t_f = 350$ sec, b – $t_f = 300$ sec)



a



b



c

Fig. 9. Heading angle sensor and its estimation, during the occurrence of a simulated failure on it (a); roll (b) and pitch (c) angel sensor (accommodated nominal, accommodated estimated, failed) at ($t_f = 300$ sec)

These figures show that when fault takes place the trend will no more follow the normal behaviour trend.hence, it can be detected early.inspection can then locate the cause and solution can be put to prevent eccedents.

Conclusions

In this paper unmanned air vehicle (UAV), Neural Network based tool scheme (SFDIA) for the Sensor Failure, Detection, Identification and Accommodation problem tool were analyzed. The scheme was implemented with (RBF-EMRAN Neural Network algorithms which are a set of conditions that decide how the (EMRAN) structure should be adapted to better suit

the training data. The use of Neural Network for sensor estimation of a parameter of interest has been studied. By analysis the results of applying the technique used in this research, the application showed high-resolution for the process of replacing the faulty sensor by using the Neural Network estimated value itself for further usage (as a feed back). Close match between estimation and actual sensor output has been established. In addition the capabilities of (SFDIA) are a consequence of the extensive modularity of the whole simulation tool. It allows an easy change of unmanned air vehicle (UAV), dynamics and feedback control law as well as Neural Network (NN) estimators and (SFDIA) scheme.

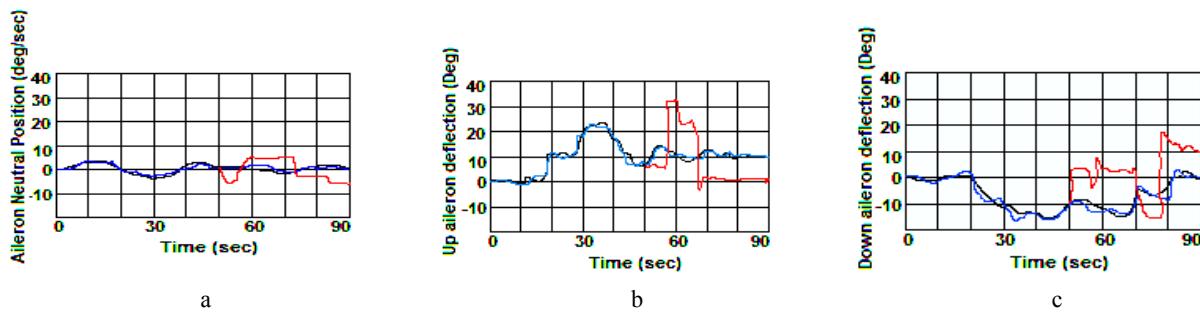


Fig. 10. The aileron deflection sensor signal with time at $t_f = 40$ sec (a – up, b – neutral, c – down)

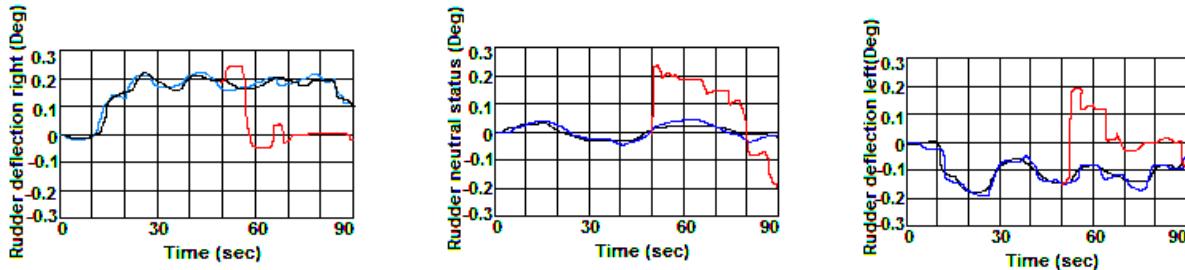


Fig. 11. The Rudder deflection sensor signal with time at $t_f = 40$ sec (a – left, b – neutral, c – down)

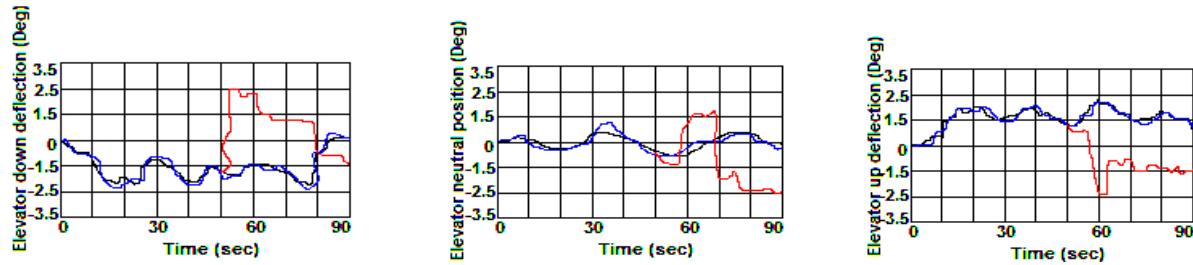


Fig. 12. The Elevator deflection sensor signal with time at $t_f = 40$ sec (a-up, b – neutral, c – down)

REFERENCES

1. Stevens, B.L. and Lewis, F.L. (1987), *Aircraft Control and Simulation*, John Wiley & Sons, New York.
2. Kerr, T.H. (1982), "False Alarm and Correct Detection Probabilities over a Time Interval for Restricted Classes of Failure Detection Algorithms", *IEEE Transactions of Information Theory*, IT-28, No. 4, pp. 619-631.
3. Powell, M.J.D. (1987), "Radial Basis Function for Multivariable Interpolation: a Review", *Algorithms for Approximation*. J.C. Mason and M.G. Cox, Eds. Oxford U.K. Oxford Univ. Press, pp. 143-167.
4. Vemuri, A., Polycarpou, M. and Diakourtis, S. (1998), "Neural Network Based Fault Detection and Accommodation in Robotic Manipulators", *IEEE Transaction on Robotic and Automation*; Vol. 14, No. 2, pp. 342-348.
5. Napolitano, M.R.Y. and Seanor, B. (2000), "A fault tolerant flight control system for sensor and actuator failure using neural networks", *Aircraft Design*, Vol. 3, pp. 103-128.
6. Polycarpou, M. (1998), "On-Line Approximates for Nonlinear System Identification: A Unified Approach", *Control and Dynamic Systems Series*, Vol. 7, Neural Network Systems Techniques and Applications (Academic Press, January 1998).
7. Frank, P.M. (1987), "Fault diagnosis in dynamic systems using analytical and knowledge-based redundancy. A survey and some new results", *Automatic*, pp. 459-474.
8. Chow, E.Y. and Willsky, A.S. (1984), "Analytical redundancy and the design of robust detection systems", *IEEE Trans. Automat. Contr.*, Vol. 29, pp. 603-614.
9. Patton, R.J. Frank, P.M. and Clark, R.N. (1989), "Fault diagnosis in dynamic systems, theory and application," London, *Control Engineering Series*, Prentice Hall.
10. Platt, J.C. (1991), "Resource Allocation Network for Function Interpolation", *Neural Computation*, 2, pp. 213-225.
11. Sundararajan, Y. Li, N and Saratchandran, P. (2000), "Analysis of minimal radial basis function network algorithm for real time identification of nonlinear dynamic systems," *IEEE Contr. Theory and Application*, Vol. 4, pp. 476-484.
12. Fravolini, M.L Campa, G.M., Napolitano and Song, Y. (2001), "Minima resource allocating networks for aircraft SFDIA" *Advanced Intelligent Mechatronics*, Vol. 2, pp. 1251-1256.
13. Frank, P.M. and Ding, X. (1997), "Survey of Robust Residual Generation and Evaluation Methods in Observer-Based Fault Detection Systems", *Journal of Process Control*, Vol. 7, No 6, pp. 403-424.
14. Isermann, R. (1984), "Process fault detection based on modeling and estimation methods, *Automatics*, pp. 387-404.
15. Zhang, Q. and Zhang, Y. (1996), "A method for fault detection and isolation using neural Networks," *IEEE International Conference on Neural Networks*.
16. Cai, G., Lum, K.-Y., Chen, B.M. and Lee, T.H. (2010), "A Brief Overview on Miniature Fixed-Wing Unmanned Aerial Vehicles," *Proc. 8th IEEE International Conf. on Control and Automation*, Xiamen, Chinapp, pp. 285-290.

17. Alessandri, A. and Parisini, T. (1998), "Neural state estimators for direct model-based fault Diagnosis", *Proceedings of the American Control Conference*.
18. MATLAB Help Documentation (2011), Math works, available at: www.mathworks.com (last accessed May 11, 2017).
19. Rauw, M.O. (1993), *A Simulink Environment for Flight Dynamics and Control analysis - Application to the DHC-2 "Beaver"* (MSc-thesis, Delft University of Technology, Faculty of Aerospace Engineering, Delft, the Netherlands, 1993).
20. Esposito, F., Accardo, D., Moccia, A., Ciniglio, U., Corrado and Garbarino, L. (2007), "Real-Time Simulation and Data Fusion of Navigation Sensors for Autonomous Aerial Vehicles", *Advances and Innovations in Systems, Computing Sciences and Software Engineering*; Elleithy, K., Ed.; Springer: Dordrecht, The Netherlands, pp. 127-136.
21. Nasuti, F.E. and Napolitano, M.R. (2000), "A learning approach to the SFDIA problem using radial basis function networks" *Proceedings of the IEEE International Symposium on Intelligent Control*.
22. Alessandri, A., Baglietto, M. and Parisini, T. (1998), "Robust model-based fault diagnosis using neural nonlinear estimators," *Proceedings of the 37th IEEE Conference on Decision and Control*.
23. Alessandri, A. and Parisini, T. (1998), "Neural state estimators for direct model-based fault Diagnosis", *Proceedings of the American Control Conference*.
24. Li, Yan, Sundararajan, N. and Saratchandran, P. (2000), "Dynamically Structured Radial basis Function Neural Networks for robust aircraft flight control", *Proc. American Control Conference*, Chicago, pp. 3501-3505.
25. Junge, T.F. and Unbehauen, H. (1996), "Off-Line Identification of Nonlinear Systems Using Structurally Adaptive Radial Basis Function Networks", (1982), *Proceedings of the 35th Conference on Decision and Control*, Kobe, Japan, pp. 943-948.
26. Junge, T.F. and Unbeaten, H. (1997), "On-Line Identification of Nonlinear Time-Variant Systems Using Structurally Adaptive Radial Basis Function Networks", *American Control Conference*, pp. 1037-1041, Albuquerque, New Mexico.

Надійшла (received) 26.05.2017

Прийнята до друку (accepted for publication) 04.10.2017

Збільшення ефективності польоту безпілотних літальних апаратів з використанням штучних нейронних мереж

Сааді Т. Курді, Ахмед Хамід Рея, Ал-Ашматі Акрам Фаті Хуссейн

Мета. Відомо, що політ безпілотного літального апарату (БПЛА) здійснюється за допомогою датчиків, які передають роботу БПЛА, і на основі цієї інформації БПЛА контролюється і дає їм замовлення, необхідні для виконання завдання польоту БПЛА. Несправності в управлінні відбуваються під час польоту БПЛА, відповідно до концепцій авіації - критична ситуація, яка впливає на завершення місії. Ці несправності викликані головним чином збоем в датчиках, які можна розділити на ситуації з польотом – про політ літальних апаратів (напрямок, висота, повітряна швидкість, вертикальна швидкість і кут атаки) і ситуація з управлінням польотом, це стосується поверхонь управління польотом, таких як кермо, елерон, кермо відхилення і датчики перемикача і регулятора висоти. У цій статті представлений ефективний метод, що дозволяє датчикам працювати з високою ефективністю. **Методи.** У цій роботі використовуються два різних підходи. Перший підхід заснований на інструменті на основі нейронної мережі для моделювання, симуляції та аналізу літаків, збою датчиків; виявлення, ідентифікації і рішення проблем. Другий підхід - нейронна мережа, що навчається за допомогою алгоритмів, представляє собою набір умов, які визначають, як структура мережі повинна бути адаптована, щоб краще відповідати даним навчання. **Результати.** Результати моделювання та аналізу датчиків літальних апаратів показали, що інструменти на основі нейронної мережі і алгоритми здатні показувати результати з високою роздільністю здатністю щодо поведінки датчиків і, отже, поведінки БПЛА. **Висновки.** Можливості інструмента є наслідком великої модульності всієї системи моделювання. Це дозволяє легко міняти безпілотні літальні апарати, закони динаміки і контролю зворотнього зв'язку, а також оцінки нейронної мережі.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат; виявлення несправностей датчиків; діагностика несправностей; моделювання та симулювання літальних апаратів.

Увеличение эффективности полета беспилотных летательных аппаратов с использованием искусственных нейронных сетей

Сааді Т. Курди, Ахмед Хамид Рея, Ал-Ашматі Акрам Фаті Хуссейн

Цель. Известно, что полет беспилотного летательного аппарата (БПЛА) осуществляется с помощью датчиков, которые передают работу БПЛА, и на основе этой информации БПЛА контролируется и дает им заказы, необходимые для выполнения задачи полета БПЛА. Неисправности в управлении происходят во время полета БПЛА, в соответствии с концепциями авиации – критическая ситуация, которая влияет на завершение миссии. Эти неисправности вызваны главным образом сбоем в датчиках, которые можно разделить на ситуации с полетом – о полете летательных аппаратов (направление, высота, воздушная скорость, вертикальная скорость и угол атаки) и ситуация с управлением полетом, это касается поверхностей управления полетом, таких как руль, элерон, руль отклонения и датчики переключателя и регулятора высоты. В этой статье представлен эффективный метод, позволяющий датчикам работать с высокой эффективностью. **Методы.** В этой работе используются два разных подхода. Первый подход основан на инструменте на основе нейронной сети для моделирования, симулирования и анализа самолетов, сбоя датчиков; обнаружения, идентификации и решения проблем. Второй подход – нейронная сеть, обучаемая с помощью алгоритмов, которая представляет собой набор условий, которые определяют, как структура сети должна быть адаптирована, чтобы лучше соответствовать данным обучения. **Результаты.** Результаты моделирования и анализа датчиков летательных аппаратов показали, что инструменты на основе нейронной сети и алгоритмы способны показывать результаты высокого разрешения в отношении поведения датчиков и, следовательно, поведения БПЛА. **Выводы.** Возможности инструмента являются следствием обширной модульности всей системы моделирования. Это позволяет легко менять беспилотные летательные аппараты, законы динамики и контроля обратной связи, а также оценки нейронной сети.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат; обнаружение неисправностей датчиков; диагностика неисправностей; моделирование и симулирование летательных аппаратов.

Methods of information systems protection

UDC 004. 732.056

doi: 10.20998/2522-9052.2017.2.10

S. Gavrylenko¹, V. Chelak¹, N. Bilogorskiy²¹National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine²Juniper Networks, San Francisco, California, United States

INVESTIGATION OF INTRUSION IN COMPUTER SYSTEMS BASED ON THE HURST EXPONENT

The **subject** of the research in this article is the analysis of intrusion detection methods in computer systems. The purpose of the article is to develop effective methods and technologies for countering computer viruses. **Tasks:** research of modern means of antivirus protection of computer systems; a study of the Hurst index for assessing the state of the computer system; development of a software model for assessing the state of a computer system based on the Hurst index, analysis of the experimental data. The methods **used** are: self-similarity assessment of the process based on the Hurst index. The following results are **obtained**. A method for identified abnormal behavior of a computer system based on the Hurst index is proposed. It is based on the analysis of CPU and RAM. The results of the research showed that the influence of a number of viruses on the computer system leads to the aspiration of the Hurst index to an average value of 0.5, which indicates the randomness of the process. **Conclusions.** Experimental studies confirm the possibility of using the Hurst index as an integral part of the intrusion detection system in computer systems.

Keywords: computer system; unauthorized access; computer virus; malicious software; fractal analysis; Hurst exponent.

Introduction

It is difficult in our time to overestimate the importance of information safety. Information and data are the greatest value of modern society and its safety is critical not only for individual, but also for international safety. More and more data is being digitalized. With the growth of the value of information increases the demand for it, and at the same time – the number of those wishing to obtain unauthorized access to it. The easiest way to do this is through computer viruses.

For the first time in the history of Ukraine, in the summer of 2017, hacking attacks by the virus NotPetya struck banks, fuel stations, stores, websites of state structures for several hours [1]. Even sites of the Cabinet of Ministers and some of the largest media companies were paralyzed.

It should be noted that this problem is complicated by the dynamic increase in a number of mobile devices, the general switch to cloud technologies and the spread of Internet technologies. It leads to an increase in the spread of malicious software.

That is why the topic of the development of effective methods and technologies for counteracting computer viruses is relevant.

The analysis of the problem and formulation of the task

The main components of the antivirus system are usually a signature scanning module and a heuristic analysis module. However, if the scan method detects only known viruses, heuristic analyzers can detect new, yet unknown, viruses at the initial stage of their work.

The literature analysis [2–5] showed a large number of approaches and methods of heuristic

analysis: intelligent subsystems based on the theory of artificial intelligence, methods of fuzzy logic, cluster analysis, the theory of neural networks, genetic algorithms, and others. The main disadvantage of the heuristic method is the high frequency of false positives.

Parametric methods based on control maps and methods of statistical data processing [6, 7] can also be used to solve the set tasks. These methods are based on the assumption that there is a template for a computer system for normal behavior and any significant deviations from it may be due to the influence of intruders. That is why it is very important to evaluate the work of the computer system with maximum accuracy.

At the same time, the more input data is analyzed, the more accurate the result of the evaluation is. At the same time, if the model or evaluation criteria are not selected correctly, parametric methods lose their basic authority, which can lead to an increase in false positives.

The conducted studies have shown that the main way of eliminating these disadvantages is to improve the information technology models and to argue the choice of criteria for assessing abnormal behavior of the computer system.

Task solution

The key parameter for fractal analysis is the Hurst index. The Hurst exponent was first used by the outstanding British hydrologist Harold Edwin Hurst when designing a dam on the Nile in Egypt to assess the inflow and outflow of water [8].

Hurst, having studied the records of the floods of the Nile for nine centuries, found regularity in this process.

He proved the possibility of distinguishing a random series from a non-random one, even if the

random series is not normally distributed, linking it to the degree of self-similarity of the process. An object that has this "quality" is statistically similar in different scales - spatial or temporal, that is, it has a cyclicity.

The calculation of the Hurst exponent [9, 10] can be performed using the following formula:

$$H = \frac{\ln(R/S)}{\ln(\alpha N)}, \quad (1)$$

where H is the Hurst exponent; S is the standard deviation of a set of observations x ; R is the range of the accumulated deviation Z_u ; N is the number of observation periods; α is a given constant, a positive number.

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - X_a)^2}, \quad (2)$$

where X_a is the arithmetical mean of a set of observations x in N periods:

$$X_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i. \quad (3)$$

The range of the accumulated deviation R is the most important element of the formula for calculating the Hurst exponent. In general, it is calculated as follows:

$$R = \max_{1 \leq u \leq N} (Z_u) - \min_{1 \leq u \leq N} (Z_u), \quad (4)$$

where Z_u is the accumulated deviation of set x from the average X_a :

$$Z_u = \sum_{i=1}^u (x_i - X_a). \quad (5)$$

The Hurst exponent (H) characterizes the degree of self-similarity of the process as follows [11]:

1) $0 < H < 0.5$ is a random process that does not have self-similarity and is characterized by a tendency toward an average value;

2) $H = 0.5$ is a completely random process without a pronounced tendency;

3) $H > 0.5$ is a trend-based process that has a long memory and is self-similar.

Investigation of the Hurst exponent to assess the state of the computer system

In this paper, a study of the of the Hurst exponent, based on the analysis of the CPU and computer RAM memory for detecting the intrusion of the computer system, is implemented.

The algorithm for assessing the state of safety of the computer system is divided into four stages:

- 1) collecting data about the central processor and RAM usage;
- 2) statistical analysis;
- 3) estimation of the Hurst index;
- 4) determining the presence of anomalies.

For research, a software model has been developed that involves a variation in the number of set values. The CPU and CPU boot load values are scanned instantly and stored in the file. Information about CPU and RAM usage was recorded on 20 computers for three hours in safe mode (10,000 values) and when they were affected by various types of malicious software (VirKP55, VirMask, etc.). Received input data is fed to the input of the analysis module, which processes them and calculates the Hurst exponent.

Fig 1 shows the results of the Hurst exponent calculation for loading the central processor in safe mode. The value of the Hurst exponent goes to one, indicating the long-term dependence of the statistics.

As we can see from Fig 2, when the computer system is exposed to viruses, the Hurst exponent is characterized by direction to the average value, indicating the randomness of the process.

Identical results of the Hurst index calculation researches are obtained for the ratio of the usage factor of the central processor and RAM. In safe mode (Fig 3) we have a trend-resistant process that has a long memory and is self-similar.

When the system is affected by viruses (Fig 4), the process is completely random without a marked tendency.

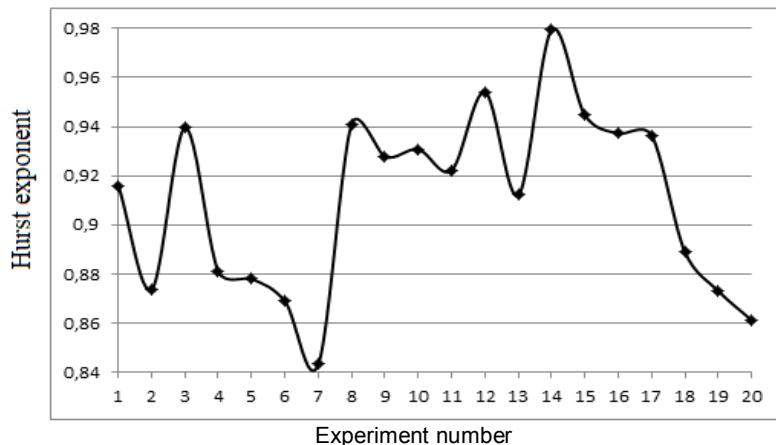


Fig. 1. Results of the Hurst exponent calculation for central processor usage in safe mode

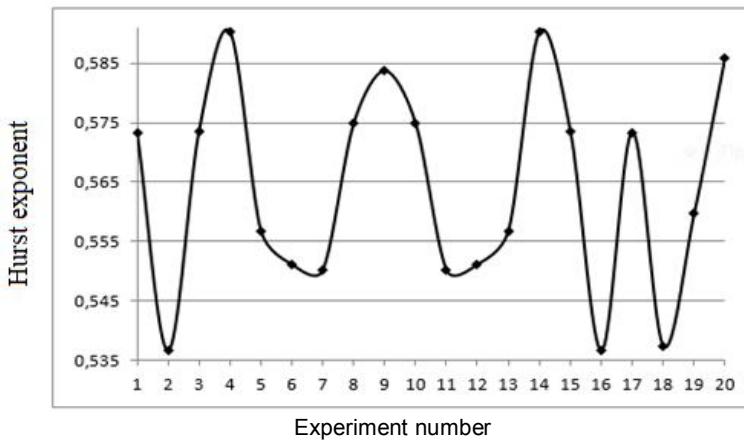


Fig. 2. Research results of the Hurst exponent calculation for the central processor usage under the influence of the system by viruses

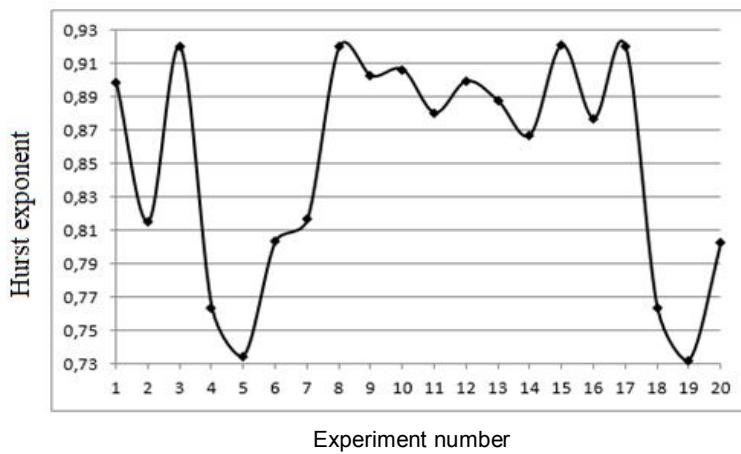


Fig. 3. The results of researches of calculation of the Hurst exponent for the ratio of the value of load of the central processor and operational memory in safe mode

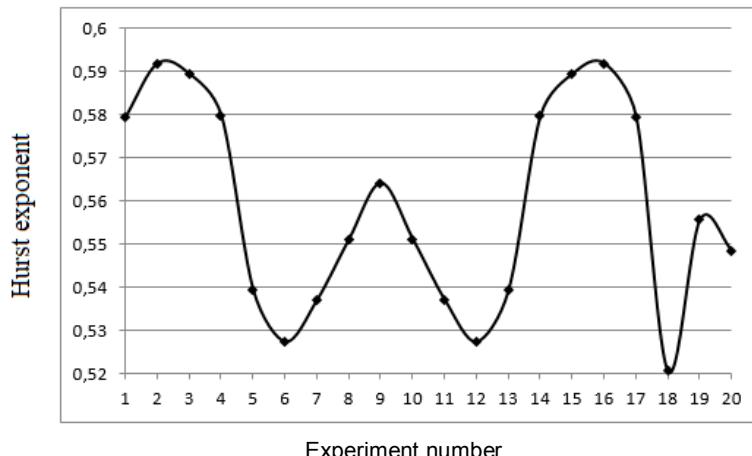


Fig 4. The results of researches of calculation of the Hurst exponent for the ratio of the central processor and operational memory usage when the system is affected by viruses

Conclusions

In this work the method of fixing anomalous behavior of computer systems on the basis of the Hurst exponent is proposed, which is based on the analysis of the central processor and RAM usage of the computer.

The results of the research showed that during normal work of the computer, the value of the Hurst exponent goes to one, indicating the long-term dependence of the statistical data. The influence of a number of viruses on a computer system leads to a change in the Hurst exponent, which is characterized by a movement to an

average value of 0.5, indicating the randomness of the process, which means that the process is not self-similar.

This experimental studies confirm the possibility of using the Hurst exponent as part of the system for detecting malicious software.

REFERENCES

1. *Cyberexpert estimated the damage from the Petya virus in the world*, available at: <https://tsn.ua/svit/kiberekspert-ocini-v-zbitki-vid-virusu-petya-a-u-sviti-953633.html> (last accessed May 31, 2017).
2. Shelukhin, O.I., Sakalema, D.Zh. and Filinova, A.S. (2013), *Identifying intrusions in computer systems*, Telecom-Hotline, Moscow, 220 p.
3. Lukatsky, A.V. (2001), *Identifying attacks*, VHB-Petersburg, Sankt-Peterburg, 624 p.
4. Semyonov, S.G., Davydov, V.V. and Gavrilenco, S.Y. (2014), *Data security in computerized control systems* (monography), LAP LAMBERT ACADEMIC PUBLISHING, Germany, 236 p.
5. Semyonov S. and Gavrilenco S. (2015), "Approximating computer system operation technologies under external action through the brusselator model with perturbation in the form of dynamic chaos", *Revista RECENT*, Transilvania University of Brasov, Romania, Vol. 16, No. 1 (44).
6. Semyonov G., Gavrilenco S. and Chelak V. (2016), Developing parametrical criterion for registering abnormal behavior in computer and telecommunication systems on the basis of economic test, *Actual problems of economics*, Kyiv, Vol 4(178), pp. 451-459.
7. Gavrylenko, S., Chelak, V. and Hornostal O. (2016), "Intrusion detection in computer systems", Proceedings of the symposium "Metrology and metrology assurance", Sozopol, Bulgaria, 2016, pp. 342-347.
8. Hurst, H.E. (1951), Long-term Storage of Reservoirs, *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 116 p.
9. Shelukhin O.I. and Antonyan, A.A. (2014), "Analysis of changes in the fractal properties of telecommunications traffic caused by abnormal intrusions", *T-Comm*, No. 6, pp. 61-64.
10. Nayman, Eric (2017), *Calculating the Hurst exponent with the purpose of finding trends (persistence) in financial markets and macroeconomic indicators*, available at: http://www.wealth-lab.net/Data/Sites/1/SharedFiles/doc/forindicators/articles/04_eric_naiman_herst.pdf (last accessed May 31, 2017).
11. Piskaryov, D. (2017), *Calculating the Hurst exponent*, available at: <https://www.mql5.com/ru/articles/2930> (last accessed May 31, 2017).

Надійшла (received) 19.06.2017
Прийнята до друку (accepted for publication) 18.10.2017

Дослідження методів вторгнення в комп'ютерні системи, засноване на показнику Херста

С. Ю. Гавриленко, В. В. Челак, М. Білогорський

Предметом дослідження даної статті є аналіз методів виявлення вторгнень в комп'ютерні системи. **Мета** статті – розробка ефективних методів і технологій протидії комп'ютерним вірусам. **Завдання:** дослідження сучасних засобів антивірусного захисту комп'ютерних систем; дослідження показника Херста для оцінки стану комп'ютерної системи; розробка програмної моделі оцінки стану комп'ютерної системи, що базується на показнику Херста, аналіз отриманих експериментальних даних. Використовуваними **методами** є: оцінка самоподібності процесу на основі показника Херста. **Отримані такі результати.** В роботі запропоновано метод фіксації аномального поведінки комп'ютерної системи на підставі показника Херста, який базується на аналізі завантаження центрального процесора і оперативної пам'яті комп'ютера. Результати досліджень показали, що вплив ряду вірусів на комп'ютерну систему призводить до прагнення показника Херста до середнього значення 0,5, що вказує на випадковість процесу. **Висновки.** Експериментальні дослідження підтверджують можливість використання показника Херста, як складової частини системи виявлення вторгнень в комп'ютерні системи.

Ключові слова: комп'ютерна система; несанкціонований доступ; комп'ютерний вірус; шкідливе програмне забезпечення; фрактальний аналіз; показник Херста.

Исследование методов вторжения в компьютерные системы, основанное на показателе Херста

С. Ю. Гавриленко, В. В. Челак, М. Белогорский

Предметом исследования в данной статье является анализ методов обнаружения вторжений в компьютерные системы. **Цель статьи** – разработка эффективных методов и технологий противодействия компьютерным вирусам. **Задачи:** исследование современных средств антивирусной защиты компьютерных систем; исследование показателя Херста для оценки состояния компьютерной системы; разработка программной модели оценки состояния компьютерной системы, базирующейся на показателе Херста, анализ полученных экспериментальных данных. Используемыми **методами** являются: оценка самоподобия процесса на основе показателя Херста. Получены **следующие результаты.** В работе предложен метод фиксации аномального поведения компьютерной системы на основании показателя Херста, который базируется на анализе загрузки центрального процессора и оперативной памяти компьютера. Результаты исследований показали, что влияние ряда вирусов на компьютерную систему приводит к стремлению показателя Херста к среднему значению 0,5, что указывает на случайность процесса. **Выводы.** Экспериментальные исследования подтверждают возможность использования показателя Херста, как составной части системы обнаружения вторжений в компьютерные системы.

Ключевые слова: компьютерная система; несанкционированный доступ; компьютерный вирус; вредоносное программное обеспечение; фрактальный анализ; показатель Херста.

Г. Г. Швачич, Е. В. Иващенко, В. В. Бусыгин

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр, Украина

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Предметом исследования является усовершенствование особенностей организации информационной безопасности функционирования многопроцессорных вычислительных систем. **Цель** работы заключается в определении и реализации мероприятий по защите информации, которые могут быть эффективны при использовании многопроцессорных модульных вычислительных систем или при параллельных расчетах на многопоточных системах. Решаются следующие **задачи**: сравнение методов защиты данных в многопроцессорных и последовательных системах, а также рассмотрение особенностей применения различных криптографических методов на методы реализации защиты; рассмотрение и выявление ключевых элементов, которые требуют особенного внимания при разработке системы безопасности. Используемыми **методами** являются: основные положения теорий вычислительных систем, параллельных вычислений, построения операционных систем, методы и алгоритмы защиты данных. Получены следующие **результаты**. Выявлены основные аспекты в определении и использовании мероприятий по защите информации, которые могут быть эффективны при использовании многопроцессорных модульных вычислительных систем или при параллельных расчетах на многопоточных системах. Проведено сравнение методов защиты данных с последовательными системами, а также рассмотрено влияние применения различных криптографических методов на методы реализации защиты данных. Показано, что основной выбор методов защиты данных в многопроцессорных системах определяется различиями от последовательных систем в теоретической и аппаратной реализации. **Выводы.** Показано, что для параллельной системы требуется больше аппаратных и программных средств и с каждым дополнительным модулем вычисления система усложняется. А это, в свою очередь, еще больше усложняет систему защиты в целом, что может повлечь некоторое замедление при выполнении прикладных программ при помощи многопроцессорных вычислительных систем. Однако в перспективе предложенный подход позволяет обеспечить повышенную безопасность функционирования многопроцессорных систем. Для защиты данных в таких системах рассматривается и анализируется ряд методов.

Ключевые слова: многопроцессорная вычислительная система; вычислительные узлы; криптографические алгоритмы; защита данных; ядро; сети; ключи; операционная система.

Введение

На современном этапе все большую роль в дальнейшем развитии информационных ресурсов играют параллельные вычислительные системы и вычисления [1 – 6]. Подобные системы находят применение в сфере военных, экономических, технологических и других процессов. В связи с их развитием, внедрением и совершенствованием широкое распространение получили методы нанесения ущерба таким ресурсам. Наибольший интерес вызывают проблемы исследования методов и средств защиты информации в параллельных вычислительных процессах. В настоящее время подобные исследования не приобрели надлежащего развития. Изучение и разработка подобной проблематики предоставит возможность для дальнейшего развития новых и уже существующих методов защиты информации. Таким образом, одной из основных проблем использования многопроцессорной и параллельной вычислительной системы является реализация методов защиты информации.

Проблема реализации методов защиты информации имеет два аспекта:

– разработка средств, реализующих криптографические алгоритмы,

– методика использования этих средств.

Предложенные далее криптографические методы могут быть реализованы либо программным, либо аппаратным способом. Возможность прог-

раммной реализации обуславливается тем, что все методы криптографического преобразования формальны и могут быть представлены в виде конечной алгоритмической процедуры.

При аппаратной реализации все процедуры шифрования и дешифрования выполняются специальными электронными схемами. Наибольшее распространение получили модули, реализующие комбинированные методы. Анализируя некоторые аспекты информационной безопасности модульных вычислительных систем можно отметить следующее:

1. Вычислительную сеть многопроцессорной системы можно считать безопасной с точки зрения обработки информации, если в ней предусмотрена централизованная система управляемых и взаимоувязанных препятствий, которая перекрывает с гарантированной надежностью (в соответствии с моделью потенциального нарушителя) количество возможных каналов несанкционированного доступа и угроз, направленных на потерю или модификацию информации, а также несанкционированное ознакомление с ней посторонних лиц.

2. При проектировании мероприятий защиты данных в параллельных вычислительных системах необходимо провести анализ мест хранения информации, интерфейса управления данными и каналами их передачи (локальными сетями или другими подобными средствами обмена данными). При этом основной аспект защиты данных должен быть направлен, в первую очередь, на защиту интерфейса управления дан-

ными, во вторую очередь, на защиту интерфейса обмена данными, и далее на места хранения информации, поскольку они наиболее уязвимы для несанкционированного доступа в параллельных моделирующих средах. Своевременная защита позволит обеспечить надежность функционирования таких систем.

Анализ проблемы и постановка задачи

В наше время круг задач, требующих для своего решения мощных вычислительных ресурсов, еще более расширился. Это связано с тем, что произошли фундаментальные изменения в самой организации научных исследований. Вследствие широкого внедрения вычислительной техники значительно усилилось направление численного моделирования и численного эксперимента. Численное моделирование, заполняя промежуток между физическими экспериментами и аналитическими подходами, позволило изучать явления, которые являются либо слишком сложными для исследования аналитическими методами, либо слишком дорогостоящими или опасными для экспериментального изучения. При этом численный эксперимент позволил значительно удешевить процесс научного и технологического поиска. Стало возможным моделировать в реальном времени процессы интенсивных физико-химических и ядерных реакций, глобальные атмосферные процессы, процессы экономического и промышленного развития регионов и т.д. Очевидно, что решение таких масштабных задач требует значительных вычислительных ресурсов.

Подавляющее большинство функционирующих супервычислительных установок являются фактически многопроцессорными параллельными вычислительными системами МРР архитектуры (Massively Parallel Processing) [1 – 5]. Многопроцессорные вычислительные системы, сконструированные на локальных сетях, стали называться «кластерными системами» или просто «кластерами». Это объясняется тем, что логически МРР – система мало отличается от обычной локальной сети. Анализ путей развития высокопроизводительных установок показывает, что реального перелома в овладении технологиями параллельных вычислений можно достичь развитием дополнительного (фактически базового) уровня в иерархии мощностей аппаратных средств многопроцессорных вычислительных систем МРР-архитектуры – персональных вычислительных кластеров [3, 5]. Область применения таких систем – овладение технологиями параллельных вычислений, создание и отладка параллельных программ, в т.ч. проблемно-ориентированных пакетов и библиотек, а также модельная прогонка разработанного ПО.

Однако проблемы, возникающие при организации информационной безопасности функционирования многопроцессорных вычислительных систем, как правило, являются первостепенными и требуют глубокого изучения и исследования. Причем такого рода исследования в настоящее время не получили своего развития. В тоже время, тенденции роста киберпреступности требуют особого внимания к проблеме

защиты данных таких систем и их программного обеспечения. В этой связи, поставленная в данной работе задача является актуальной и первоочередной.

Решение проблемы

1. Анализ информационной безопасности функционирования многопроцессорных вычислительных систем

На первом этапе рассмотрим существующие виды информационных угроз. Такие угрозы можно разделить на две больших группы:

- отказы и нарушения работоспособности программных и технических средств;

- преднамеренные угрозы, которые загодя планируются злоумышленниками для задания вреда.

Выделяют следующие основные группы причин сбоев и отказов в работе компьютерных систем:

- нарушение физической и логической целостности структур данных, которые хранятся в оперативной и внешней памяти, что возникает вследствие старения или преждевременного износа их носителей;

- нарушения, которые возникают в работе аппаратных средств из-за их старения или преждевременного износа;

- нарушение физической и логической целостности структур данных, которые хранятся в оперативной и внешней памяти, что возникает вследствие некорректного использования компьютерных ресурсов;

- нарушения, которые возникают в работе аппаратных средств из-за неправильного использования или повреждения, в том числе из-за неправильного использования программных средств;

- не устранившие ошибки в программных средствах, не выявленные в процессе отладки и испытаний, а также те, что остались в аппаратных средствах после их разработки.

Рассмотрим некоторые аспекты теории последовательного и параллельного программирования.

Параллельная программа – это огромное количество параллельных процессов, которые взаимодействуют (синхронизируют свою работу и обмениваются данными) при помощи передачи сообщений. Идея распараллеливания вычислений основана на том, что большинство заданий представляются в виде совокупности меньших заданий, которые могут быть решены одновременно. Обычно параллельные вычисления требуют координации действий. Параллельное программирование включает все черты традиционного, последовательного программирования, но в нем есть три дополнительных, четко определенных этапа. Это:

- *определение параллелизма*: анализ задания с целью выделить подзадачи, которые могут выполняться одновременно;

- *выявление параллелизма*: изменение структуры задания так, чтобы можно было эффективно выполнять подзадачи. Для этого часто требуется найти зависимости между подзадачами и организовать начальный код так, чтобы ими можно было эффективно управлять;

- *выражение параллелизма*: реализация параллельного алгоритма в начальном коде при помощи

системы обозначений параллельного программирования.

На основании изложенного можно отметить, что основное отличие параллельной системы - это увеличение количества подзадач, которые пересыпаются и могут выполняться одновременно, а также наличие отдельной системы управления этими подзадачами. Заметим, что с точки зрения ядра операционной системы поддержка кластеров и распределенных систем заключается в эффективной работе с сетью. С некоторым упрощением любую современную высокопроизводительную вычислительную систему можно представить как огромное количество многопроцессорных вычислительных узлов, связанных одной или несколькими коммуникационными сетями [7].

2. Организация информационной безопасности ресурсов многопроцессорных вычислительных систем

Вычислительную сеть можно считать безопасной в смысле обработки информации, если в ней предусмотрена централизованная система управляемых и взаимосвязанных препятствий, которые перекрывают с гарантированной прочностью количество возможных каналов несанкционированного доступа и угроз, направленных на потерю или модификацию информации, а также несанкционированное ознакомление с ней посторонних лиц.

При проектировании защиты параллельных систем, необходимо провести анализ мест хранения информации, интерфейса управления данными и каналами передачи (локальными сетями или другими подобными средствами обмена). При этом основной аспект защиты должен быть, в первую очередь, направлен на защиту интерфейса управления данными, во вторую очередь, на защиту интерфейса обмена данными и в дальнейшем на места хранения информации, поскольку они определяются как наиболее уязвимые для несанкционированного доступа. В свою очередь, своевременная защита позволит обеспечить надежность и отказоустойчивость системы в целом.

Упрощенная система защиты информационных ресурсов многопроцессорных вычислительных систем в общем виде представлена на рис. 1.

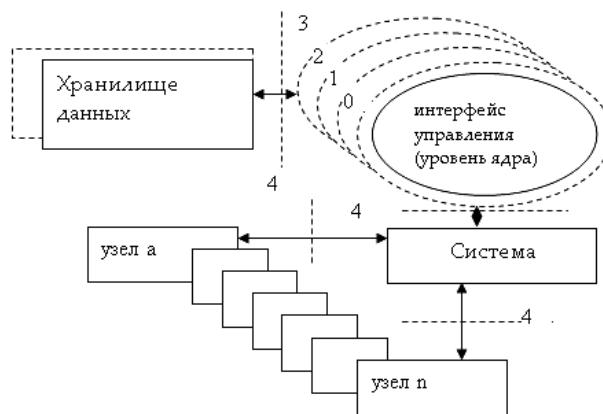


Рис. 1. Упрощенная система защиты информационных ресурсов многопроцессорных вычислительных систем

При определении защиты интерфейса управления, возможно, использовать рекомендации корпорации Intel, которая предлагает следующие уровни привилегий: 0 – ядро операционной системы; 1 – операционная система; 2 – системы программирования и базы данных; 3 – прикладные программы (предназначены для пользователя); 4 – на уровне коммутации целесообразно использовать как криптографические, так и аппаратные методы защиты; 5 – на уровне хранения желательно использовать криптографические и аппаратные методы в системе распределенного хранения информации. Подобные системы предусматривают внешний доступ и управление соответственно. При этом должны использовать и методы защиты удаленных подключений.

Основными параметрами транспортной среды с коммутацией пакетов являются количество коммутаторов (r) и длина заголовия (h), от которых непосредственно зависит время доставки массива информации. Именно величины r и h предопределяют возможность адаптации времени доставки массива данных D к конкретным узлам системы.

Поэтому процесс выбора необходимого времени доставки массива данных объемом D байтов, выходя из заданных значений величин r и h , будет определяться на основании соотношения:

$$T_{A \rightarrow B}^D = D(r+1) + \sum_{i=1}^{r+1} h_i.$$

Величина D будет меняться для систем многоканальной доставки данных с одинаковым и разным количеством транзита. Эта величина будет непосредственно зависеть от времени обработки информации (например, методы шифровки, архивации и т.д.). Наиболее полная транспортная среда описана Н.И. Алишовим [8].

3. Организации безопасности информационных ресурсов в корпоративных сетях

Рассмотрим подсистему организации безопасности информационных ресурсов в корпоративных сетях, в частности распределенных вычислительных сетях. Подсистема включает: данные, средства обработки (аппаратные и программные), активные компоненты (процессы и действия пользователей). Представим подсистему организации безопасности в виде схемы (рис. 2).

На схеме цифрами отмечены:

- аппаратные и программные средства обработки в системе коммутации;
- процессы и действия пользователей.

Для параллельной системы требуется больше аппаратных и программных средств и с каждым дополнительным модулем вычисления система усложняется. А это, в свою очередь, еще больше усложняет систему защиты в целом, снижая в некоторой степени общую вычислительную мощность.

Для защиты данных в таких системах используются указанные ниже методы и алгоритмы:

алгоритмы запутывания – используются хаотические переходы в разные части кода, внедрения

ошибочных процедур - "пустышек", холостые циклы, искажение количества реальных параметров процедур ПО, разброс участков кода по разным областям ОЗУ и тому подобное;

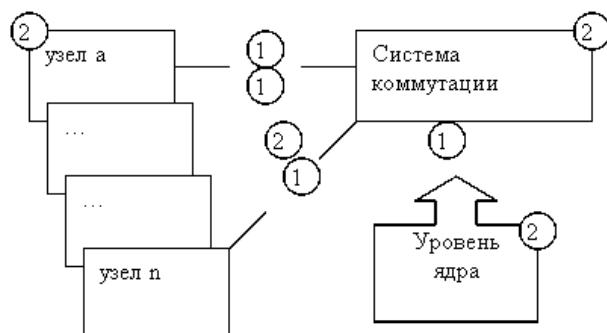


Рис. 2. Подсистема организации безопасности информационных ресурсов в корпоративных сетях

алгоритмы мутации – создаются таблицы соответствия операндов – синонимов и замена их друг на друга при каждом запуске программы по определенной схеме или случайному образу, случайные изменения структуры программы;

алгоритмы компрессии данных – программа упаковывается, а потом распаковывается по мере выполнения;

алгоритмы шифровки данных – программа шифруется, а потом расшифровывается по мере выполнения.

Вычисление сложных математических выражений в процессе отработки механизма защиты – элементы логики защиты зависят от результата вычисления значения какой-либо формулы или группы формул. Методы затруднения дизассемблирования – используются разные приемы, направленные на предотвращение дизассемблирования в пакетном режиме. Методы затруднения отладки – используются разные приемы, направленные на усложнение отладки программы.

Эмуляция процессоров и операционных систем – создается виртуальный процессор и операционная система (не обязательно реально существующие) и программа-переводчик из системы команд IBM в систему команд созданного процессора или ОС; после такого перевода ПО может выполняться только с помощью эмулятора, который резко затрудняет исследование алгоритма ПО.

Нестандартные методы работы с аппаратным обеспечением – модули системы защиты обращаются к аппаратуре ЭВМ, минуя процедуры операционной системы, и используют малоизвестные или не dokumentiruemye ее возможности.

Из рассмотренного выше можно заключить, что основным отличительным звеном уязвимости параллельных систем, являются аппаратно-программные средства системы коммутации (так как увеличивается их число) в соответствии с требованиями решаемых задач. Поэтому для средств коммутации актуальным является применение методов шифрования данных.

Существует симметричное (традиционное) и асимметричное шифрование данных. Они известны

и применяются во многих последовательных системах. Однако наиболее перспективным для исследования и дальнейших модификаций в параллельных системах является метод блуждающих ключей.

4. Защита данных при помощи метода блуждающих ключей

Проблема распределения ключей является наиболее острой в больших информационных системах, к которым можно отнести большую часть параллельных систем. Частично эта проблема решается (а точнее снимается) за счет использования открытых ключей. Но наиболее надежные криптосистемы с открытым ключом типа RSA достаточно трудоемки, а для шифрования мультимедийных данных и вовсе не приспособлены. Оригинальные решения проблемы "блуждающих ключей" активно разрабатываются специалистами [9 – 11]. Эти системы являются некотором компромиссом между системами с открытыми ключами и обычными алгоритмами, для которых требуется наличие одного и того же ключа и у отправителя и у получателя.

Рассмотрим суть идеи метода. После того, как ключ использован в одном сеансе, по некоторому правилу он изменяется в другом. Это правило должно быть известно и отправителю, и получателю. Зная такое правило, при получении очередного сообщения получатель тоже меняет ключ. Если правило изменения ключей придерживается и отправитель, и получатель, то в каждый момент времени они имеют одинаковый ключ. Постоянное изменение ключа затрудняет раскрытие информации злоумышленником.

Основное задание в реализации этого метода – выбор эффективного правила изменения ключей. Наиболее простой путь – генерация случайного списка ключей. Изменение ключей осуществляется в порядке списка. Однако очевидно, список придется каким-то образом передавать.

Другой вариант – использование математических алгоритмов, основанных на так называемых перебирающих последовательностях. На огромном количестве ключей путем одной и той же операции над элементом выходит другой элемент. Последовательность этих операций позволяет переходить от одного элемента к другому, пока не будет перебрано все множество.

5. Реализация криптографических методов

Проблема реализации методов защиты информации имеет два аспекта (рис. 3):

- разработку средств, реализующих криптографические алгоритмы;

- методику использования этих средств.

Каждый из рассмотренных криптографических методов может быть реализован или программным, или аппаратным способом. Возможность программной реализации обусловливается тем, что все методы криптографического превращения формальны и могут быть представлены в виде конечной алгоритмической процедуры. При аппаратной реализации все процедуры шифрования и дешифрования выполняются специальными электронными средствами.

Наибольшее распространение получили модули, реализующие комбинированные методы.



Рис. 3. Схема реализации криптографических методов защиты данных

Рассмотрим практическую реализацию данных методов. Осветим при этом несколько базовых алгоритмов шифрования.

5.1. Алгоритм DES

DES (Data Encryption Standard) – это симметричный алгоритм шифрования, т. е. один ключ используется как для зашифровки, так и для расшифровки сообщений. Разработан фирмой IBM и утвержден правительством США в 1977 как официальный стандарт. DES имеет блоки по 64 бит и основан на 16-ти кратной перестановке данных, для зашифровки использует также ключ в 56 бит. Существует несколько режимов DES, например Electronic Code Book (ECB) и Cipher Block Chaining (CBC). 56 бит – это 8 семибитовых ASCII символов, т. е. пароль не может быть длиннее 8 букв. Если в добавок использовать только буквы и цифры, то количество возможных вариантов будет гораздо меньше максимально возможных 256.

Рассмотрим один из шагов алгоритма DES. Входной блок данных делится пополам на левую (L') и правую (R') части. После этого формируется выходной массив так, что его левая часть L'' представлена правой частью R' входного; из 32-битового слова R' с помощью битовых перестановок формируется 48-битовое слово. К полученному 48-битовому слову и 48-битовому раундовому ключу применяется операция XOR. Результирующее 48-битовое слово разбивается на 8 6-битовых групп; каждая 6-битовая группа

с помощью соответствующего S-box'a заменяется на 4-битовую группу, и из полученных восьми 4-битовых групп составляется 32-битовое слово. К полученному слову и L' применяется XOR, в результате получается R'' . Можно убедиться, что все проведенные операции могут быть обратимы, и расшифровка может осуществляться за число операций, линейно зависящее от размера блока. После нескольких таких проходов можно считать, что каждый бит выходного блока шифровки может зависеть от каждого бита сообщения.

5.2. Алгоритм “тройной DES”

Так как текст, зашифрованный двойным DES (встреча на середине (meet in the middle)), оказывается хрупким при криптографической атаке, то текст шифруется 3 раза DES. Таким образом, длина ключа возрастает до 168-бит (56×3). Не всегда применение тройного DES означает увеличение уровня безопасности сообщения. Типы тройного шифрования DES:

– DES-EEE3: шифруется 3 раза с 3 различными ключами;

– DES-EDE3: 3 DES операции шифрование - дешифрование - шифрование с 3 разными ключами;

– DES-EEE2 и DES-EDE2: как и предыдущие, за исключением того, что первая и третья операции используют одинаковый ключ.

В табл. 1 приведено сравнение различных видов DES шифрования.

5.3. Алгоритм ГОСТ

ГОСТ предусматривает 3 режима шифрования (простая замена, гаммирование, гаммирование с обратной связью) и один режим выработки имитовставки. Первый из режимов шифрования предназначен для шифрования ключевой информации и не может использоваться для шифрования других данных, для этого предусмотрены два других режима шифрования. Режим выработки имитовставки (криптографической контрольной комбинации) предназначен для имитозащиты шифруемых данных, то есть для их защиты от случайных или преднамеренных несанкционированных изменений.

Алгоритм построен по тому же принципу, что и DES – это классический блочный шифр с секретным ключом – однако отличается от DES'а большей длиной ключа, большим количеством раундов, и более простой схемой построения самих раундов.

Таблица 1. Сравнение видов DES шифрования

Тип шифрования	Колич. ключей	Вычисление (Computation)	Хранение (Storage)	Тип атаки
Одиночный	1	256	-	known plaintext
Одиночный	1	238	238	chosen plaintext
Одиночный	1	-	256	chosen plaintext
Двойной	2	2112	-	known plaintext
Двойной	2	256	256	known plaintext
Двойной	2	-	2112	chosen plaintext
Тройной	2	2112	-	known plaintext
Тройной	2	256	256	256 chosen plaintext
Тройной	2	2(120- t)	-	2t known plaintext
Тройной	2	-	256	chosen plaintext
Тройной	3	2112	256	known plaintext
Тройной	3	256	2112	chosen plaintext

Из-за намного большей длины ключа ГОСТ гораздо устойчивей DES'a к вскрытию "грубой силой" – путем полного перебора по множеству возможных значений ключа.

Функция шифрования ГОСТа гораздо проще функции шифрования DES'a, она не содержит операций битовых перестановок, коими изобилует DES и которые крайне неэффективно реализуются на современных универсальных процессорах (хотя очень просто аппаратно – путем разводки проводников в кристалле или на плате). В силу сказанного, при вдвое большем количестве раундов (32 против 16) программная реализация ГОСТа на процессорах Intel x86 более чем в 2 раза превосходит по быстродействию реализацию DES'a. Естественно, сравнивались близкие к оптимуму по быстродействию реализации.

Из других отличий ГОСТа от DES'a надо отметить следующие: На каждом раунде шифрования используется "раундовый ключ", в DES'e он 48-битовый и вырабатывается по относительно сложному алгоритму, включающему битовые перестановки и замены по таблице, в ГОСТе он берется как фрагмент ключа шифрования. Длина ключа шифрования в ГОСТе равна 256 битам, длина раундового ключа - 32 битам, итого получаем, что ключ шифрования ГОСТа содержит $256/32=8$ раундовых ключей. В ГОСТе 32 раунда, следовательно, каждый раундовый ключ используется 4 раза, порядок использования раундовых ключей установлен в ГОСТе и различен для различных режимов. Таблица замен в ГОСТе – аналог S-блоков DES'a - представляет собой таблицу (матрицу) размером 8x16, содержащую число от 0 до 15. В каждой строке каждое из 16-ти чисел должно встретиться ровно 1 раз. В отличие от DES'a, таблица замен в ГОСТе одна и та же для всех раундов и не зафиксирована в стандарте, а является сменяемым секретным ключевым элементом. От качества этой таблицы зависит качество шифра. При "сильной" таблице замен стойкость шифра не опускается ниже некоторого допустимого предела даже в случае ее разглашения. И наоборот, использование "слабой" таблицы может уменьшить стойкость шифра до недопустимо низкого предела.

5.4. Шифр Blowfish

Blowfish – это 64-битный блочный шифр разработанный Шнейером (Schneier) в 1993 году. Это шифр Файстела (Feistel) [12], и каждый проход состоит из зависимой от ключа перестановки и зависимой от ключа с данными замены. Все операции основаны на операциях XOR и прибавлениях к 32-битным словам (XORs and additions on 32-bit words). Ключ имеет переменную длину (максимально 448 бит) и используется для генерации нескольких подключевых массивов (subkey arrays). Шифр был создан специально для 32-битных машин и существенно быстрее DES.

5.5. Шифр RC5

RC5 – это довольно быстрый блочный шифр, разработанный Ривестом для RSA Data Security. Этот алгоритм параметрический, т.е. с переменным размером блока, длиной ключа и переменным чис-

лом проходов. Размер блока может быть 32, 64, или 128 битов. Количество проходов в промежутке от 0 до 2048 бит. Параметричность такого рода дает гибкость и эффективность шифрования. RC5 состоит из ввода ключа (key expansion), шифрования и дешифровки. При вводе ключа вводятся также количество проходов, размер блока и т.д. Шифрование состоит из 3 примитивных операций: сложения, побитового XOR и чередования (rotation). Исключительная простота RC5 делает его простым в использовании. RC5 текст, также как и RSA, может быть дописан в конец письма в зашифрованном виде. Безопасность RC5 основывается на зависящих от данных чередования и смешивания результатах различных операций. RC5 с размером блока 64 бита и 12 или более проходов обеспечивает хорошую стойкость к дифференциальному и линейному криптоанализу.

5.6. Шифр IDEA

IDEA (International Data Encryption Algorithm) – это вторая версия блочного шифра, разработанная К. Лейем (Lai) [13] и Д. Месси (Massey) в конце 80-х. Это шифр, состоящий из 64-битных повторяющихся блоков со 128-битным ключом и восемью проходами (rounds). Хотя этот шифр не является шифром Файстела, дешифровка выполняется по тому же принципу, что и шифрование. Структура шифра была разработана для легкого воплощения как программно, так и аппаратно, и безопасность IDEA основывается на использовании трех несовместимых типов арифметических операций над 16-битными словами. Скорость программного IDEA сравнима со скоростью DES. Один из принципов создания IDEA – затруднить дифференциальный криптоанализ. Ни одна линейная криптоаналитическая атака не закончилась успешно, как и не было выявлено алгебраически слабых мест. Самый полный анализ провел Daemen. Он открыл большой класс 251 слабых ключей, при использовании которых в процессе шифрования ключ может быть обнаружен и восстановлен. Однако, в IDEA существует 2128 возможных вариантов ключей, поэтому это открытие не влияет на практическую безопасность шифра.

5.7. Шифр RSA

RSA (авторами являются Rivest, Shamir и Alderman) – это система с открытым ключом (public-key), предназначенная как для шифрования, так и для аутентификации. Она основана на трудности разложения очень больших целых чисел на простые сомножители. RSA – очень медленный алгоритм. Для сравнения: на программном уровне DES по меньшей мере в 100 раз быстрее RSA, на аппаратном – в 1000-10000 раз, в зависимости от выполнения. Алгоритм RSA состоит в следующем:

- для двух очень больших целых чисел P и Q определяются $N=PQ$ и $M=(P - 1)(Q - 1)$;
- выбирается случайное целое число D, взаимно простое с M, и вычисляется $E = (1 \bmod M)/D$;
- D и N публикуются как открытый ключ, а E сохраняется в тайне;
- пусть S – сообщение. Его длина определяется значением выражаемого им целого числа и находится

ся в интервале $(1, N)$. S превращается в шифровку возведением в степень D по модулю N и отправляется получателю $S' = (SD \bmod N)$;

– получатель сообщения расшифровывает его, возведя в степень E (число E ему уже известно) по модулю N , т. к. $S = ((S')^D \bmod N) = (SDE \bmod N)$.

5.8. Шифрование PGP

Pretty Good Privacy(PGP) - это программный пакет, разработанный Филиппом Циммерманом (Philip Zimmerman), который обеспечивает шифровку почты и файлов. Циммерман взял существующие криптосистемы и криптографические протоколы и разработал бесплатную (freeware) программу для различных платформ. Она обеспечивает шифрование сообщений, цифровые подписи и совместимую почту (email compatibility).

Алгоритмы, используемые для шифрования сообщений - это RSA для передачи ключа и IDEA для самого шифрования сообщений. Цифровые подписи достигаются при использовании RSA для подписи и MD5 для вычисления дайджеста сообщения (message digest). PGP использует ZIP компрессию, а также маскирует координаты и данные отправителя, что немножко осложняет процесс анализа трафика. Совместимость почты достигается путем использования Radix-64 конвертации (conversion).

Выводы

В работе показано, что в настоящее время наибольший интерес вызывают проблемы исследования методов и средств защиты информации в параллельных вычислительных процессах. Это объясняется тем, что подобные исследования не приобрели над-

лежащего развития. Изучение и разработка подобной проблематики позволяет создать новые и развить уже существующие методы защиты информации.

В работе показано, что для параллельной системы требуется больше аппаратных и программных средств и с каждым дополнительным модулем вычисления система усложняется. А это, в свою очередь, еще больше усложняет систему защиты в целом, что может повлечь некоторое замедление при выполнении прикладных программ. Однако в перспективе предложенный подход позволяет обеспечить повышенную безопасность функционирования многопроцессорных систем. Для защиты данных в таких системах рассматривается и анализируется ряд методов. В соответствии с некоторыми аспектами построения многопроцессорных систем рассмотрены и выявлены ключевые элементы, которые требуют особенного внимания при разработке системы безопасности. Показано, что основной выбор методов защиты данных в многопроцессорных системах определяется различиями от последовательных систем в теоретической и аппаратной реализации.

Показано, что на современном этапе комбинированные средства шифрования, включающие программно-аппаратные средства являются наиболее актуальными как в плане использования так и в плане разработок. При этом выявлено, что выбор метода реализации криптозащиты для параллельной вычислительной системы зависит от ее направленности и конструктивных особенностей, а использование блуждающих ключей предоставляет возможность повысить универсальность системы, при небольших потерях производительности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rajkumar B. High Performance Cluster Computing. New Jersey: Prentice-Hall, 1999. 453 p.
2. Xu Z. Scalable Parallel Computing Technology, Architecture, Programming . Boston: McGraw-Hill, 1998. 557 p.
3. Shvachych G.G., Tkach M.A., Shcherbyna P.A. About problems of designing of the high-efficiency integrated environment on the basis of computing clusters. Nauka i innowacja – 2008: Przemysl : Nauka i stadia, 2008. S. 41 – 46.
4. Beowulf Introduction & Overview [Електронний ресурс]. Режим доступа: <http://www.beowulf.org> (24.05.2017).
5. Shvachych G.G. Prospects of construction highly productive computers systems on the base of standard technologies. Strategy of Quality in Industry and Education: IV Int. Conf.; May 30 – June 6, 2008; Varna; Bulgaria, 2008. V. 2. P. 815 – 819.
6. Buuya R. High Performance Cluster Computing. USA, 1999.
7. Лацис А.О. Как построить и использовать суперкомпьютер. М.: Бестселлер, 2003. 240 с.
8. Алишов Н.И. Развитые методы взаимодействия ресурсов в распределенных системах. К.: Сталь, 2009. 448 с.
9. Brassard J. Modern Cryptology. Springer – Verlag, Berlin – Heidelberg, 1988. 107 p.
10. Capocelli R.M., De Santis A., Gargano L., Vaccaro U. On the Size of Shares for Secret Sharing Schemes. J. Cryptology. 1993. V.6. P. 157–167.
11. Goldreich O. On the Foundations of Modern Cryptography. Proc. of CRYPTO'97, LNCS. 1997. V.1294. P. 46–74.
12. Feistel Horst. Cryptography and Computer Privacy. Scientific American. Vol. 228, No. 5. 1973.
13. Zheng Gong, Xuejia Lai, Kefei Chen. A Synthetic Indifferentiability Analysis of Some Block-Cipher-Based Hash Functions, 2009. P. 293-385.

REFERENCES

1. Rajkumar, B. (1999), *High Performance Cluster Computing*, New Jersey, Prentice-Hall, 453 p.
2. Xu, Z. (1998), *Scalable Parallel Computing Technology, Architecture, Programming*, McGraw-Hill, Boston, 557 p.
3. Shvachych, G.G., Tkach, M.A. and Shcherbyna, P.A. (2008), “About problems of designing of the high-efficiency integrated environment on the basis of computing clusters”, *Nauka i innowacja*, Materiały IV Midzynarodnej naukowi-praktycznej konferencji, T. 11. Nowoczesne informacyjne technologie, Nauka i stadia, Przemysl, pp. 41–46.
4. *Beowulf Introduction & Overview*, available at: <http://www.beowulf.org> (last accessed May 24, 2017).
5. Shvachych, G.G. (2008), “Prospects of construction highly productive computers systems on the base of standard technologies”, *Strategy of Quality in Industry and Education*, IV Int. Conf.; May 30 – June 6; Varna; Bulgaria, Vol. 2. pp. 815–819.

6. Buyya, R. (1999), *High Performance Cluster Computing*, USA.
7. Latsis, A.O. (2003), *How to build and use a supercomputer*, Bestseller, Moscow, 240 p.
8. Alishov, N.I. (2009), *Developed methods for interaction of resources in distributed systems*, Stal, Kyiv, 448 p.
9. Brassard, J. (1988), *Modern Cryptology*, Springer – Verlag, Berlin – Heidelberg, 107 p.
10. Capocelli, R.M., De Santis, A., Gargano, L. and Vaccaro, U. (1993), “On the Size of Shares for Secret Sharing Schemes”, *J. Cryptology*, V.6, pp. 157–167.
11. Goldreich, O. (1997), On the Foundations of Modern Cryptography, Proc. of CRYPTO'97, LNCS, Vol. 1294, pp. 46–74.
12. Horst, Feistel (1973), “Cryptography and Computer Privacy”, *Scientific American*, Vol. 228, No. 5.
13. Zheng, Gong, Xuejia, Lai and Kefei, Chen (2009), *A Synthetic Indifferentiability Analysis of Some Block-Cipher-Based Hash Functions*, pp. 293–385.

Надійшла (received) 25.06.2017
Прийнята до друку (accepted for publication) 18.10.2017

Деякі аспекти організації інформаційної безпеки функціонування багатопроцесорних обчислювальних систем

Г. Г. Швачич, О. В. Іващенко, В. В. Бусигін

Предметом дослідження є удосконалення особливостей організації інформаційної безпеки функціонування багатопроцесорних обчислювальних систем. **Мета** роботи полягає у визначенні та реалізації заходів щодо захисту інформації, які можуть бути ефективними при використанні багатопроцесорних модульних обчислювальних систем. Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні **задачі**: порівняння методів захисту даних у багатопроцесорних і послідовних системах, а також розгляд особливостей застосування різних криптографічних методів на методи реалізації захисту; відповідно до деяких аспектів побудови багатопроцесорних систем розгляд і виявлення ключових елементів, які вимагають особливої уваги при розробці системи безпеки; показати, що основний вибір методів захисту даних у багатопроцесорних системах визначається відмінностями від послідовних систем в теоретичній і апаратній реалізації. Використовуваними **методами** є: основні положення теорії обчислювальних систем, теорії паралельних обчислень, теорії побудови операційних систем, методи та алгоритми захисту даних. Отримано наступні **результати**. Виявлено основні аспекти у визначенні та використанні заходів щодо захисту інформації, які можуть бути ефективними при використанні багатопроцесорних модульних обчислювальних систем, або при паралельних розрахунках на багатопотокових системах. Проведено порівняння методів захисту даних з послідовними системами, а також розглянуто вплив застосування різних криптографічних методів на методи реалізації захисту даних. Показано, що основний вибір методів захисту даних у багатопроцесорних системах визначається відмінностями від послідовних систем в теоретичній і апаратній реалізації. **Висновки.** Відповідно до деяких аспектів побудови багатопроцесорних систем розглянуто та виявлено ключові елементи, які вимагають особливої уваги при розробці системи безпеки. У роботі показано, що для паралельної системи потрібно більше апаратних та програмних засобів і з кожним додатковим модулем обчислення система ускладнюється. А це, в свою чергу, ще більше ускладнює систему захисту в цілому, що може спричинити деяке уповільнення виконання прикладних програм за допомогою багатопроцесорних обчислювальних систем. Для захисту даних в таких системах розглядається та аналізується ряд методів. Проте в перспективі запропонований підхід дозволяє забезпечити підвищений рівень безпеки функціонування багатопроцесорних систем.

Ключові слова: багатопроцесорна обчислювальна система; обчислювальні вузли; криптографічні алгоритми; захист даних; ядро; мережі; ключі; операційна система.

Some aspects of the organization of information security of functioning of multiprocessor computing systems

G. Shvachich, O. Ivaschenko, V. Busygin

The **subject** of the research is to improve the features of the organization of information security of multiprocessor computing systems. The **goal** of this work is to identify and implement measures to secure information that can be effective when using multiprocessor modular computing systems or in parallel calculations on multithreaded systems. To achieve this goal, the following **tasks** are solved: comparison of data protection methods in multiprocessor and sequential systems, as well as study of the specifics of applying various cryptographic methods to the methods of implementing protection; in accordance with some aspects of constructing multiprocessor systems, consideration and identification of key elements that require special attention in the development of a security system; to show that the main choice of data protection methods in multiprocessor systems is determined by differences from sequential systems in the theoretical and hardware implementation. The **methods** used are: main provisions of the theory of computing systems, theory of parallel computing, theory of the construction of operating systems, methods and algorithms for data protection. The following **results** were obtained. The main aspects in definition and use of information protection measures that can be effective when using multiprocessor modular computing systems or in parallel calculations on multithreaded systems are identified. Comparison of methods of data protection with sequential systems is carried out, and also the influence of application of various cryptographic methods on methods of data protection implementation is considered. It is shown that the main choice of data protection methods in multiprocessor systems is determined by differences from sequential systems in theoretical and hardware implementation. The **conclusions**. In accordance with some aspects of the construction of multiprocessor systems, the key elements that require special attention in the development of a security system are examined and identified. The paper shows that a parallel system requires both more hardware and software, and with each additional calculation module the system becomes more complex. And this, in turn, further complicates the protection system as a whole, which may entail some slowdown in the execution of application programs with the help of multiprocessor computing systems. However, in the long term, the proposed approach makes it possible to provide increased security for the operation of multiprocessor systems. To protect data in such systems, a number of methods are considered and analyzed.

Keywords: multiprocessor computing system; computational nodes; cryptographic algorithms; data protection; core, networks; keys; operating system.

Applied problems of information systems operation

UDC 355.47; 912.64

doi: 10.20998/2522-9052.2017.2.12

A. A. Bayramov, E. G. Hashimov

War College of Armed Forces of the Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan

THE NUMERICAL ESTIMATION METHOD OF A TASK SUCCESS OF UAV RECONNAISSANCE FLIGHT IN MOUNTAINOUS BATTLE CONDITION

The numerical estimation of performance of battle task in mountainous region by using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) reconnaissance flight is very important for theatre-of-war planning of battle operations. In paper, the numerical estimation method of a task support success of UAV reconnaissance flight in mountainous battle condition has been offered and considered. This method is based on the probabilistic approach. The battle support (security) is activities complex realized for the purpose of creation of the favorable conditions for successful battle activities and enemy impact degradation for any conditions. The battle support includes reconnaissance, electronic warfare, tactical camouflage, engineering support, radiation-chemical and biological protection, aiming control and astrogeodetic support, hydro-meteorological support, protection. The minimum of permissible safety height of UAV flight by using geoinformation system (GIS) technology has been determined. Only the UAV tactic reconnaissance flight is considered in paper. For solution of this task, the various input parameters have been took into account: security events set of the troops, security events set of UAV reconnaissance flights, set of the UAV performance characteristics, set of UAV operating conditions, set of mountainous landscape characteristics. The calculations have been carried out for the specific conditions of one of the mountainous broken ground region of the Azerbaijan Republic.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle; reconnaissance flight; probabilistic parameters; Geoinformation System; mountainous region.

Introduction

The numerical estimation of performance of battle task in mountainous region by using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) reconnaissance flight is very important for theatre-of-war planning of battle operations. The numerical estimation is mean a level of the battle task performance, which is varied from 0 to 1. For solution of this task it is necessary to know next input parameters:

- security events set of the troops;
- security events set of UAV reconnaissance flights;
- set of the UAV performance characteristics;
- set of UAV operating conditions;
- set of mountainous landscape characteristics.

Below the method of numerical estimation method of a success level of the battle support based on the application of UAV reconnaissance flight in mountainous battle conditions. The battle (strategical) support is activities complex realized for the purpose of creation of the favorable conditions for successful battle activities and enemy impact degradation for any conditions. The battle support (security) includes reconnaissance, electronic warfare, tactical camouflage, engineer support, radiation-chemical and biological protection, aiming control and astrogeodetic support, hydro-meteorologic support, protection [1]. Only UAV tactical reconnaissance will be considered below.

The problem formulation

Taking into an account that the considered process is stochastic, then the numerical estimation of events realization can be carried out by using probabilistic factors: a degree of success of the event of battle

support, a guaranteed probability of realization of the event of battle support, a probability of realization of the M events among of all Z events etc. For the purpose of finally solution (choice reasonable option of battle support) it is necessary to use a validity criterion [2].

The investigation task is: by using UAV to find reasonable option of a battle support U^* belong among U set when a mathematical expectation of the number of successfully performed events of battle support will be the largest, that is

$$U^* \in U : M_{suc}^*(t) = \sup M'_{suc}(t), \quad (1)$$

where $M'_{suc}(t)$ is determined by method of the examination of obtained calculated values of the mathematical expectation in sample of its general set.

Calculated values of the mathematical expectation of the number of successfully performed events are calculated by next formula [3, 4]

$$M_{suc}(t) = \sum_{i=1}^Z P_{suci}(t), \quad (2)$$

where $P_{suci}(t)$ is a probability of successfully performed i event of UAV battle support; Z is a common number of performing events.

UAV flight above mountainous landscape with terrain following

The providing of accident-free UAV application is the main task during UAV flight in mountainous difficult broken relief. The mathematical model of UAV flight in regime of the terrain following was offered in

[5]. The minimal permissible safety height of flight is the main operation factor determined UAV flight safety in regime of the terrain following. The minimal permissible safety height of UAV flight is determined from the conditions of UAV non-collision with ground. It is depended from UAV mobility and maximum overloads, the rate of overloads forming, the range of permissible flight speed:

$$H_{min} = f(n, k_{max}, t, \Delta V),$$

where n is a value of the normal component of overload determined by the limiting value of lift force which can be formed at instantaneous values of flight height and speed; k_{max} is the maximum overload (UAV ultimate strength limit) determined by the maximum permissible value of lift force; t is a duration of normal overload formation; ΔV is a range of flight speed.

The duration of normal overload formation t defines possibilities of violent maneuvers making demanded an agility of flight trajectory curvature in

UAV plane of symmetry. It is very important during flyby around mountainous difficult broken relief of the terrain.

The duration of normal overload formation t and type of dependence

$$\Delta n = f(t)$$

are depended from UAV moment of inertia relatively transverse axis; damping moment; static steadiness moments, efficiency of elevation rudder, sluggishness of UAV moving control.

Let's determine the minimum of permissible safety height of UAV flight by using geoinformation system (GIS) technology. We use experimental data obtaining in our previous work [8]. The task of determination of the height relief for specific region of the Azerbaijan Republic by using GIS technology had been considered in this work. Let's consider the features of UAV reconnaissance flight between observation point A and point B (see Fig. 1 [6]).

The height relief between observation point A and point B

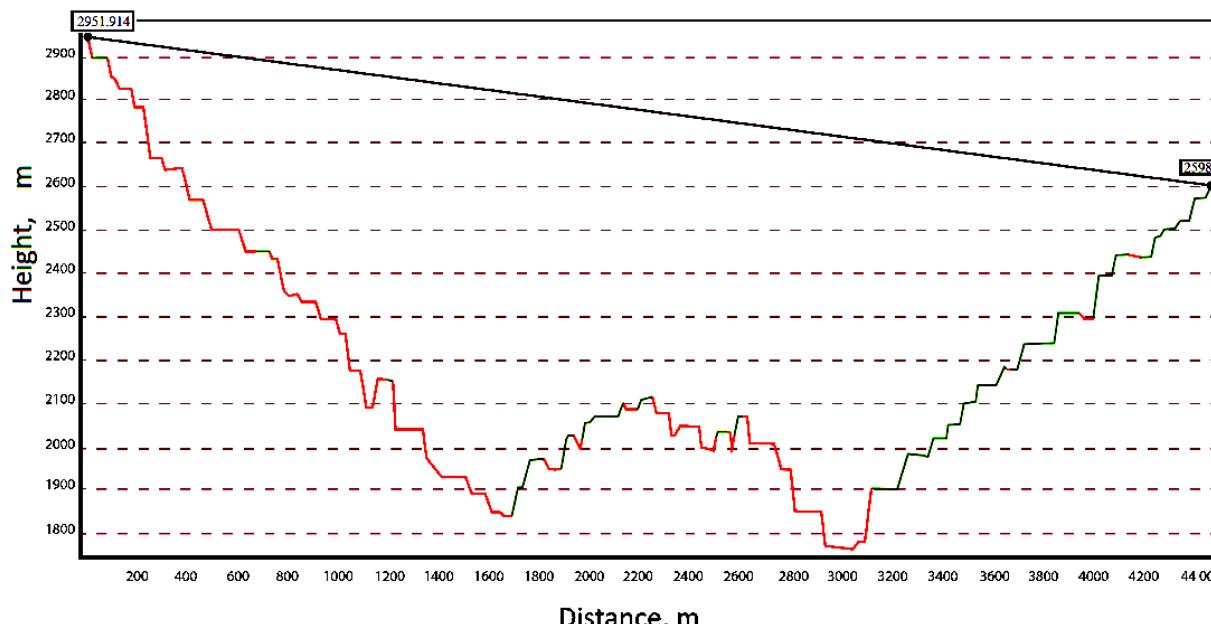


Fig. 1. The height relief between observation point A (2951 m height) and point B (2590 m height) obtained by using GIS technology: red colour lines are invisible areas, green colour lines are visible areas

By analyzing data from fig. 1 we can make next conclusions:

- at UAV flight on 4400 m distance the mountain with 250 m height is the highest obstacle 1600 m away from point A;
- the hill with 50 m height is the highest among hills 1100 m away from point A;
- the cruising speed of used wing-shaped "Trimble UX5 HP" UAV [9] is 24 m/sec;
- the widths of the largest depression in point of 1600-1700 m from away A and in point of 2900-3100 m from away A are from 100 m till 200 m;
- the estimated flight time these depressions are from 5 till 10 sec.

By using these date, we can estimate that the minimum permissible safety height of UAV flight in

regime of the terrain following taking into account UAV speed change is ≈ 50 m.

The probability of UAV battle task realization

Now, let's consider and estimate the probability (a success level) of UAV reconnaissance flight realization.

Let's write the expression of an objective function of successful realization of one battle task based on one UAV application [8].

Then, for the battle conditions, we get the next expression:

$$P_{suc}(t) = K_{per}(t) \cdot K_{env}(t) \cdot P_{unf}(t) \times \\ \times P_{im}(t) \cdot P_{hid}(t) \cdot P_{inf}(t) \cdot P_{unaf}(t). \quad (3)$$

We don't take into account correlations between factors in (3). Here:

$K_{per}(t)$ is the factor of personnel combat readiness for the battle tasks realization;

$K_{env}(t)$ is the factor of nature features (mountainous landscape, wind etc.);

$P_{unf}(t)$ is a probability of UAV fault-free operation;

$P_{im}(t)$ is a probability of objects and events identification;

$P_{hid}(t)$ is a probability of hidden UAV operation;

$P_{inf}(t)$ is a probability of information transfer to central post;

$P_{undes}(t)$ is a probability of UAV un-destruction.

For getting the specific expressions in (3) we need to choose the theoretical laws of random values distribution. In considered case we can choose exponential and normal distribution laws [2–4]. At the same time, for determination of the values of coefficients and probabilities in objective function (3) we need to use empirical data obtained, for example, in tactical exercises.

In case of realization of the M events of battle support by using one UAV, the probabilities of successful realization of the indicated events are determined by formula

$$P_{sucM}(t) = \prod_{i=1}^M P_{suci}(t),$$

In case of realization of the K events of battle support from Z events we can use Bernoulli's formula [4]:

$$P_{sucKZ}(t) = C_{KZ} P_{suck}(t) \cdot [1 - P_{suc}(t)]^{Z-K},$$

where C_{KZ} is the number of combination of executed battle support events

$$C_{KZ} = \frac{Z!}{K!(Z-K)!}.$$

The guaranteed probability $P_G(Z,t)$ of successful realization Z events of UAV battle support in combat task conditions can be determined by using Poisson's formula [4]:

$$P_G(Z,t) = \exp(-\lambda \cdot t) \cdot \sum_{k=0}^Z \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!},$$

where $\lambda = 1/T$, T is average time of battle task realization.

Let's carry out specific calculations for practice event with conditions described in [6] (fig. 1).

Let's assume, that personal is ready at all to realize combat task, that is, $K_{per}(t) = 1$.

The reconnaissance event is realized in conditions of mountainous difficult broken relief of the terrain (see fig. 1).

Given region is characterized by leap direction and speed of air flow till 15-20 m height, and by unstable state of atmosphere till 100 m height. The UAV has obstacle's sensors.

The UAV's frame is made on based of very firm and light composite fiber carbon material. This UAV's

frame can be stand high overloads and can execute spin round. Based on the expert judgements and height relief (fig. 1) we can assume that $K_{env}(t) = 0,90$.

The UAV used by us has high reliability [7], therefore $P_{unf}(t) = 0,92$.

UAV has high-precision optics, and it provides a high probability of events and objects identification, that is $P_{im}(t) = 1$.

By using the results of investigations in [9,10,11], we determine a probability of UAV hidden operation $P_{hid}(t) = 0,80$.

Taking into account that the distance of information transfer is less 5000 m, then we can assume that the probability of information transfer to central post is $P_{inf}(t) = 1$.

Taking into account that UAV executes flight not above enemy region then the probability non-destruction of UAV is $P_{undes}(t) = 1$.

Thereby, taking into account above obtained parameters and coefficients in (1) we can determine the probability of successful realization (level realization) of reconnaissance task in conditions of mountainous difficult broken relief of the terrain:

$$P_{suc}(t) = 1 \cdot 0,90 \cdot 0,92 \cdot 1 \cdot 0,80 \cdot 1 \cdot 1 = 0,66$$

or

$$Psuc(t) = 66\%.$$

Mountainous very difficult broken relief of the terrain and atmospheric meteorological conditions causes such not high probability;

When N identical UAVs execute one battle task [8] then we have

$$P_{suc}(t) = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_{suci}(t))$$

When $N = 2$ UAVs, then $P_{suc}(t) = 88\%$.

When $N = 3$ UAVs, then $P_{suc}(t) = 96\%$.

Thereby, 3 UAVs are sufficient for successful, with high probability level, execution of combat reconnaissance task.

Conclusion

Thus, the numerical estimation method of a combat task success of UAV reconnaissance flight in mountainous battle condition has been developed.

For specific conditions of the mountainous difficult broken relief of one of the terrain of the Azerbaijan Republic, it is determined that the probability of successful execution of combat reconnaissance task by using one UAV is 66%. 3 UAVs are sufficient for successful, with high probability level (96%), execution of combat reconnaissance task.

The calculations have shown, that the minimum permissible safety height of UAV flight in regime of the terrain following taking into account given parameters is ≈ 50 m.

Obtained results can be useful when determination of the application limits of UAV complexes in the system of execution of the combat support tasks of troops.

REFERENCES

1. *Encyclopaedia of missile strategic army* (2009), Ed. N.E. Solovtsova, RVSН, Moscow, 860 p. (in Russian).
2. Podinovski, V.V. (2007), *Introduction in the theory of importance measure*, Fizmatgiz, Moscow.: 2007, 64 p. (in Russian).
3. Kotov, A.A. and Dmitriev, S.Yu. (2014), "Main statements of the method of successful forming of data base taking into account aging and update", *Quality. Innovation. Education*, No. 5, pp. 51-55.
4. Ventsel, E.S. (2004), *Investigation operations: tasks, principles, methodology*, Drofa, Moscow, 208 p. (in Russian).
5. Gulevich, S.P., Melnikov, D.N. and Suvorov, A.P. (2016), "Mathematical modeling of UAV flight in the regime of the terrain following", *Perspectives of UAVs development and application*, Pros. of Scientific Practical conference. Ministry of Defense of the Russian Federation. Kolomna, pp. 70-76 (in Russian).
6. Bayramov, A.A., Hashimov, E.G. and Emənov R.R. (2016), "Revealing of unvisible objects on the terrain by using GIS technology", *Geography and nature resources*, Reports of Azerbaijan Geography society, No. 1, pp. 124-126 (in Azerbaijani).
7. Trimble UX5 HP Unmanned Aircraft System (2017), available at: <https://www.trimble.com/survey/ux5hp.aspx> (last accessed May 31, 2017).
8. Kotov, A.A. (2016), "Methodical estimation of task success of the combat support when robot system application", *Perspectives of UAVs development and application*, Pros. of Scientific Practical conference. Ministry of Defense of the Russian Federation. Kolomna, pp.135-140 (in Russian).
9. Hashimov, E.G. and Bayramov A.A. (2015), "Destruction of enemy combat power in indeterminacy condition", Proc. of Vth International Scientific Technical conference "Modern development directions of data communication technology and control means", 23-24 April 2015, Kharkov, Ukraine, p.9. (in Russian).
10. Hashimov, E.G., Bayramov, A.A. and Khalilov, B.M. (2016), "Terrain orthophotomap making and combat control", Proc. of Int. Conf. "Modern Call of Security and Defence". 19-20 May, War College after G. Rakovski, Sofia, 2017, pp. 68-71.
11. Hashimov, E.G., Bayramov, A.A., Nasibov, Ya.A. and Amanov, R.R. (2015), "Application of relief digital model for combat operation planning", *Military Knowledge*, No. 4, pp. 63-69 (in Azerbaijani).

Надійшла (received) 19.06.2017

Прийнята до друку (accepted for publication) 18.10.2017

Кількісний метод оцінки виконання розвідувального завдання БПЛА в бойовій обстановці в гірських умовах

А. А. Байрамов, Е. Г. Гашимов

Чисельна оцінка виконання бойового завдання в гірському районі з використанням безпілотного літального апарату (БПЛА), дуже важлива для планування бойових операцій на театрі військових дій. У статті розглянуто та запропоновано метод кількісної оцінки успішності виконання заходів бойового забезпечення військ при застосуванні БПЛА з розвідувальними цілями в бойовій обстановці. Цей метод заснований на імовірністному підході. Бойове забезпечення – це є комплекс дій, здійснюваних з метою створення сприятливих умов для успішних бойових дій і ослаблення дій ворога в будь-яких умовах. Бойове забезпечення включає розвідку, радіоелектронну боротьбу; тактичну маскування; інженерне забезпечення; радіаційний, хімічний і біологічний захист; контроль прицілювання і астрономо-геодезичне забезпечення; гідрометеорологічне забезпечення; охорону. Визначено мінімально допустиму висоту польоту БПЛА, використовуючи технологію геоінформаційних систем (ГІС). У статті розглянуто лише тактичний розвідувальний політ БПЛА. Для вирішення цього завдання враховані різні входні параметри: заходи бойового забезпечення, що виконуються військами; заходів бойового забезпечення, що виконуються БПЛА з розвідувальною метою; тактико-технічні характеристики БПЛА; умови експлуатації БПЛА; характеристики горського ландшафту. Розрахунки проведені для конкретних умов горського складного рельєфу місцевості в одній з обраных областей Азербайджанської Республіки.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат; розвідувальний політ; імовірнісні показники; географічна інформаційна система; горський регіон.

**Количественный метод оценки выполнения разведывательного задания БПЛА
в боевой обстановке в горных условиях**

А. А. Байрамов, Э. Г. Гашимов

Численная оценка выполнения боевого задания в горном районе с использованием беспилотного летательного аппарата (БПЛА) очень важна для планирования боевых операций на театре военных действий. В статье рассмотрен и предложен метод количественной оценки успешного выполнения мероприятий боевого обеспечения войск при применении БПЛА с разведывательными целями в боевой обстановке. Этот метод основан на вероятностном подходе. Боевое обеспечение – это комплекс действий, осуществляемых с целью создания благоприятных условий для успешных боевых действий и ослабления действий врага в любых условиях. Боевое обеспечение включает разведку, радиоэлектронную борьбу; тактическую маскировку; инженерное обеспечение; радиационную, химическую и биологическую защиту; контроль прицеливания и астрономо-геодезическое обеспечение; гидрометеорологическое обеспечение; охранение. Определена минимально допустимая высота полета БПЛА используя технологию геоинформационных систем (ГИС). В статье рассмотрен только тактический разведывательный полет БПЛА. Для решения этой задачи учтены различные входные параметры: множество мероприятий боевого обеспечения, выполняемых войсками; множество мероприятий боевого обеспечения, выполняемых БПЛА с разведывательной целью; множество тактико-технических характеристик БЛА; множество условий эксплуатации БПЛА; множество характеристик горного ландшафта. Расчеты проведены для конкретных условий горного сложно-пересеченного рельефа местности в одной из выбранных областей Азербайджанской Республики.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат; разведывательный полет; вероятностные показатели; географическая информационная система; горный регион.

O. Butenko¹, S. Gorelik¹, D. Gusakov², E. Buravchenko¹

¹ National Aerospace University – Kharkiv Aviation Institute, Kharkiv, Ukraine

² Ryerson university, Toronto, Canada

AEROGEODESIS MONITORING OF POTENTIAL AREAS OF SPONTANEOUS COMBUSTION OF THE FOREST

The **subject matter** of the article is method for detecting potential zones of forest tracts spontaneous combustion using remote sensing data of the Earth. **Aim** of the article is to show how to increase the speed of decision-making to prevent negative consequences caused by spontaneous combustion of forest areas without a source of fire brought in from outside. The **object** of the research is a comprehensive analysis of the aerogeodesic monitoring data and contact measurements to identify and localize on the satellite images areas with high fire potential in the presence of a fire source directly in the territory of a possible fire. The **methods** used are the positions of general physics and higher geodesy, the basics of digital image processing and thematic interpretation. **Results of research.** The main factors affecting the process of autoignition of forest tracts are analyzed. A method of aerogeodetic monitoring, which is based on a map of thunderstorm activity, is presented. Method is based on remote observations of thunderstorms. At the same time, the map reflects the position of active thunderstorm cells in space and the projection of their coordinates on the geodetic map of the forest and is also a route for the purposeful search and elimination of local sources of fire. In order to be able to make quick decisions related to the prevention of negative consequences, an approach is used in which thunder cells are diagnosed for the purpose of assessing fire hazard by their ability to activate the process of origin of local sources of fire. In this case, we consider such controlled parameters as - the intensity of the electric field of the thunderstorm cell and the coordinates of its spatial position with respect to the forest area. **Conclusion:** to identify the origination of local sources of fire in the localization of possible autoignition zones, a relationship of thunderstorm clouds with the formation of the CCD was established. Aerogeodesic monitoring of the CCD is the basis for the operative estimates obtaining of the current object state of observation and prediction of the fire hazard level. The negative impact of forest fires on climate change, both local and global, is quite significant. Insufficient knowledge of this aspect requires further collection of material and its analysis, together with little-known "indirect" factors that cause spontaneous combustion of forest tracts and their individual sites.

Keywords: geodetic map; polarization; spark; organic compounds; the storm cell.

Introduction

It is well known that forest fires covering large areas of the earth's surface cause significant damage not only to the economies of various countries, but also to the environment in General. This problem is dealt with by various organizations associated with the study of the nature of forest fires and improvement of measures to deal with the problem, is a subject of many scientific works, however, the task of rapid detection of potential zones of spontaneous combustion of the forest are still relevant. Opportunities for timely decisions to prevent negative consequences caused by forest fires, the proposed method of aerospace monitoring detecting and locating potential zones of spontaneous combustion of the forest, based on the main provisions of the General physics and elements of higher geodesy. It is considered that a forest fire occurs only in the presence of the fire source, combustible materials and conditions conducive to their ignition. In this case, one of the most critical factors influencing the fire hazard is weather. Namely, high temperature, often accompanied by low relative humidity cause rapid drying of combustible materials and ignite them from the fire source. In terms of the spread of fires also directly affected by wind and cloud. Rain occurrence plays a very important role as well. The combination of all these factors allow the departments of the hydrometeorological service to compile an information card with applying them to the different classes of fire danger.

It is assumed that since the sources of fire in f – they are always given a priority [1].

In the classical approach, all indicators of fire hazard are reviewed and evaluated only from the point of view of the ignitions degree and speed of burning of forest materials. It is obvious that even with a higher emergency class, burning, no fire is possible without a spark or some kind of fire initiation. However, despite this, all prescribed fire activities will be conducted. This patrol flights over several days, and a number of other, less costly events. The advantages of these known methods include a large enough list of options to perform assessment of the possible combustion of solid combustible materials. The only drawback of known methods is the lack of real information about the source of fire and its potential presence on site, although this factor is dominant in the prediction of fire danger of forests. On this basis, the main emphasis in identifying areas with high fire hazard potential should be given to the definition of the conditions constituting the source of the fire directly on the territory of a potential fire, assessing their possible effects on climate change, both locally and in General.

1. Statement of the problem and the content of the paper

It is known that for a number of fires the fire source, usually recorded on the territory of the forest from the outside (the human factor or natural phenomenon such as lightning). The process of occurrence of such fires are well known and researched. With the proper approach, the cause of the fire and the fire source accurately set. Therefore, we will not discuss the issue in the article. The emphasis here is given to the

investigation of fires on the territory of which the sources of heat and combustible materials generated solely by the forces of nature.

1.1. Analysis of local sources of fire

All that is known about fires caused by local heat sources is that they often occur when changing weather conditions. Spontaneous combustion usually occurs spontaneously, is hidden from human eyes, and takes a long time, and stitches smoldering heat can be distributed over long distances. And only in the presence of wind, flames of fire suddenly cover a large part of the territory of the forest. The thermal energy sources are negligible, respectively, and the ignition energy of combustible materials must be of the same order. This gives grounds to believe that such a source can be a spark, provoked by the electric field of the clouds. Thus, in the area of powerful clouds, the electric field can reach 10^4 V/m or more. Plants appeared in the field of such clouds are polarized and acquire an electric moment. If, when the polarization was a leak of charges of the same sign, then the excess charge after the disappearance of the external field determines a loaded condition of such plants (the conductivity is provided by the plant tissue, which transport water with mineral salts from the roots to the leaves).

In these conditions, the vegetation of the forest, having a pointed form (stems, leaves, and needles of pine trees, grass, etc.) is characterized by a well-known phenomenon of "expiration of electricity with "needles by" (pretreatments). In this case, if the local field near the tip reaches a value of $3 \cdot 10^6$ V/m is required for electrical breakdown of air, it actually happens. Thus, when the field strength E_0 acting between the cloud base and the plant, the size of the power plants and the maximum field intensity at its tip are respectively equal to [2]:

$$Q_{\max} = \pi \frac{\varepsilon_0 E_0 b^2}{\lg(2b/a) - 1} \quad \text{and} \quad E_{\max} = \pi \frac{(b/a)^2 E_0}{\lg(2b/a) - 1},$$

where b is the length of the edge, and a its width ($b > a$), ε_0 – electric constant, F/m,

The electric field at the tip can reach breakdown values when E_0 very far from this value. Under these conditions, it can be observed pre-treatments associated with the illumination of the "punch" of air near the tip. Then, the ionized air increased the electrical conductivity is preserved for a relatively long time, in spite of the recombination of electrons and positive ions, due to the slowness of recombination of the ions opposite to each other. Ionized air can be considered as a gaseous conductor, which is a continuation of the conductive body of the plant and performing the role of "nozzle" on the edge.

Due to the smaller curvature of the "nozzle", the field intensity at the surface is less than the breakdown value and pre-treatments outside stops. However, if E_0 increases, the area of the corona somewhat expanded, i.e., expanded and extended the "cover" formed by a broken air.

When the elongation of this "case" comes to oppositely charged plants occurs the electric discharge. Allocated to spark energy

$$W = Q_{\max}^2 / 2C,$$

where $C = (b^2 - a^2)^{1/2} / \operatorname{arc} h(b/a)$ – the electrical capacity of the plant, F [3].

For example, when $E_0 = 10^4$ V/m, $b = 5 \cdot 10^{-1}$ m and $a = 5 \cdot 10^{-3}$ m maximum field strength at the tip of the plant $E_{\max} = 10^7$ V/m, the induced charge on the plant $Q_{\max} = 7 \cdot 10^{-8}$ KL, spark energy $W = 2,5 \cdot 10^2$ J.

Thus, the plant with the apex of a tip can be a source of spark discharge when you step on it the electric field of a thundercloud.

1.2. Analysis of combustible materials

Determined in accordance with the formulae that has been mentioned above, the amount of energy a local source is clearly insufficient for the ignition of traditional solid fuels. But it fully covers all four categories, classifying combustible gas mixture according to their Flammability energy from electrical discharges ($0,3 - 0,06 \cdot 10^{-3}$ J) [4]. In this regard one of the natural phenomena should be noted, typical for a large part of the vegetation of the forest. It is producing them in the environment organic compounds, which are a perfect combustible mixture, as contain carbon, hydrogen, oxygen, etc [5]. It should be noted that a feature of conifers is the production of large quantities of terpene hydrocarbons, which accounted for over 80% of the number of emitted compounds. On the contrary, for deciduous trees there is high content of isoprene. Such trees producing a large number of isoprene include various species of willow, poplar, aspen and oak.

Thus, a feature of the distribution of organic compounds is that they are composed of cuticular wax, a protective layer covering the leaves and stems of plants. Spraying cuticular wax is most active in the coniferous forests. For example, the static charge creates a strong electric field around the tip of the needles, causes dispersion of the wax with the formation of aerosol particles of submicron size. The scale of the territory of emission of hydrocarbon compounds in vegetation of forests is huge. For example, for day 1 ha coniferous forest in the South of Crimea allocates an average of 4 kg of organic substances, and 1 ha of deciduous forest about 2 kg. It is obvious that under favorable weather conditions, especially during the growing season, the forest may have areas rich flammable mixture of hydrocarbon compounds.

1.3. A potential area of spontaneous combustion of the forest (CCD)

It is considered that the CCD is forest areas where ignition sources are created exclusively by forces of nature. In contrast to the case where spontaneous combustion comes from lightning, which is stored on the territory of the future of the fire from the outside, the local source of fire arises directly on it. Location lightning well visually monitored in contrast to the cases where the ignition of combustible materials arises from the flames of the hidden nature of the development process, which is virtually impossible to control. Therefore, their monitoring should be based on the presence of a combination of natural factors that generate these sources.

The first factor – producing vegetation, woods gaseous combustible mixture of hydrocarbon compounds. This factor is continuous and present throughout the vegetation period, which is characterized by the highest intensity fires. The second factor is directly linked to the passage of storm clouds that generate abnormally high tension of the electric field at the tip tops of the plants, leading to spark discharge. Basically, CCD is a forest "lighter", in which a gaseous combustible mixture of organic compounds being produced by forest vegetation. The source of the fire is a spark from the tip of the tops of the plants, provoking a storm cloud. Thus, local places of accumulation of the gaseous combustible mixture plus the passage over them of the cumulonimbus clouds are the two most important factors that form the CCD with the fire source, is sufficient to cause reaction of hydrocarbon compounds with subsequent ignition of the solid (traditional) combustible materials.

2. Method of aerogeodesis monitoring potential areas of spontaneous combustion of the forest

For operational decision-making related to the prevention of negative consequences caused by fires, the proposed method aerogeodesis monitoring, which primarily analyzes the "potentially dangerous" areas, selected on the basis of the dynamics of changes of meteorological parameters. This approach differs from the known fact: assess fire danger diagnose of the storm cell by their ability to activate the process of emergence of local sources of fire. Focuses on such control parameters as the electric field intensity of the storm cell and the coordinates of its spatial position with respect to the territory of the forest. The ability to activate the process is determined by the critical value of the electric field at the earth's surface according to the condition

$$E_{CR} = \frac{E_{BR}Rh}{4\pi(h^2 + l^2)^{3/2}} \geq E,$$

where E_{BR} the electric field intensity of the storm cell, and $E \geq 10^4$ V/m (selectable calculation or empirically), h is the cell height relative to the surface of the Earth; R is the radius of the storm cell, l is the shortest distance of the cell to the perimeter of the controlled area of the forest.

It should be noted that the method is based on the map of storm activity, constructed according to remote sensing observations of thunderstorms. The map reflects the position of the active storm cells in space and the projection of their coordinates on the geodetic survey map of the forest.

For example, when $E_{BR}=2 \cdot 10^5$ V/m, $R=2 \cdot 10^3$ m, $h=1.5 \cdot 10^3$ m, $l=10^3$ m, the critical field strength at the earth's surface $E_{CR}=3 \cdot 10^4$ V/m. This cell is able to activate the process of emergence ($E_{CR}>E$) of local sources of fire. Therefore, the projection of its coordinates is plotted on a geodetic map of the forest as a CCD. Basically, this map is a route targeted search and eliminate local sources of fire. Currently, the storm cell is controlled by known electronic systems. It should be noted that many countries, e.g., Australia, England,

Japan, Argentina, India, Pakistan, Russia, USA, France, etc. have a permanent system of observation of thunderstorms. Their number in each country is determined by the size of the areas occupied by these services and the tasks that are set before them. Typically, the system consists of 4-5 paragraphs of observations. When placing them at the vertices of the angles of equilateral polygons at distances of about 1000 km, the radius of such a system reaches 2500-3000 km, and the area of its overview, respectively 20-28 million sq. km [6].

3. The Negative impact of forest fires on climate change

As a result of burning forests in the atmosphere produces a significant amount of heat and combustion products. Allocated quantity of energy in a forest fire can be estimated by the thermal power of W [7]:

$$W = qm/t,$$

where q is the average heat of combustion, MJ/kg; m – mass of burnt substance, kg; t – time of burning.

For example, as a result of forest and peat fires in the exclusion zone of the Chernobyl nuclear power plant on an area of 130 hectares (summer 2015) stood out the thermal energy equivalent of 60,000 MW [7].

There are more than a thousand forest fires [8] in Ukraine annually, the energy from which briefly heats the atmosphere and causes local climate change. Thus, in the process of forest fire stands out greenhouse gases (carbon dioxide, nitrogen oxides) that cause climate change. According to [9], the combustion of 1 ha of forest is allocated to the atmosphere 1,875 tons of carbon dioxide (CO₂). According to the MOE of Ukraine [8] in 2014, a 15.4 sq.km of burned forest, resulting in the atmosphere stood at about 28.9 million tons of CO₂. This amount of carbon dioxide from fires corresponds to emissions from all road transport for the year [10].

It should be noted that the analytical review of the scientific literature showed that the assessment of the impact of forest fires on climate change are still poorly understood and requires further research.

Conclusion

In conclusion, I would like to mention that the installed logical connection of the clouds with the formation processes of the CCD allows to effectively control the fact of generating local sources of heat and, consequently, to promptly forestall or eliminate them.

Aerogeodesis presents a method of monitoring the CCD may be of interest to organizations concerned with fire danger forecast and liquidation of forest fires, for example, state emergency services and forest protection services.

The negative impact of forest fires on climate change, both local and global, is quite significant since it is comparable to the carbon dioxide emissions from road transport near the highways. Insufficient knowledge of this aspect requires further gathering of material and its analysis together with the poorly known "indirect" factors causing spontaneous combustion of plots of woodland and their individual sections.

REFERENCES

1. Gorshenin, N., Dichenkov, N. and Shvidenko, A. (1981), *Forest pyrology*, High school, Lviv, 160 p.
2. Frenkel, Y. (1949), *Theory of atmospheric electricity*, GITTL, Leningrad, 156 p., ISBN 978-5-397-00617-0.
3. Landau, E. and Lifshitz, I. (2017), *Electrodynamics of Continuous Media*, Phithmath, Moscow, p.42.
4. Staroba, I. and Shimoda, J. (1960), *Static electricity*, Energoizdat, Moscow, 248 p.
5. Sinadze, G. and Dolidze, G. (1960), *Isolation of volatile organic substances by plants*, AS USSR, Tbilisi, 226 p.
6. Kashprovskiy, V. (1966), *Determination of the location of thunderstorms by radio engineering methods*, Nauka, Moscow, 247 p.
7. Bogorad, V., Litvinskaja, T. and Shevchuk, I. (2016), "Radiation consequences of a fire in the exclusion zone of the Chernobyl nuclear power plant", *Nuclear and radiation safety*, No. 1(69), pp. 64-68.
8. National report on the state of the environment in Ukraine in 2014 (2016), Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, FOP Grin, Kyiv, 350 p.
9. Maiorova, L., Sadikov, A. and Sich, J. (2013), "Assessment of emissions of pollutants and carbon dioxide emissions from forest fires (for example, Khabarovsk Krai)", *Scientists notes TGU*, 4(4), pp. 10-13.
10. National inventory of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of GHG in Ukraine for 1990-2013 (2015), Kyiv, 569 p.

Надійшла (received) 23.07.2017

Прийнята до друку (accepted for publication) 31.10.2017

Аерогеодезичний моніторинг потенційних районів спонтанного загоряння лісу

О. С. Бутенко, С. І. Горелик, Д. С. Гусаков, Е. А. Буравченко

Предметом досліджень в даній статті є методи виявлення потенційних зон самозаймання ділянок лісових масивів з використанням даних дистанційного зондування Землі. **Об'єкт досліджень** – комплексний аналіз даних аерогеодезичного моніторингу та контактних вимірювань для виявлення і локалізації на космічних знімках ділянок місцевості з високим пожежонебезпечним потенціалом в умовах наявності джерела вогню безпосередньо на території ймовірного пожежі. **Мета досліджень** полягає в підвищенні оперативності прийняття рішень, пов'язаних із запобіганням негативних наслідків, що викликані самозайманням лісових площ без наявності зовнішнього джерела вогню. Використуваними **методами** є такі: положення загальної фізики і вищої геодезії, основи цифрової обробки зображень і тематичного дешифрування. **Отримані такі результати:** проаналізовані основні фактори, що впливають на процес самозаймання ділянок лісових масивів. Представлений метод аерогеодезичного моніторингу, який базується на карті грозової діяльності, що будеться за даними дистанційних спостережень гроз. При цьому карта відображає стан активних грозових осередків в просторі і проекції їх координат на геодезичної карті лісу, а також є маршрутом цілеспрямованого пошуку та ліквідації локальних джерел вогню. Для можливості оперативного прийняття рішень, які пов'язані з попередженням негативних наслідків, був використаний підхід, в якому з метою оцінки пожежної небезпеки діагностують грозові осередки по їх здатності активувати процес зародження локальних джерел вогню (ЗЛДВ). **Висновки:** для виявлення ділянок зародження локальних джерел вогню при локалізації зон можливого самозаймання було встановлено взаємозв'язок грозових хмар з процесами формування ЗЛДВ. Аерогеодезичний моніторинг ЗЛДВ є основою для оперативного отримання оцінок поточного стану об'єкта спостереження та прогнозування рівня пожежної небезпеки. Негативний вплив як локальних, так і глобальних лісових пожеж на зміну клімату, є досить істотним. Недостатня вивченість даного аспекту вимагає подальшого збору матеріалу і його аналізу спільно з маловивченими «непрямими» чинниками, що викликають самозаймання ділянок лісових масивів і їх окремих ділянок.

Ключові слова: система; геодезична карта; поляризація; іскра; органічні сполуки; грозовий осередок.

Аэрогеодезический мониторинг потенциальных районов спонтанного возгорания леса

О. С. Бутенко, С. И. Горелик, Д. С. Гусаков, Е. А. Буравченко

Предметом исследований в данной статье являются методы обнаружения потенциальных зон самовозгорания участков лесных массивов с использованием данных дистанционного зондирования Земли. **Объект исследований** — комплексный анализ данных аэрогеодезического мониторинга и контактных измерений для выявления и локализации на космических снимках участков местности с высоким пожароопасным потенциалом в условиях наличия источника огня непосредственно на территории вероятного пожара. **Цель исследований** заключается в повышении оперативности принятия решений, связанных с предотвращением негативных последствий, вызванных самовозгоранием лесных площадей без наличия внешнего источника огня. **Используемыми методами исследований** являются положения общей физики и высшей геодезии, основы цифровой обработки изображений и тематического дешифрирования. **Получены следующие результаты:** проанализированы основные факторы, влияющие на процесс самовоспламенения участков лесных массивов. Представлен метод аэрогеодезического мониторинга, который базируется на карте грозовой деятельности, строящейся по данным дистанционных наблюдений гроз. При этом карта отражает положение активных грозовых ячеек в пространстве и проекции их координат на геодезической карте леса, а также является маршрутом целенаправленного поиска и ликвидации локальных источников огня. Для возможности оперативного принятия решений, связанных с предупреждением негативных последствий, использован подход, в котором с целью оценки пожарной опасности диагностируют грозовые ячейки по их способности активировать процесс зарождения локальных источников огня (ЗЛИО). **Выводы:** для выявления участков зарождения локальных источников огня при локализации зон возможного самовоспламенения установлена взаимосвязь грозовых облаков с процессами формирования ЗЛИО. Аэргеодезический мониторинг ЗЛИО является основой для оперативного получения оценок текущего состояния объекта наблюдения и прогнозирования уровня пожарной опасности. Негативное влияние лесных пожаров на изменение климата, как локальные, так и глобальные, является довольно существенным. Недостаточная изученность данного аспекта требует дальнейшего сбора материала и его анализа совместно с малоизученными «косвенными» факторами, вызывающими самовозгорание участков лесных массивов и их отдельных участков.

Ключевые слова: система; геодезическая карта; поляризация; искра; органические соединения; грозовая ячейка.

A. Kovtun, V. Tabunenko

National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

SUBSTANTIATION OF THE POSSIBILITY OF ACCELERATED REFUELING OF AUTO-ARMORED VEHICLES IN CONDITIONS OF SPECIAL OPERATIONS

Conducting special operations to neutralize illegal armed groups that operate over wide areas is a challenging task. Its successful solution requires a comprehensive support of the operation. Conducting special operation is not possible without a clear and permanent system of logistics. The course and outcome of the operation depends on how well and timely the troops will be provided with everything necessary. The current battle is characterized by high dynamism, strength and short-term, abrupt changes in the situation. Modern and fast refueling of the armored vehicles with fuel in combat is one of the basic conditions for support combat readiness. Reduction of time filling by fuel armored vehicles is an important task that affects of the success of military operations. **Analysis of existing methods** of fueling vehicles (armored vehicles) in field conditions, with the corresponding not hiding signs for refueling fuel technology, with a concentration on technology and site servicing considerable time to conduct refueling in terms of illegal armed groups, shows the vitality of means low servicing. To improve the survivability of the system "vehicle - vehicle refueling" by reducing time refueling dispersal vehicles during refueling for fuel flow can use the mechanical energy of the car, which fueled (without using additional means of filling). However, as the capacitances of fuel used in flexible containers that provide fuel displacement are at running wheel of the car, which fueled. **The work** proved and proposed a new way to deliver fuel and rapid refueling of cars (armored vehicles) in the field conditions during the special operation that will reduce the likelihood of defeats increased survivability and technology, to refuse filling existing methods. **Results** of calculation are consistent with previous experimental studies that argue that the elastic reservoir is not broken when hitting the wheel of the car and allow you to use it to determine the parameters of armored vehicles. Using the method of rapid refueling of cars would reduce the likelihood of defeat armored vehicles cars and increase its survivability by 15 - 25% in contrast to the existing methods of filling.

Keywords: special operation; illegal armed groups; logistics; material support; places of permanent deployment; combat situation; the tactics of warfare; the organization providing the troops with fuel; parachutless method for rapid refueling vehicles (armored vehicles); experimental studies; mathematical model of stress-deformed state.

Introduction

The special operation to destroy illegal armed groups that operate in large parts of the state, is a difficult task, and its success requires a comprehensive solution to ensure its implementation. The special operation conduction is impossible without a well-established and permanent logistics support system. The course and outcome of the operation depends on how fully and promptly the troops will be provided with everything needful [1]. Not supported troops are not able to realize their combat capabilities. The outcome of combat operations depends on the sustainability and good functioning of logistics.

One of the main places in the logistic support of troops assigned to financial support, which is designed to meet the needs of troops in financial needs [2].

A special role in the financial support given to the special operation providing fuel armored equipment. The organization providing the troops with fuel in a special operation near the places of permanent deployment in populated areas, is not much different from the usual conditions, and experts do not cause particular difficulties. However, the organization providing armored fuel technology in terms of the special operation to destroy illegal armed formations, apart from places of permanent deployment, causing considerable difficulties.

Modern combat of special operation [3] to destroy illegal armed formations, characterized by high dynamism, intensity and short duration, abrupt changes

in the situation. Timely and fast refueling fuel armored equipment on the battlefield have a basic condition for maintaining the combat readiness of troops. Reduced time is a major task which affects the success of the military operation.

Objective of work and setting goals. The aim of this work is to develop a new method of rapid refueling vehicles (armored vehicles) in terms of military operations or other combat zone.

Statement of the problem is to choose the most rational way of rapid refueling vehicles (armored vehicles) in the shortest possible time, in the conditions identified with increased external threat sources.

The ways of refueling vehicles (armored vehicles) in the field

During warfare refueling of military vehicles is produced, usually secretly, at night or in poor visibility conditions, as the exhaustion of fuel, depending on the combat situation.

Refueling is made by the driver (trucks, cars), delivered the fuel, and a driver to refuel the car. Refueling combat vehicles (Infantry fighting vehicle, armored troop-carrier) before the fight is done in their concentration area prior to the line of deployment. In this area, they are completely refuel fuel, lubricants and industrial fluids.

When the location of the military unit deployed in the field Field refueling point of nominally-Personnel resources of military units: the field of filling points, road tankers and tank trucks (Fig. 1).



Fig 1. Refueling of armored equipment in the field

There are three ways of vehicles refueling in the field [4]:

- the first way – vehicles to refuel move to the means of refueling;
- the second method - refueling equipment supplied to refuel vehicles;
- a third way - a mixed (some units are refueled first, and the other – by the second method, or simultaneously in two ways).

Filling machines are organized on the basis of the situation and conditions.

Technique in designated refueling areas must be located so as to make full use of productivity tools refueling with minimal moving them from place to place. In addition, the division of funds refueling and transport of fuel must have platform allows simultaneous refueling of several pieces of equipment of the units, providing invisibility of works and reliable fire safety.

However, the process of delivering fuel vehicle refueling companies to refuel the car, may be carried out under conditions of constant fire influence of illegal armed groups.

Road tankers are obvious unmasked signs and so may be affected by small arms illegal armed groups. With the defeat of the automobile tanker, can occur not only by the loss of fuel due to its uncontrolled leakage from the fuel compartment, but also the complete destruction of the tanker and other vehicles (armored vehicles), placed at a short distance.

Reservoir development for refueling of vehicles (armored vehicles) in the conditions of the special operations

Methods for filling machines [5] based on the principle of fuel overflow from one fuel tank (cistern) to another under the influence of external forces. In this flow of fuel is possible, as by gravity, and with the use of pumps with different power drives.

A generalized process of filling armored techniques using these methods can be viewed as a process that takes place in the system of "tank of fuel – means the transfer of fuel – refuel the car."

Trying to reduce the number of elements of this system allows you to simplify the process of refueling and offer to use as a means of pumping fuel, the weight of the car to refuel.

The consequence of this there is a need to use as fuel tanks specially designed flexible tank, which can

provide displacement of the fuel of them at running and moving them longitudinally of the machine. The main advantages of special elastic reservoirs are:

- a slight weight relative to the weight of the transported or stored cargo in them;
- the possibility of clotting in the small volume of the roll, which causes good transportability unladen;
- low ground pressure in the filled condition, which allows deploying tanks on any terrain, including swampy;
- lightweight towed through the water;
- the ability to ensure their without parachute dropping [6].

These advantages, together with the possibility of rapid refueling vehicles by extrusion of fuel in the vehicle tank (including the impact on the underlying tank to refuel the vehicle), do rubberized tanks indispensable for carrying out special operations to destroy illegal armed formations, military operations, natural disasters relief and man-made disasters.

Analysis of existing characteristics of resources fueling vehicles (armored vehicles) shows, that the development of modern weapons and change tactics of warfare, new qualifying standards for the creation of a qualitatively new means of field refueling. Capabilities of without parachute dropping of fuel in special tanks of rubber allow us to offer a new method of rapid refueling vehicles in combat [7].

The essence of the method for rapid refueling vehicles (armored vehicles) is to place the tank with fuel under the wheel of the car, followed by a longitudinal hitting it. Refueling of vehicles proposed method consists in displacing the liquid from the tank by pressurizing in it, by hitting him on the wheels of the car and the overflow of fuel into the fuel tank [8]. Scheme of refueling process is shown in the Fig. 2.

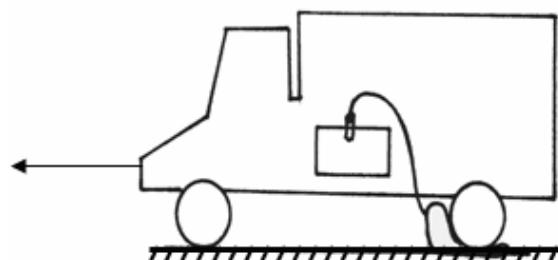


Fig. 2. Scheme of refueling process.

When driving in on the flexible reservoir by the wheel of the car, it is deformed, whereby there is formed an overpressure P_{res} liquid in it. Thus under the

influence of excessive fuel pressure $Pres$ during the forward motion of the wheel will follow to the discharge hose and flow to the fuel tank of the machine. Part of the fuel due to the interactions of the car wheels with the reservoir flows in the opposite direction to the movement of the machine.

To determine the pressure in the tank $Pres$ use basic theory of interaction wheel position with a

deformable base. When driving in on the fluid reservoir by the wheel (Fig. 3), there is distortion of the wheel and the tank. The fluid pressure in the tank is rising. The observations of the process of hitting the car wheels on a tank of liquid led to the assumption that the fluid pressure increase in the tank when hit by a vehicle wheel is called traction force P_{wh} , which proceed on an area S_1 of the contact wheel with a reservoir.

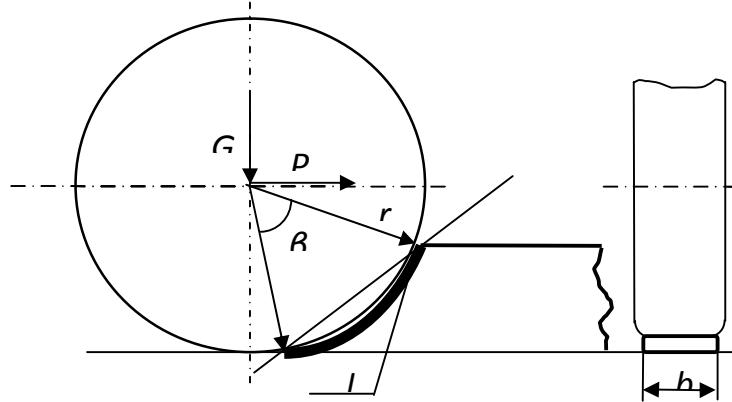


Fig. 3. Scheme of driving a vehicle wheels on the tank

The pressure in the tank P_{res} by the formula [8, 9]:

$$P_{res} = p_{car.} + \rho a(x_0 - x) + \rho g(z_0 - z), \quad (1)$$

where x, z – horizontal and vertical coordinates; a, g – acceleration appropriate\$

$$p_{car} = \frac{P_{wh}}{S_1}. \quad (2)$$

Traction force on the wheel P_{wh} is the ratio of the torque on the wheel M_{wh} to the rolling radius of the wheel r_{wh} [10]:

$$P_{wh} = \frac{M_{wh}}{r_{wh}}, \quad (3)$$

where $M_{wh} = M_e \cdot U_{mp} \cdot \eta$ – the torque on the wheel; M_e – the torque to the engine; U_{mp} – the ratio of the transmission; η – the transmission efficiency.

The car will go if the condition will be:

$$P_{wh} \leq G_{wh} \cdot \phi, \quad (4)$$

where G_{wh} – load to the wheel; ϕ – the coefficient of adhesion.

The contact area of the wheel S_1 with a reservoir is given by [8]:

$$S_1 = l \cdot b \cdot K_n,$$

where $l \approx r \cdot \beta$ – length of the wheel contact with the reservoir; r – the radius of the wheel; β – radial measure of the central angle; b – the width of the tank; K_n – coefficient of saturation of the tire tread.

When driving a car with a torque value of the place on the engine and the drive wheels is a variable, which in turn causes a change in the traction force on the wheels. As a result, the liquids pressure in the tank will also be variable.

A mathematical model to determine the pressure in the tank when the vehicle is moving, will be:

$$p_{tank.} = pvh + \rho a(x_0 - x) + \rho g(z_0 - z);$$

$$p_{Aem.} = \frac{P_k}{S_1};$$

$$S_1 = l \cdot b \cdot K_n;$$

$$M_{wh} = M_e \cdot U_{mp} \cdot \eta;$$

$$P_{wh} = \frac{M_{wh}}{r_{wh}} \leq G_{wh} \cdot \phi.$$

on condition: $V_{liquid} \geq V_{free}$

where V_{liquid} – the volume of liquids in the reservoir before a wheel; V_{free} – free volume of the tank in front of the wheel.

$$p_{tank.} = \rho a(x_0 - x) + \rho g(z_0 - z)$$

on condition: $V_{liquid} < V_{free}$.

When driving in on a tank ($S_1 = 0,03 \text{ m}^2$, $S_2 = 0,003 \text{ m}^2$ - nozzle area) fluid of the rear axle of the truck GAZ – 3309 with tire size (8,25 – 20) inches ((240 – 580) mm), $p_{tank.} \approx 40000 \text{ Pa}$.

To confirm the principle displacement of fluid capabilities of the flexible container when hit by a vehicle wheel were conducted qualitative experimental studies of the process shown in Fig. 4.

When conducting qualitative experimental study as a flexible container with a liquid [11] has been chosen a model of container with a diameter nozzle of 0.028 m and a capacity of 0.035 m^3 .

Truck GAZ-3309 has been used as a vehicle with the size of the tire (8,25 - 20) inches (240 - 580) mm. Measuring container placed at the height of the vehicle fuel tank.



Fig. 4. The displacement of liquid by the vehicle wheel of an elastic reservoir

Model of flexible container filled with liquid and placed under the rear outer wheel of the car (Fig. 4). To one end of the nozzle was attached the pressure hose and secured with a clamp, and the other end of the pressure hose joined the gauge tank. When driving in on the model of the tank on the rear wheels at a speed of 5 kph was observed, that the fluid displacement from the reservoir and overflow it along the hoses on the gauge tank.

It was found that the amount of displaced liquid is (75 - 80)% of the available amount of liquid in the tank before driving ($p_{tank.} \approx 37,000$ Pa.), And the tank was not damaged and was suitable for further use. When driving in on the model of the tank on the rear wheels at a speed of 10 kph, it was revealed that the amount of liquid displaced is (30 - 35)% of the available amount of liquid in the tank before a collision ($p_{tank.} \approx 39,000$ Pa.), the tank also had no damage and it was suitable for further use.

Conclusions

1. Existing methods for delivery and refueling the auto-armored vehicles with fuel in combat conditions do not meet modern requirements for security and timely delivery to the site requirements.

2. Was worked out a new method of delivery and refueling of the auto-armored vehicles in the field when performing special operations.

3. Experimentally confirmed the principle possibility of displacement of liquid fuel from the elastic tank for longitudinal driving by a auto-armored vehicles the reservoir model during and after hitting the wheel is not torn, damaged and had remained intact for future use.

4. The work revealed a pattern of influence the speed driving of the vehicle on the volume of the displaced fluid from the reservoir, and it is shown that when the speed driving of the auto-armored vehicles 1.2 mps, the volume of liquid displaced from the tank is 70% of the initial volume, which was before the driving, while increasing the driving rate on the tank up to 2.8 mps, and it decreases 30% from the original before the driving.

5. The results of the calculation of the mathematical model are consistent with the previous experimental studies that argue that a flexible reservoir is not broken at the time of driving of the longitudinal wheel of a car and allow you to use it to determine the parameters of the auto-armored vehicles.

6. Using the method of accelerated vehicle refueling of the auto-armored vehicles can reduce the likelihood of injury and increase its survivability by 15 - 25%, in contrast to the existing methods of refueling.

REFERENCES

1. "Sistema tylovogo obespecheniya voenno-politicheskogo bloka NATO" (2016), available at: http://www.newtemper.com/obschestvo/politika/sistema_tylovogo_obespecheniya_voenno-politicheskogo_bloka_nato_3704 (last accessed May 23, 2017).
2. Vetrov, A. (2010), "Tylovoye obespecheniye obyedinennykh vooruzhennykh sil NATO", available at: http://www.soldiering.ru/army/file/nato_rear.php (last accessed May 23, 2017).
3. Parshin K. (2015), "Kontseptsiya SSO Ukrayny (variant)", available at: http://censor.net.ua/blogs/575/kontseptsiya_sil_spetsialnyh_operatsiyi_ukrany (last accessed May 23, 2017).
4. "Zapravka tekhniki toplivom na marshe i v pole", (2016), available at: http://www.compancommand.com/index/zapravka_gsm/0-975 (last accessed May 23, 2017).
5. Svirsky, V.V. (2015), available at: <http://www.findpatent.ru/patent/227/2279360.html> (last accessed May 23, 2017).
6. Kovtun, A.V. and Tabunenko, V.O. (2010), "Obgruntuvannya mozhlyvosti bezparashutnogo skydannya vantazhiv pry zabezpechenni spetsial'nykh operatsiy", *Systemy ozbrojenyya i viyskova tekhnika*, No. 4 (24), pp. 145-148.
7. Kovtun, A.V. and Tabunenko, V.O. (2016), "Razrabotka perspektivnykh sposobov dostavki gruzov v usloviyakh provedenii voyennykh operatsiy v zone boyevykh deystviy", *National Security and Military Sciences*, Vol.3, No. 3, pp. 57-66.
8. Kovtun, A.V., Kaydalov, R.O. and Tabunenko, V.O. (2008), "Metodyka obgruntuvannya parametiv mekhanichnoyi systemy „mashyna – rezervuar z palnym” dlya pryskorenoho zaplavlenya avtomobiliv u spetsialniy operatsiyi po zneshkodzhennu nezakonnykh zbroynykh formuvan", *Information processing systems*, No. 3(70), pp. 64-72.
9. Chugayev, R.R. (1982), *Gidravlika* [Hydraulics], Energoizdat, Leningrad, 670 p.
10. Volkov, V.P. (2003), *Teoriya ekspluatatsiynykh vlastyvostey avtomobilya* [The theory of the operational properties of the car], KhNADU, Kharkiv, 292 p.
11. "Fluid Structure and Experimental Methods" (2017), available at: <http://chem21.info/info/1623618> (last accessed May 23, 2017).

**Обґрунтування можливості прискореного заправлення автобронетехніки
в умовах проведення спеціальних операцій**

А.В. Ковтун, В.О. Табуненко

Проведення спеціальної операції по знешкодженню незаконних збройних формувань, які діють на значній території, є складною задачею. Її успішне рішення вимагає всебічного забезпечення проведення операції. Проведення спеціальної операції неможливо без чіткої і постійно діючої системи тылового забезпечення. Хід і результат операції залежить від того, наскільки повно і своєчасно війська будуть забезпечені всім необхідним. Сучасний бій характеризується високою динамічністю, напруженістю і короткосрочковістю, різкими змінами обстановки. Сучасна і швидке дозаправлення автобронетанкової техніки пальним в бойових умовах є однією з основних умов підтримки боєготовності військ. Скорочення часу заправлення авто бронетанкової техніки пальним є важливим завданням, яке впливає на успіх проведення бойової операції. **Аналіз існуючих способів** заправлення автомобілів (бронетехніки) в польових умовах, з відповідними демаскуючими признаками техніки для заправлення пальним, з зосередженням техніки на місці заправлення і значним часом на проведення заправлення, в умовах дії незаконних збройних формувань, свідчить про низьку живучість технічних засобів заправлення. Для підвищення живучості системи „автомобіль - засіб заправлення” за рахунок зменшення часу заправлення, розосередженням автомобілів під час заправлення, для перетікання пального можна використовувати механічну енергію автомобіля, який заправляється (не використовуючи додаткових засобів заправлення). При цьому, в якості емностей з пальним використовуються еластичні резервуари, які забезпечують витиснення пального з них при наїзді колесом автомобіля, який заправляється. **В роботі** обґрунтовано та запропоновано новий спосіб доставки пального і прискореного заправлення автомобілів (бронетехніки) в польових умовах при проведенні спеціальної операції, що дозволить зменшити імовірність ураження та збільшити живучість техніки, на відмову від існуючих способів заправлення. **Результати** розрахунку співпадають з результатами попередніх експериментальних досліджень, які стверджують, що еластичний резервуар не розривається під час наїзду колесом автомобіля та дозволяють використовувати її для визначення параметрів авто бронетанкової техніки. Використання способу прискореного заправлення автомобілів дозволить зменшити імовірність ураження авто бронетанкової техніки та збільшити її живучість на 15 – 25 % на відміну від існуючих способів заправки.

Ключові слова: спеціальна операція; незаконні збройні формування; тылове забезпечення; матеріальне забезпечення; пункт постійної дислокації; бойова обстановка; тактика ведення бойових дій; організація забезпечення військ пальним; беспаращутний скидання пального; спосіб прискореної заправки автомобілів (бронетехніки); експериментальні дослідження; математична модель напружено-деформованого стану.

**Обоснование возможности ускоренной дозаправки автобронетехники
в условиях проведения специальных операций**

А.В. Ковтун, В.А. Табуненко

Проведение специальной операции по обезвреживанию незаконных вооруженных формирований, действующих на значительной территории, является сложной задачей. Ее успешное решение требует всестороннего обеспечения проведения операции. Проведения специальной операции невозможно без четкой и постоянно действующей системы тылового обеспечения. Ход и результат операции зависит от того, насколько полно и своевременно войска будут обеспечены всем необходимым. Современный бой характеризуется высокой динамичностью, напряженностью и краткосрочностью, резкими изменениями обстановки. Современная и быстрая дозаправка авто бронетанковой техники горючим в боевых условиях является одним из основных условий поддержания боеготовности войск. Сокращение времени заправки авто бронетанковой техники горючим является важной задачей, которая влияет на успех проведения боевой операции. **Анализ существующих способов** заправки автомобилей (бронетехники) в полевых условиях, с соответствующими демаскирующими признаками заправочной техники, с сосредоточением техники на месте заправки и значительным временем на проведение заправки, в условиях воздействия незаконных вооруженных формирований, свидетельствует о низкой живучести технических средств заправки. Для повышения живучести системы „автомобиль - средство заправки” за счет уменьшения времени заправки, рассредоточенности автомобилей во время заправки, для перетекания горючего можно использовать механическую энергию заправляемого автомобиля (не используя дополнительных средств заправки). При этом, в качестве емкостей с горючим используются эластичные резервуары, которые обеспечивают вытеснение горючего из них при наезде колесом заправляемого автомобиля. **В работе** обоснован и предложен новый способ доставки горючего и ускоренной заправки автомобилей (бронетехники) в полевых условиях при проведении специальной операции, что позволит уменьшить вероятность поражения и увеличить живучесть техники, в отличие от существующих способов заправки. **Результаты** расчета совпадают с результатами предыдущих экспериментальных исследований, которые утверждают, что эластичный резервуар НЕ разрывается во время наезда колесом автомобиля и позволяют использовать ее для определения параметров авто бронетанковой техники. Использование способа ускоренной заправки автомобилей позволит уменьшить вероятность поражения авто бронетанковой техники и увеличить ее живучесть на 15 - 25% в отличие от существующих способов заправки.

Ключевые слова: специальная операция; незаконные вооруженные формирования; тыловое обеспечение; материальное обеспечение; пункт постоянной дислокации; боевая обстановка; тактика ведения боевых действий; организация обеспечения войск горючим; беспаращутный сброс горючего; способ ускоренной заправки автомобилей (бронетехники); экспериментальные исследования; математическая модель напряженно-деформированного состояния.

Б. Т. Кононов, О. А. Кононова, Д. Ю. Ходак

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків, Україна

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДТРИМАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПРИ РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ВАЛА ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

Предметом вивчення в статті є аналіз способів та засобів забезпечення підвищення точності частоти обертання, забезпечення стійкості та швидкості процесів регулювання частоти обертання, підвищення надійності роботи регуляторів, що використовуються в системах автоматичного регулювання частоти. **Мета** – є опис запропонованих авторами технічних рішень, використання яких дозволить уникнути, при їх застосуванні, негативного впливу зміни фізичних властивостей робочої рідини, що використовуються в регуляторах непрямої дії. **Задача** – обґрутування технічних рішень, впровадження яких, в практику регулювання частоти обертання вала дизель-генератора, дозволять: підвищити точність підтримання значень частоти обертання, що вимагаються; забезпечити необхідну стійкість системи автоматичного регулювання частоти; підвищити швидкодію процесів регулювання; підвищити надійність регуляторів; усунути негативний вплив на процес регулювання частоти зміни фізичних властивостей робочих рідин, що використовуються в регуляторах непрямої дії. **Висновки:** запропоновані технічні рішення доцільно використовувати як при модернізації існуючих систем автоматичного регулювання частоти обертання, так і при створенні систем регулювання частоти для нових джерел електричної енергії.

Ключові слова: частота обертання; дизель-генератор; точність; стійкість; швидкодія; надійність.

Вступ

Постановка задачі. До показників якості процесів регулювання частоти обертань валу дизель-генераторів будемо відносити такі показники як: точність підтримання частоти обертання; стійкість системи регулювання її швидкодія та надійність [1, 5, 6]. Для регулювання частоти обертання дизель-генераторів, які використовуються в якості автономних та резервних джерел електричної енергії, застосовуються регулятори системи стабілізації, що здатні забезпечувати високу точність підтримання величини, яка регулюється. Поєднання, при регулюванні, частоти обертання регуляторів по відхиленню, які змінюють подачу палива в циліндрі двигуна, в випадку, коли значення частоти обертання відрізняється від номінального, та регуляторів по збуренню, що реагують на зміну навантаження, дозволяє отримати бажану швидкодію та високу точність процесу регулювання частоти обертання. Разом з тим, зі зростанням потужності дизель-генераторів, регулятори прямої дії, у яких рухоме зусилля, що створюється відцентровими силами ваги, які обертаються, не здатне забезпечити потрібного перестановочного зусилля. Для отримання потрібного, для переміщення виконавчого органу, зусилля необхідно використовувати регулятори непрямої дії, у яких в якості підсилювача застосовують керований золотник та виконавчий поршень, а в якості робочої рідини застосовують масло, що змашує вузли та агрегати дизелю. Динамічні характеристики гідралічних підсилювачів регуляторів частоти обертання непрямої дії істотно залежать від фізичних властивостей робочої рідини, які змінюються під дією нагрівання, механічного забруднення та старіння. Це призводить до прояві коливань в процесі регулювання частоти обертання, і як наслідок, до зниження стійкості цього процесу.

Аналіз літератури. В відомій літературі [1, 2, 10, 11] пропонують, для збільшення запасу стійкості процесу регулювання частоти обертання, викори-

стовувати більш дорогі сорти масла, наприклад, веретенного, у якого фізичні властивості практично не змінюються під час нагрівання та механічного забруднення, й використовувати при цьому, так звану, автономну масляну систему для регулятора частоти обертання, що вимагає введення до її складу автономного масляного насосу, відповідного резервуару, клапанів та трубопроводів [7].

Метою статті є опис запропонованих авторами технічних рішень, використання яких дозволить уникнути, при їх застосуванні, негативного впливу зміни фізичних властивостей робочої рідини, що використовуються в регуляторах непрямої дії.

Результати дослідження

Для отримання характеристик процесу регулювання частоти обертання, які бажано отримати, пропонується, перш за все, забезпечити можливість управління гідропідсилювачем не лише відцентровим вимірювачем частоти обертання, а й іншим джерелом руху, наприклад, електромагнітом [1]. Відповідна схема такого регулятору частоти обертання наведена на рис. 1. Регулятор містить у своєму складі відцентровий вимірювач частоти обертання 1, з'єднаний з виконавчим сервомотором 2, до якого входить поршень 3 та золотник 4, який з'єднаний з механізмом 5 зміни початкової деформації пружини. Орган дозування паливоподачі 6 пов'язаний із поршнем виконавчого сервомотору 3. Золотник 4 кінематично з'єднаний із електромагнітом 7, що має якір 8 та основну 9 та додаткову 10 обмотки. Диференціючий підсилювач 11 підключено по своєму входу до додаткової обмотки 10, а по своєму виходу – до входу сумуючого підсилювача 12, до інших входів якого приєднаний вихід додаткової обмотки 10 та вихід додатчика режиму роботи 13. Регулятор працює наступним чином. При зміні частоти обертання дизель-генератора золотник 4, під дією відцентрового вимірювача частоти обертання, змінює своє положення. При цьому, змінює своє положення і пов'язаний з

золотником якір 8 електромагніту 7. Переміщення якоря електромагніту викликає зміну активного опору додаткової обмотки 10. Сигнал з виходу додаткової обмотки 10, пропорційний переміщенню якоря 8, а, відповідно, золотника сервомотору, подається на входи сумуючого 12 та диференціюючого 11 підсилювачів. На другий вхід сумуючого підсилювача 12 подається сигнал з виходу диференціюючого підсилювача 11, який пропорційний швидкості переміщення золотника 4. На третій вхід підсилювача 12 подається сигнал від задатчика режиму роботи, що відповідає завданню по частоті обертання дизель-генератору при даному навантаженні.

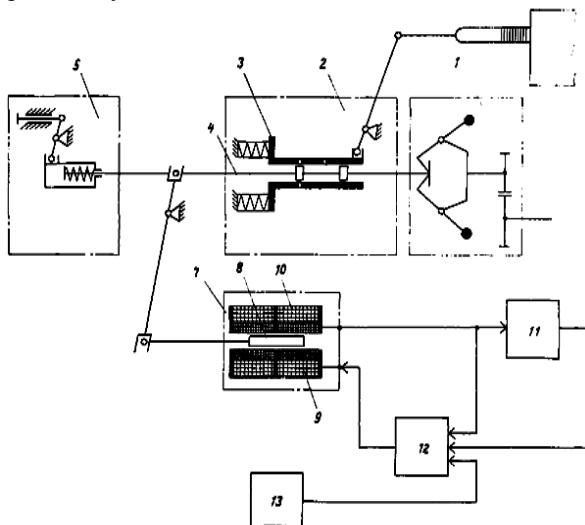


Рис. 1. Схема регулятора частоти обертання з гнучким та жорстким зворотнім зв'язком

Вихідний сигнал підсилювача 12 пропорційний переміщенню і швидкості руху золотника, тому зусилля, що створюються електромагнітом 7, також пропорційне переміщенню і швидкості руху золотника. Це зусилля діє на золотник в напрямі, що є протилежним напряму його руху, її еквівалентно дії від негативного жорсткого та гнучкого зворотних зв'язків. Створені таким чином зворотні зв'язки мають стабільні характеристики й дозволяють компенсувати негативний вплив, який пов'язаний зі зміною фізичних властивостей робочої рідини гідропідсилювача, що забезпечує отримання стійкості й якості процесу регулювання частоти обертання, що вимагаються.

В випадку, коли для регулювання частоти обертання використовується комбіновані регулятори, до складу яких входять регулятор за відхиленням і регулятор за збуренням, схема регулятора дещо відрізняється від розглянутого [4] і має вигляд, наведений на рис. 2. Введення до складу регулятору додаткових елементів дозволяє підвищити швидкодію процесу регулювання частоти обертання й підвищити точність підтримання частоти обертання в випадку зміни в значному діапазоні параметрів дизель-генератора. Регулятор частоти містить у своєму складі відцентровий вимірювач частоти обертання 1, сервомотор 2 з поршнем 3 і золотником 4, механізм зміни початкової деформації пружини вимірювача частоти обертання 5, орган дозування паливоподачі 6, електромагніт 7 з якорем 8, основну та додаткову обмотки 10, суматор

11, пристрій, що задає режими роботи 12, випрямляч 13, підсилювач 4 та логічний пристрій 15. На входи логічного пристрою 15 подаються сигнали, значення яких визначається навантаженням і частотою обертання. Управління органом дозування паливоподачі здійснюється сервомотором 2, виконавчий золотник 4 якого забезпечує переміщення поршня 3, який діє при умові рівноваги рухомого між силою, яка створюється електромагнітом 7 та силою опору пружинного механізму 5. Додаткова обмотка 10 фіксує зміну струму в основній обмотці 9 й приєднана к одному із входів суматора 11 безпосередньо, а к іншому входу цього суматора через випрямач 11 та підсилювач 14. Третій вхід суматора 11 приєднаний до виходу задатчика режиму роботи 12, на вхід якого, як і на вхід логічного пристрою 15, подаються сигнали 16, що пропорційні навантаженню і частоті обертання. Логічний пристрій 15, в залежності від режиму роботи, подає на керуючий вхід підсилювача 14 сигнал, який визначає вид необхідного зворотного зв'язку.

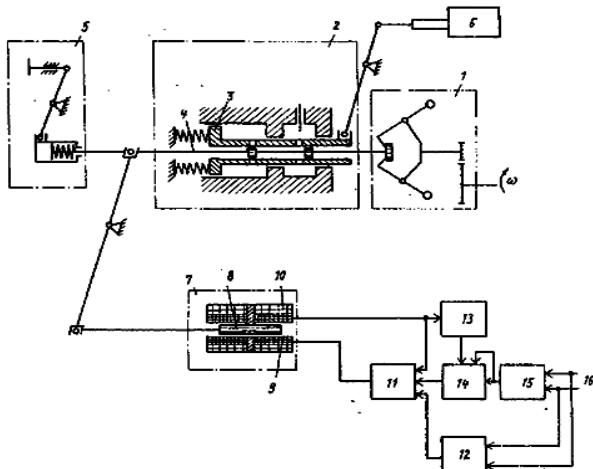


Рис 2. Комбінований регулятор частоти обертання

При порушенні встановленого режиму роботи сигнали, пропорційні навантаженню й частоті обертання перетворюються в логічному пристрої 15 в сигнал розузгодження, який відкриває підсилювач 14. При цьому, сигнал розузгодження змінює величину струму в основній обмотці 9 електромагніту 7, що фіксується додатковою обмоткою 10. Електрорушійна сила, що виникає в додатковій обмотці 10, подається безпосередньо на другий вхід, а через випрямач 13 і відкритий підсилювач 14 на перший вхід суматора 11. Значення сигналів на першому та другому вхідах суматора 11 стають достатніми для перекомпенсації електрорушійної сили самоіндукції в основній обмотці 9 електромагніту 7. Тим самим, формується сигнал позитивного гнучкого зворотного зв'язку по величині струму в обмотці 9, при якому сигнал на вході суматору 11 стає максимальним. Перекомпенсація електрорушійної сили, що виникає в основній обмотці, забезпечує максимальну швидкодію електромагніту 7, що сприяє швидкому переміщенню золотника 4 в такий стан, при якому забезпечується подача палива, що вимагається. При досягненні частоти обертання дизель-генератора значень, що знаходяться в діапазоні заданого швидкісного

режimu, сигнал з виходу логічного пристрою 15, не достатній для відкривання підсилювача 14. При цьому сигнал на перший вхід суматора 11 не подається, а величина сигналу з виходу суматора 11 зменшується, що приводить до зменшення струму в основній обмотці 9 електромагніту 7 й повернення золотника 4 в стан, при якому забезпечується швидкісний режим, що задається. Зміна струму в основній обмотці 9 фіксується додатковою обмоткою 10, сигнал з виходу якої подається на другий вхід суматора 11, що евкаліптовано дії негативного гнучкого зворотнього зв'язку, який заспокоює коливання виконавчого золотника, а тим самим забезпечує підтримку заданої швидкодії і точності процесу регулювання частоти обертання. Забезпечити вимагаємо швидкодію процесу регулювання частоти обертання можливо й шляхом використання пружинного демпфера, кинематично з'язаного з золотником сервомотора і якорем електромагніту, який розміщується в корпусі, що заповнений маслом, при цьому якорь електромагніту поділяє корпус на дві полості, які пов'язані одна з одною через регулювочну гілку [9, 13]. Відповідна схема такого регулятора наведена на рис. 3.

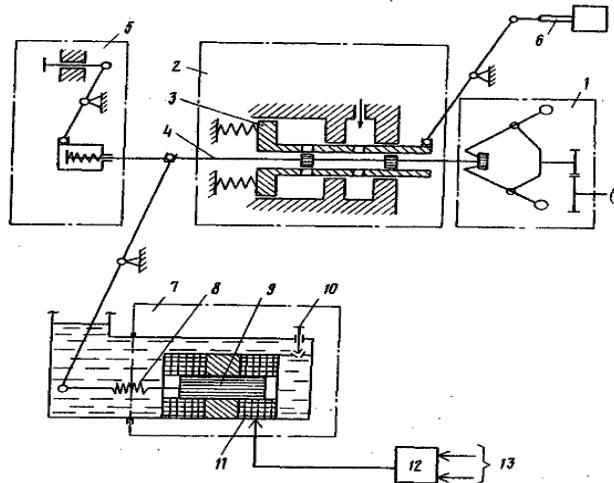


Рис. 3. Регулятор частоти обертання з механічним та гідралічним демпфером

У цьому регуляторі величина демпфуючого зусилля, що обмежує коливальний рух золотника, а тим самим і стійкість процесу регулювання частоти обертання, визначається як положенням регулювальної гілки 10, так і величиною жорсткості пружинного демпфера 8. При відмовах задатчика частоти обертання 12 або обмотки 11 електромагніту 7 регулятор лишається працездатним. При цьому стійкість процесу регулювання частоти обертання буде забезпечуватися якорем 9 електромагніту 7, а статична характеристика регулятора буде визначатися величиною жорсткості пружини механізму зміни початкової деформації пружини відцентрованого вимірювача частоти обертання 1.

Для забезпечення безвідмовності роботи регуляторів частоти обертання, що особливо важливо в випадках використання дизель-генераторів в якості джерел електричної енергії для транспортних і судових енергетичних установок при відмовах в колах управління та в колах електромагніту бажано збере-

ти попередній режим роботи. Для реалізації цієї вимоги в регуляторі частоти обертання якір електромагніту виконують в вигляді осердя і секторних вкладишів, розміщених коаксимально до осердя і підпружинених відносно осердя [1]. Схема регулятора наведена на рис. 4.

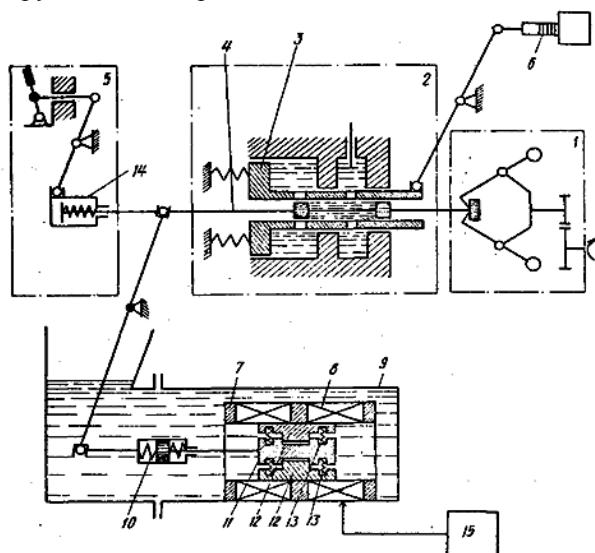


Рис. 4. Регулятор частоти обертання зі спеціальним якорем

У цьому регуляторі при відмовах в електрических колах електромагніту 8 і в колах ланок управління 15 електромагнітні зусилля, що утримують між собою складові частини якоря, становиться рівними нулю і, як наслідок, під дією сил пружності пружин 13, осердя 11 і секторні вкладиші 12 розходяться, а якір заклинюється і лишається в стані, що мав місце до моменту відмови.

Для забезпечення точності підтримки частоти обертання дизель-генератора, що вимагається, в разі використання електронних систем управління клапанами, які здійснюють подачу палива в циліндри багатоциліндрового дизеля, й для забезпечення стійкості роботи системи управління паливоподачею в пускових режимах, необхідно мати можливість здійснювати управління паливною системою відповідно до порядку роботи циліндрів дизеля [9]. Схема системи автоматичного регулювання частоти обертання наведена на рис. 5.

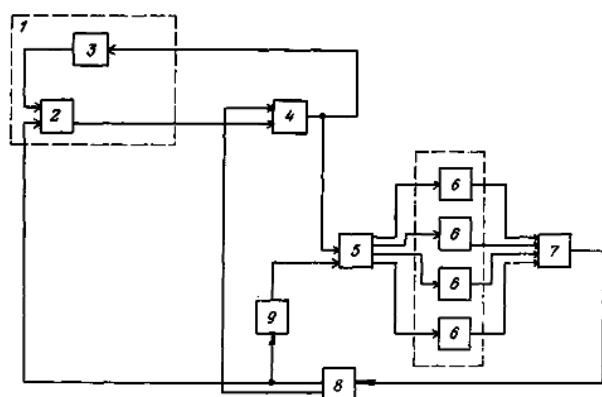


Рис. 5. Схема системи автоматичного регулювання частоти обертання

На рис. 6 наведені часові діаграми імпульсних напруг U_2 , U_3 , U_4 , U_6 та U_9 на вихіді відповідно до елементів схеми рис. 5 для випадку, якщо кутова частота $\omega \leq \omega_{nom}$ (рис. 6, а), та для випадку, коли кутова частота $\omega \approx \omega_{nom}$ (рис. 6, б). Система автоматичного регулювання частоти обертання містить у

своєму складі задатчик 1, виконаний у вигляді генератору імпульсів, що є управляемим, фільтр низьких частот 3, генератор управлюючих імпульсів 4, розподільник імпульсів 5, блок управління клапанами 6, дизель 7, датчик кутової частоти обертання валу 8, одновібратор 9.

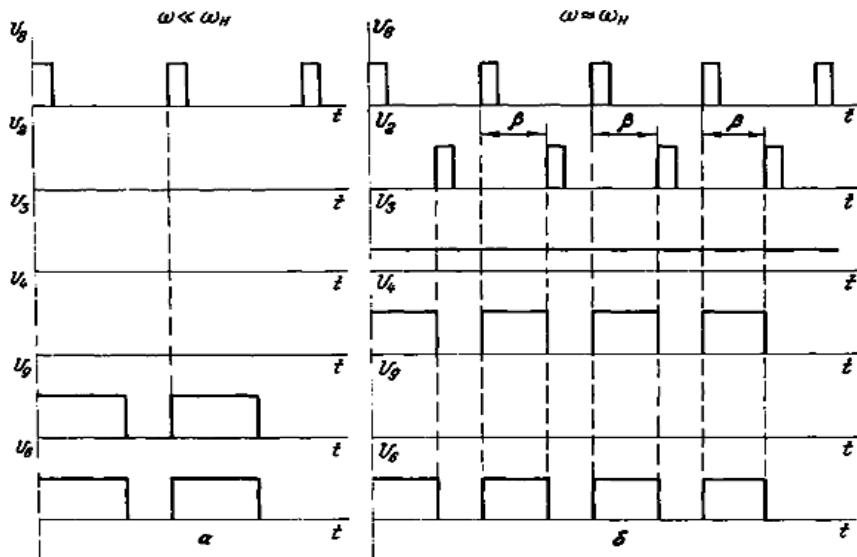


Рис. 6. Часові діаграми імпульсних напруг U_2 , U_3 , U_4 , U_6 та U_9

В процесі пуску і в випадку, якщо кутова частота обертання валу значно менше номінального значення, тобто тоді, коли $\omega \ll \omega_{nom}$ (рис. 6, а), існує сигнал на першому вихіді датчика кутової частоти обертання 8. Імпульсна послідовність U_8 , яка надходить з першого вихіду датчику 8 забороняє роботу генератору імпульсів 2, що управляється, і запускає одновібратор 9. Оскільки генератор імпульсів 2, який управляється, не працює і немає вихідного сигналу на другому вихіді датчика 8, на вихіді генератора 4 управлюючих імпульсів немає і напруга на вході та на вихіді фільтру низьких частот 3 дорівнює нулю. При цьому, на вхід розподільника імпульсів 5 подається імпульсне послідовність U_9 з вихіду одновібратора 9. Тривалість імпульсів з вихіду одновібратора 9 обирається таким чином, щоб вона відповідала максимальній подачі палива в циліндри дизеля. Розподільник імпульсів 5, відповідно до порядку роботи циліндрів, пропускає імпульси на вхід блока управління клапанами 6, час відкриття яких дорівнює тривалості управлюючих імпульсів з вихіду одновібратора 9 та відповідає максимальній подачі палива.

В випадку, якщо кутова частота обертання валу дизеля ω приблизно дорівнює номінальному значенню ω_{nom} , тобто знаходиться в смузі захоплення генератора імпульсів 2, який управляється, відбувається перемикання вихідів датчика 8 та напруга на його першому вихіді зникає, а на другому вихіді з'являється імпульсна послідовність U_8 , частота слідування імпульсів якої дорівнює частоті обертання вала двигуна. При цьому знімається заборона з генератору імпульсів 2, який управляється, і на вхід генератора управлюючих імпульсів подається імпульсна послідовність з виходу генератора імпульсів 2, який управляється, (рис. 6, б). Частота ω_0 слідування імпульсів з виходу генератора 2 при відсутності управлюючої напруги на його вході обирається більшою номінальної частоти обертання ω_{nom} . Імпульсне послідовність U_2 для генератора 4 є такою, що скидує. Тривалість напруги U_4 на вихіді генератора 4 визначається фазовим зсувом між імпульсними послідовностями U_8 та U_2 і залежить від початкової різниці частот ω_0 та ω_8 . Напруга U_4 з вихіду генератора 4 через фільтр низьких частот 3 подається на вхід генератора імпульсів 2, який управляється. При цьому відбувається переналаштування частоти слідування імпульсів з виходу генератора імпульсів 2 та її автоматичне змінення до значення при якому $\omega_2 \approx \omega_8$, тобто відбувається захоплення частоти генератора імпульсів, що управляється. Значення частоти ω_2 при цьому дорівнює

$$\omega_2 = \omega_0 - K_2 U_3, \quad (1)$$

де ω_0 – частота слідування імпульсів з виходу генератора 2 при відсутності управлюючої напруги на його вході; K_2 – коефіцієнт підсилення генератора 2; U_3 – напруга на вихіді фільтра низьких частот.

Напруга U_3 , яка подається на вхід управляемого генератора імпульсів 2, дорівнює

$$U_3 = K_3 U_{4cp}, \quad (2)$$

де K_3 – коефіцієнт підсилення фільтра низьких частот; U_{4cp} – середнє значення напруги на вихіді генератора управлюючих імпульсів 4.

Після захоплення частоти генератора імпульсів 2, що управлюється, їм здійснюється відпрацювання імпульсів з частотою, яка дорівнює частоті обертання валу дизелю. Імпульсна послідовність U_2 зсунута за фазою в бік відставання від імпульсної послідовності U_8 на кут β , який пропорційний величині управлюючої напруги, що необхідна для налаштування частоти генератора імпульсів, що управлюється, до значення ω_8 . При подачі на вход генератора імпульсів 4, що управлюється, імпульсної послідовності U_2 , зсунutoї в бік відставання на кут β , середня напруга на виході цього генератора дорівнює

$$U_{4cp} = K_4 \beta, \quad (3)$$

де K_4 – коефіцієнт підсилення генератору 4.

Відповідно до співвідношень (1-3) та вимоги $\omega_2 = \omega_8$ знаходимо, що кут відставання β пропорційний ковзанню фактичної частоти обертання вала дизеля по відношенню до фіксованої частоти ω_0 генератора імпульсів, що управлюється, тобто

$$\beta = \frac{\omega_0 - \omega_8}{K_2 K_3 K_4}. \quad (4)$$

Таким чином, величина кута зсуву за фазою β , а тим самим і тривалість управлюючих імпульсів з виходу генератора 4 пропорційні відхиленню частоти обертання від заданого значення. Чим більш це відхилення, тим більше тривалість відкритого стану клапанів блоку 6 та більше палива подається в циліндр дизеля. При умові підтримання постійного тиску в системі паливоподачі тривалість подачі палива визначає кількість палива, що дається в циліндр дизеля. Система, що розглядається, правильно працює випадку зменшення навантаження, коли фактичне значення частоти обертання ω_8 стає більшим номінального значення частоти обертання ω_{nom} .

В випадку, якщо $\omega_8 > \omega_{nom}$, величина кута фазового зсуву β буде менше значення β_{nom} , яке відповідає значенню ω_{nom} , тим самим тривалість подачі палива в циліндрі зменшується, що дозволяє знизити частоту обертання вала дизелю до номінального значення.

Висновки

1. Запропоновані технічні рішення регуляторів частоти обертання вала дизель-генераторів дозволяють отримати жорсткі та гнучкі зворотні зв'язки в системах регулювання частоти обертання, на характеристики яких не впливають зміни під час роботи фізичних властивостей робочих рідин, що використовуються в регуляторах непрямої дії.

2. Використання в регуляторах частоти обертання вала дизель-генераторів золотників, управління якими здійснюється за допомогою електромагнітів, дозволяє створювати комбіновані регулятори частоти обертання, до складу яких входять регулятори за відхиленням і регулятори за збуренням, що забезпечують при цьому точність підтримання частоти обертання, яка вимагається, швидкодію і стійкість процесу регулювання та надійність регулятора при відомих окремих його елементів.

3. Використання в електронних системах управління клапанами подачі палива системи автоматичної фазової підбудови частоти дозволить забезпечити нормальну функціонування системи автоматичного регулювання частоти як під час пуску дизель-генератора, так і в інших режимах його роботи.

4. Запропоновані технічні рішення доцільно використовувати як при модернізації існуючих систем автоматичного регулювання частоти обертання валу дизель генератора, так і при системах регулювання частоти для нових джерел електричної енергії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Кононов Б.Т., Самойленко Б.Ф., Кононов В.Б. Релейний захист та автоматика в системах електропостачання військових об'єктів. Підручник. Х.: МОУ, ХУПС, 2007. 384 с.
- Закладний О.М., Праховник Л.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода. Навч. пос. К.: Кондор, 2005. 408 с.
- Метельский В.П. Електричні машини та мікромашини. Навч. пос. Запоріжжя: ЗНТУ, 2010. 660 с.
- Андрієнко В.М., Куєва В.П. Електричні машини. Навч. пос. Київ : НУХТ, 2010. 366 с.
- Яцуна М.А. Електричні машини. Підр. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2011. 366 с.
- Бєлікова Л.Я, Шевченко В.П. Електричні машини. Навч. пос. Одеса : Наука і техніка, 2012. 478 с.
- Буряк В.Н. Експлуатація систем електропостачання. Підручник. Х.:ХНУКГ, 2012. 431 с.
- Кононов Б.Т., Сахно А.В., Сулема Д.В. Регулятор частоти електромашинного преобразователя постоянного напряжения в переменное. Зб. наук. праць ХУПС. Вип. 3 (11). Х.: ХУПС, 2009. С. 82-84.
- Кононов Б.Т. Уравнивание частот при синхронизации синхронного генератора. Системи управління навігації та зв'язку : зб. наук. праць. Вип. 3 (19). Полтава : ПНТУ, 2011. С. 77-80.
- Кононов Б.Т., Мушаров А.О. Дослідження стійкості перехідних процесів в електричних колах при ферорезонансі. Вісник НТУ «ХПІ»: зб. наук. праць. Тематичний випуск 51 (1024). Проблеми вдосконалення електричних машин і апаратів. Харків : НТУ «ХПІ», 2013. С. 82-90.
- Кононов Б.Т., Мушаров А.О. Дослідження стійкості ферорезонансних систем. Наука і техніка Повітряних Сил ЗСУ, Х.: ХУПС, 2013. № 4 (13). С. 208-209.

12. Кононов Б.Т., Бачу Р.І. Підвищення точності при визначенні ступеня нерівномірності частоти обертання дизеля. Системи озброєння і військової техніки. Х.: ХУПІС, 2013. № 2 (34). С. 104-106.
13. Кононов Б.Т., Рябуха Н.М., Щека В.М. Управління якістю електричної енергії. Системи обробки інформації : зб. наук. праць. Вип. 3 (36). Х.: ХУПІС, 2013. – С. 158-167.

REFERENCES

1. Kononov, B.T., Samoylenko, B.F. and Kononov, V. B. (2007), *Relay protection and automatics in power supply systems of military objects*, KNAFU, Kharkiv, 384 p.
2. Zakladnyj, O.M., Prahovnyk, L.V. and Solovey, O.I. (2005), *Energy saving by means of industrial electric drive tutorial*, Kondor, Kyiv, 408 p.
3. Metelskiy, V.P. (2010), *Electric machines and micromachines*, ZNTU, Zaporizhzhya, 660 p.
4. Andrienko, V.M. and Kueva, V.P. (2011), *Electric machines*, NUHT, Kyiv, 366 p.
5. Yatsun, M.A. (2011), *Electric machines*, Polytechnic Publishing House, Lviv, 366 p.
6. Belikova, L.Y. and Shevchenko, V.P. (2012), *Electric machines*, Science and Techniques, Odessa, 478 p.
7. Buryak, V.N. (2012), *Operation of power supply system*, KNUCH, Kharkiv, 431 p.
8. Kononov, B.T., Sakhno, A.V. and Sulema D.V. (2009), “The frequency controller of the electric machine converter DC to AC”, *Collection of scientific works*, No. 3 (11), KNAFU, Kharkiv, pp. 82-84.
9. Kononov, B.T. (2011), “Equalization of frequencies during synchronization of a synchronous generator”. *Navigation and communication control systems*, Collection of scientific works, No. 3 (19), pp. 77-80.
10. Kononov, B.T. and Musharov, A.O. (2013), “Investigation of the stability of transient processes in electric circuits with ferroresonance”, Nunciate NTU «KPI», *Collection of scientific works*, Thematic issue. Problems of improvement of electric machines and apparatuses, NTU «KPI», Kharkiv, No. 51 (1024), pp. 82-90.
11. Kononov, B.T. and Musharov, A.O (2013), “Investigation of the stability of ferro-resonance systems”, *Science and techniques of Air Force of Armed forces of Ukraine*, No. 4 (13), Kharkiv, pp. 208-209.
12. Kononov, B.T. and Bachu, R.I. (2013), “Improved accuracy in determining the degree of unevenness of the diesel engine's rotational speed”, *Arms and military equipment systems*, No. 2 (34), Kharkiv, pp. 104-106.
13. Kononov, B.T., Ryabuha, N.M. and Scheka, V.M. (2013), “Quality management of electric energy”, *Information processing systems*, No. 3 (36), KNAFU, Kharkiv, pp. 158-167.

Надійшла (received) 15.05.2017
Прийнята до друку (accepted for publication) 10.10.2017

Обеспечение поддержки показателей качества при регулировке частоты вращения вала дизель-генератора

Б. Т. Кононов, Е. А. Кононова, Д. Ю. Ходак

Предмет изучения в статье – анализ способов и средств обеспечения повышения точности частоты вращения, обеспечение стойкости та скорости процессов регулирования частоты вращения, повышение надёжности работы регуляторов, которые используются в системах автоматического регулирования частоты. **Цель** – описание предложенных авторами технических решений, использование которых позволит избежать негативного воздействия изменения физических свойств рабочей смеси, которая используется в регуляторах непрямого действия. **Задача** – обоснование технических решений, внедрение которых в практику регулирования частоты вращения вала дизель-генератора, позволит: повысить точность требуемых значений частоты вращения; обеспечить необходимую стойкость системы автоматического регулирования частоты; повысить быстродействие процессов регулирования; повысить надёжность регуляторов; устранить негативное влияние на процесс регулирования частоты изменения физических свойств рабочих смесей, которые используются в регуляторах непрямого действия. **Выводы:** предложенные технические решения целесообразно использовать как при модернизации существующих систем автоматического регулирования частоты вращения, так и при построении систем регулирования частоты для новых источников электрической энергии.

Ключевые слова: частота вращения; дизель-генератор; точность; стойкость; быстродействие; надёжность.

Providing support for quality indicators when adjusting rotational speed of the diesel generator shaft

B. Kononov, H. Kononova, D. Khodak

The subject of the study in the article is an analysis of ways and means to improve the accuracy of the rotation frequency, ensuring the stability and speed of the processes of speed control, increasing the reliability of the regulators that are used in automatic frequency control systems. **The purpose** is to describe the technical solutions proposed by the authors, the using of which will avoid the negative impact of changes in the physical properties of the working mixture used in regulators of indirect action. **The task** is justification of technical solutions, the introduction of which, in the practice of adjusting the rotational speed of the shaft of the diesel generator, will: increase the accuracy of the required values of the speed of rotation; ensure the necessary stability of the automatic frequency control system; to increase the speed of the regulatory processes; increase reliability of regulators; to eliminate the negative effect on the process of regulating the frequency of changes in the physical properties of working mixtures, are used in regulators of indirect action. **Conclusion:** the proposed technical solutions should be used both in the modernization of existing automatic speed control systems and in the construction of frequency control systems for new sources of electric energy.

Keywords: speed; diesel generator; accuracy; durability; speed; reliability.

НАШІ АВТОРИ (AUTHORS)

АЛ-АШМАТИ АКРАМ

Фаті Хуссейн

(*Al-Ashmati Akram Fathi Hussein*)

АХМЕД

Хамід Рея

(*Ahmed Hameed Reja*)

БАЙРАМОВ

Азад Азахар Огли

(*Bayramov Azad Agalar oğlu*)

БЕЗКОРОВАЙНИЙ

Володимир Валентинович

(*Volodymyr Bezkorovayny*)

БІЛОГОРСЬКИЙ

Микола

(*Nick Bilogorskiy*)

БОНДАРЧУК

Віктор Костянтинович

(*Viktor Bondarchuk*)

БРЕСЛАВЕЦЬ

Віталій Сергійович

(*Vitaliy Breslavets*)

БУРАВЧЕНКО

Катерина Олександрівна

(*Kateryna Buravchenko*)

БУСИГІН

Володимир Володимирович

(*Volodimir Busygyn*)

БУТЕНКО

Ольга Станіславівна

(*Olga Butenko*)

ГАВРИЛЕНКО

Світлана Юріївна

(*Svitlana Gavrylenko*)

ГАШИМОВ

Ельшан Гіяс огли

(*Hashimov Elshan Giyas oğlu*)

ГОРЕЛИК

Станіслав Ігорович

(*Stanislav Gorelik*)

ГУСАКОВ

Дмитро Сергійович

(*Dmytro Gusakov*)

ЖИВОТОВСЬКИЙ

Руслан Миколайович

(*Ruslan Zhyvotovskyi*)

ІВАЩЕНКО

Олена Валеріївна

(*Olena Ivashchenko*)

ICCAM

Мохамад Саад

(*Issam M. Saad*)

КОВТУН

Анатолій Васильович

(*Kovtun Anatolii*)

КОНОНОВ

Борис Тимофійович

(*Borys Kononov*)

КОНОНОВА

Олена Анатоліївна

(*Helen Kononova*)

КОСЕНКО

Віктор Васильович

(*Viktor Kosenko*)

Університетський коледж Аль-Фарахіді (Alfarahidi University College),

Багдад (Baghdad), Ірак (Iraq),

e-mail: ssuhad40@gmail.com

Іракський технологічний університет (Electromechanical Engineering Department,

University of Technology, Багдад (Baghdad), Ірак (Iraq),

e-mail: ahmad8171@yahoo.com

Військова академія Збройних Сил Азербайджанської республіки, Баку,

Азербайджан, доктор фізико-математичних наук, професор,

професор кафедри, e-mail: azad_bayramov@yahoo.com

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна,

доктор технічних наук, професор, професор кафедри системотехніки,

e-mail: vladimir_beskorovainyi@nure.ua; ORCID: 0000-0001-7930-3984

Компанія “Juniper Networks”, Сан-Франциско, Каліфорнія, США (San Francisco, California, USA), директор з кібербезпеки (Cyber Security Director),

e-mail: nbilogorskiy@gmail.com

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків,

Україна, магістрант кафедри обчислювальної техніки та програмування,

e-mail: barbaross2@ukr.net

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків,

Україна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри систем інформації,

e-mail: bres123@ukr.net; ORCID: 0000-0002-9954-159X

Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського “ХАІ”, Харків, Україна,

студентка кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі,

e-mail: buravchenko_k@ukr.net

Національна металургійна академія України, Дніпро, Україна,

доктор технічних наук, професор, магістрант кафедри прикладної математики

та обчислювальної техніки, e-mail: sgg1@ukr.net

Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського “ХАІ”, Харків, Україна,

доктор технічних наук, професор, професор кафедри геоінформаційних технологій та

космічного моніторингу Землі, e-mail: os-b@ukr.net, ORCID: 0000-0001-9486-8633

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків,

Україна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри обчислювальної техніки

та програмування, e-mail: gavrilenco08@gmail.com; ORCID: 0000-0006-4561-8368

Військова академія Збройних Сил Азербайджанської республіки, Баку,

Азербайджан, кандидат технічних наук, доцент,

начальник відділу науки та аспірантури, e-mail: hasimovel@gmail.com

Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського “ХАІ”, Харків, Україна,

кандидат технічних наук, доцент кафедри геоінформаційних технологій та космічного

моніторингу Землі, e-mail: stas_gor@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3640-2787

Університет Райерсона (Ryerson University), Торонто, Канада,

бакалавр торгівлі (Bachelor of commerce),

e-mail: dimaguss@hotmail.com

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил

України, Київ, Україна; кандидат технічних наук, начальник НДВ – заступник начальника

НДУ; e-mail: ruslan_zivotov@ukr.net; ORCID: 0000-0002-2717-0603

Національна металургійна академія України, Дніпро, Україна,

доктор технічних наук, професор, старший викладач кафедри

прикладної математики та обчислювальної техніки, e-mail: sgg1@ukr.net

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків,

Україна, магістр з програмного забезпечення автоматизованих систем,

аспірант кафедри систем інформації, e-mail: sadissam@gmail.com

Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна,

кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри експлуатації

та ремонту автомобілів та бойових машин

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків,

Україна, доктор технічних наук, професор, професор кафедри

електротехнічних систем комплексів озброєння та військової техніки

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,

Харків, Україна, науковий співробітник відділу

наукового центру Повітряних Сил

ДП “Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування”, Харків,

Україна, кандидат технічних наук, доцент, директор інституту,

e-mail: kosv.v@ukr.ua; ORCID: 0000-0002-4905-8508

КОШЕЛЬ

Анатолій Васильович
(*Anatoliy Koshel*)

КОШЕЛЬ

Тетяна Анатоліївна
(*Tetyana Koshel*)

КУДХАİR

Абед Тамер
(*Khudhair Abed Thamer*)

КУЛАГІН

Костянтин Костянтинович
(*Konstantin Kulagin*)

КУЧУК

Ніна Георгіївна
(*Nina Kuchuk*)

ЛЮБЧЕНКО

Нatalia Юріївна
(*Natalia Liubchenko*)

МАМУСИЧ

Ілья
(*Ilya Mamusich*)

НЕЧАУСОВ

Артем Сергійович
(*Artem Nechausov*)

ПЕТРОВ

Сергій Валерійович
(*Sergey Petrov*)

ПЕТРУК

Сергій Миколайович
(*Sergii Petruk*)

ПОДОРОЖНЯК

Андрій Олексійович
(*Andrii Podorozhniak*)

РОМАНЕНКО

Ігор Олександрович
(*Igor Romanenko*)

СААДІ

T. Kurodi
(*Saadi T. Kurdi*)

СЕРКОВ

Олександр Анатолійович
(*Aleksandr Serkov*)

СОЛОНЕЦЬ

Олексій Іванович
(*Oleksiy Solonets*)

ТАБУНЕНКО

Володимир Олександрович
(*Tabunenko Volodimir*)

ТОЛКАЧОВ

Максим Юрійович
(*Maksym Tolkachov*)

ХОДАК

Дмитро Юрійович
(*Dmitro Khodak*)

ЧЕЛАК

Віктор Володимирович
(*Victor Chelack*)

ЧУРЮМОВ

Геннадій Іванович
(*Gennadiy Chiryumov*)

ШВАЧИЧ

Геннадій Григорович
(*Gennady Shvachich*)

ШИШАЦЬКИЙ

Андрій Володимирович
(*Andrii Shyshatskyi*)

Головний центр спеціального контролю Державного космічного Агентства, Україна, кандидат технічних наук, доцент, завідувач автономного сейсмічного пункту "Харків", e-mail: anatolii-koshel@mail.ru; ORCID: 0000-0003-1887-3574

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна, студентка факультету комп'ютерних наук, практиканта АСП "Харків", e-mail: tanyushakoshel@mail.ua; ORCID: 0000-0001-6711-2582

Університетський коледж Аль-Маареф (Al-Maaref University College), Ірак (Iraq), завідувач кафедри інформатики (Head of the Chair of Computer Science), e-mail: maaref_database@yahoo.com

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, начальник відділу наукового центру, e-mail: k.kulagin@ukr.net; ORCID: 0000-0003-1189-5623

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна, кандидат педагогічних наук, доцент кафедри теоретичної та прикладної системотехніки, e-mail: nina_kuchuk@ukr.net

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформатики та інтелектуальної власності, e-mail: n_lubchenko@ukr.net

Загребський університет (University of Zagreb), Загреб, Хорватія, доктор технічних наук, професор, професор факультету електротехніки та обчислювальної техніки

Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського "ХАІ", Харків, Україна, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, e-mail: a.nechausov@khail.edu

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри фізики, теоретичної та загальної електротехніки, e-mail: psv_topol@ukr.net; ORCID: 0000-0001-8933-9649

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ, Україна; старший науковий співробітник, e-mail: petruk_serg_@ukr.net; ORCID: 0000-0002-0709-0032

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки та програмування, e-mail: andriipodorozhniak@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6688-8407

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ, Україна; доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник; e-mail: igor_romanenk@ukr.net; ORCID: 0000-0001-5339-7900

Іракський технологічний університет (Electromechanical Engineering Department, University of Technology), Багдад (Baghdad), Ірак (Iraq), e-mail: drsadijohary@gmail.com

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри систем інформації, e-mail: saa@kpi.harkov.ua; ORCID: 0000-0002-6446-5523

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник наукового центру, e-mail: alex_solonez@ukr.net; ORCID: 0000-0001-6223-5022

Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри експлуатації та ремонту автомобілів та бойових машин

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, старший викладач кафедри систем інформації, e-mail: tolkachov1@i.ua; ORCID: 0000-0001-7853-5855

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна, магістрант кафедри електротехнічних систем комплексів озброєння та військової техніки

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, бакалавр, магістрант кафедри обчислювальної техніки та програмування, e-mail: Victor.Chelak@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8810-3394

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фотоніки та лазерної інженерії, e-mail: g.churyumov@ieee.org; ID: 6602781297 (SCOPUS)

Національна металургійна академія України, Дніпро, Україна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної математики та обчислювальної техніки, e-mail: sgg1@ukr.net

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ, Україна; кандидат технічних наук, науковий співробітник; e-mail: ierikon12@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6731-6390

Подання матеріалів статей до журналу

Обсяг рукопису – не менше 4 повних аркушів українською, англійською або російською мовами.

Формат аркушу А4 ($21 \times 29,7$ см), параметри сторінки (відступи від краю):

- зліва – 2,25 см;
- зправа – 2,25 см;
- зверху – 2 см;
- знизу – 2,5 см.

Основний шрифт статті – Times New Roman, 10 кегль, міжрядковий інтервал (множник) – 1,0.

Для публікації необхідно представити статтю в електронній формі, яка оформлена згідно наведених нижче вимог, та її роздрукований екземпляр, підписаний усіма авторами статті.

Структура тексту статті:

- постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
- аналіз останніх досліджень і публікацій, на які спирається автор;
- формулювання мети статті (постановка завдання);
- виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Анотації до статті виконуються українською, англійською та російською мовами та повинні розкривати:

- предмет, тему та мету роботи;
- метод (методи) або методологію проведення досліджень;
- результати досліджень;
- висновки та область застосування результатів досліджень.

Список літератури повинен включати не менш 8 джерел, які видані за останні 10 років. При цьому не менш 50% джерел повинно відноситися до іноземної періодики. Якщо основною мовою статті є українська або російська, то оформлюється два списки літератури: перший (спісок літератури на мові оригіналу джерела) – відповідно до ДСТУ 8302:2015 «Бібліографічне посилання: загальні положення та правила складання»; другий – на англійській мові та латиниці (транслітерації) – «References».

При подані статті автор повинен гарантувати дійсність наведених джерел та у разі необхідності надати їх у редакційну колегію. Якщо джерело інформації має ідентифікатор цифрового об'єкту DOI, то він обов'язково наводиться наприкінці опису, наприклад, doi: 10.20998/2522-9052.2017.1.09.

У відомостях про авторів українською мовою наводяться:

- прізвище, ім'я та по батькові;
- науковий ступінь, вчене звання, посада;
- назва установи, де працює автор, її місце розташування (місто, країна);
- обліковий запис автора ORCID;
- адреса електронної пошти.

Рукопис супроводжується:

- рецензією доктора наук (професора);
- витягом з протоколу засідання кафедри (відділу).

Незалежне експертне рецензування проводиться з метою критичної оцінки рукописів, що подаються до публікації, спеціалістами, які не входять до складу редакційної колегії. Редакційна колегія направляє наукові статті, що публікуються, на зовнішнє анонімне рецензування незалежними експертами.

Схема оформлення статей (обов'язкові елементи)

УДК (кегль – 9 пт).

Перелік авторів статті (кегль – 11 пт).

Перелік установ, де працюють автори (назва без скорочень, місто, країна, кегль – 11 пт).

Назва статті (кегль – 12 пт).

Анотація мовою основного тексту статті (кегль – 9 пт).

Ключові слова мовою основного тексту статті (кегль – 9 пт).

Основний текст статті (кегль – 10 пт).

Список літератури (для статей українською або російською мовами, кегль – 9 пт)

References (кегль – 9 пт).

Вимоги до елементів статті

Набір формул здійснюється в редакторах формул MS Equation або MathType. Забороняється використовувати для набору формул графічні об'єкти, таблиці та редактор Формула (formula) Word 2007-2016.

В меню “Розмір → Визначити” ввести такі розміри: звичайний – 10 пт; великий індекс – 8 пт; малий індекс – 7 пт; великий символ – 14 пт; малий символ – 10 пт.

В меню “Стиль → Визначити” ввести стиль формул – “прямий”, тобто поля “Формат символів” – пусті.

Рисунки обов’язково супроводжуються центрованими підрисунковими підписами (кегль – 9), ширина не більше 16,5 см, всі позначення виконуються кеглем не меншим ніж 8 pt.

У таблицях табличний заголовок (9 кегль) – обов’язковий.

Вимоги до оформлення References

References потрібно приводити окремим блоком, повторюючи послідовність попередньо наведеного списку літератури (при наявності), при цьому джерела англійською мовою дублюються. Джерела при цьому оформлюються за такими основними правилами (гарвардський стиль (Harvard style) оформлення BSI:

- запис завжди починається з прізвища автора, потім, через кому, ініціали (між ініціалами пропуски не ставляться), за якими в дужках вказується дата видання; два автори відокремлюються «and» без коми; кілька авторів розділяються комами, але останнє прізвище повинно бути відокремлено «and» без коми;

- витяги з публікацій, тобто назви статей журналів, глав в книгах наводять у "лапках";

- назва журналу або книги завжди виділяється курсивом;

- ім'я видавця вказується перед місцем видання;

- коми використовують для поділу елементів запису

- для джерел українською або російською мовою, що наводяться у References, назви статей журналів, глав в книгах наводять латиницею (транслітерацією) у "лапках" та перекладом на англійську мову у квадратних дужках. Онлайн-конвертер з української мови для транслітерації: <http://translit.kh.ua/?passport>.

Приклади оформлення цитування із різних типів неангломовних джерел (кирилиця)

1.1. Книга (ДСТУ 8302:2015).

1. Демарко Т., Листер Т. Человеческий фактор. Санкт-Петербург : Символ–Плюс, 2005. 256 p.

1.2. Книга (Harvard style оформлення BSI).

1. Demarko, T. and ister, T. (2005), *Chelovecheskiy faktor* [Human factor], Simvol-Plyus, Sankt-Peterburg, 256 p.

2.1. Стаття із періодичного видання (ДСТУ 8302:2015).

2. Швачич Г. Г., Семенов С. Г., Главчев М. И., Халифе Кассем. Модель расчета временных границ проектов. Системы управления, навигации и связью. Полтава : ПНТУ, 2017. Вип. 1 (41). С. 43-49.

2.2. Стаття із періодичного видання (Harvard style оформлення BSI).

2. Shvachich, G.G., Semenov, S.G. Glavchev, M.I. and Kassem, Khalife (2017), “Model rascheta vremennykh granits proyektov [Model calculation of time boundaries of projects]”,/ *Sistemi upravlinnya navigatsii ta zvyazku*, PNTU, Poltava, No. 1 (41), pp. 43-49.

3.1. Дисертація (ДСТУ 8302:2015).

3. Белозеров И.В. Религиозная политика: дис. ... канд. ист. наук: 07.00.02; защищена 22.01.02; утв. 15.07.02 / Белозеров Иван Валентинович. – К., 2002. – 215 с.

3.2. Дисертація (Harvard style оформлення BSI).

3. Belozerov, (2002), ”Relyhyoznaia polytyka: dissertation” [The religious policy: dissertation], Kiev, 215 p

4.1. Джерела електронного ресурсу віддаленого доступу (ДСТУ 8302:2015).

4. Кузумано Майл, Поппендик Мери. Бережливая разработка программ [Электронный ресурс]. Открытые системы : СУБД. 2012. № 08. Режим доступа: <https://www.osp.ru/os/2012/08/13019237/> (останнє звернення 10.04.2017).

4.2. Джерела електронного ресурсу віддаленого доступу (Harvard style оформлення BSI).

4. Kuzumano, Maykland and Poppendik, Meri (2012), “Berezhlivaya razrabotka program [Wasteful development of programs]”. *Otkrytyye sistemy*. SUBD, № 08, available at: <https://www.osp.ru/os/2012/08/13019237/> (last accessed April 10, 2017).

Submission of articles for journal

The manuscript volume should be at least 4 full pages in Ukrainian, Russian or English.

Page size: A4 (21 × 29.7 cm). Page setup (margins):

- left – 2.25 cm;
- right – 2.25 cm;
- top – 2 cm;
- bottom – 2.5 cm.

Body text – use Times New Roman font; face – Roman; font size – 10 pt, Line spacing is set by multiplier of 1.0.

It is necessary to present the article in electronic form, which is finalized according to the requirements, and with printed copy, signed by all authors.

Structure of the manuscript: the article should include the following elements:

- general problem statement and its relation to up-to-date scientific and practical tasks;
- analysis of recent research and publications in the relevant field;
- statement of the article tasks;
- the main part with explaining the research conducted and obtained scientific results;
- conclusions of the conducted research and prospects to be developed in the future works.

Abstract of manuscript should be written in Ukrainian, English and Russian, and explain:

- subject, theme and objective of the research;
- method (methods) or methodology of research;
- results of research;
- application possibilities of research results.

The reference list should include not less than 8 sources that have been published for the past 10 years. Here-with, not less than 50 percent of sources should be from foreign journals. Self-citation of the authors in the list of references should not exceed 30 percent. If the basic language of the article is Ukrainian or Russian, then two reference lists should be completed: the first one (reference list in original language) – according to the ДСТУ 8302:2015 “Bibliographic references: general statements and compilation rules”; the second one should be in English and in Latin characters (transliteration) – “References” (Annex B). If the reference has digital object identifier DOI, then it should be given at the end of the description, for example, doi: 10.20998/2522-9052.2017.1.09.

Information about the authors must contain:

- full name;
- scientific degree, academic title,
- position, affiliation;
- ORCID ID;
- e-mail.

The authors should:

- ensure that results of research contained in the article constitute independent and original work;
- present the original article, that has not been submitted to other journals and that has not been previously published in other publications;
- provide reliable results of the conducted research;
- recognize the contribution of all persons who influenced the research or helped to define the nature of the scientific work presented in the article;
- in case of using the work fragments by other's or borrowing other author's materials, the authors are required to provide complete bibliographic references with the obligatory indication of the author and primary source; submitted materials will not be returned to the author.

Independent expert reviewing is carried out for evaluation of articles by specialists that are not the members of the editorial board. An editorial board sends most of the scientific articles for external reviewing by independent peer reviewers.

Conflicts of interests. All the members of independent reviewing and publishing processes must reveal the information about any kinds of relations that can be considered as potential resource of conflicts of interests. This demand is also related to authors and reviewers. Editor-in-chief and editorial board members decide to publish the information revealed by authors, which is related to the potential conflicts only after agreement with the authors.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Ал-Ашматі Акрам Фаті Хусейн (Al-Ashmati Akram Fathi Hussein).....	52
Ахмед Хамід Рея (Ahmed Hameed Reja)	52
Байрамов А. А. (Bayramov A. A.)	70
Безкоровайний В. В. (Bezkorovayny V.)	15
Білогорський М. (Bilogorskiy N.)	58
Бондарчук В. К. (Bondarchuk V.)	39
Бреславець В. С. (Breslavets V.)	33
Буравченко Є. А. (Buravchenko K.)	74
Бусигін В. В. (Busygin V.)	62
Бутенко О. С. (Butenko O.)	74
Гавриленко С. Ю. (Gavrylenko S.)	58
Гашимов Е. Г. (Hashimov E. G.)	70
Горелик С. І. (Gorelik S.)	74
Гусаков Д. С. (Gusakov D.)	74
Животовський Р.М. (Zhivotovskyi R.)	27
Іващенко О. В. (Ivaschenko O.)	62
Іссам М. Саад (Issam M. Saad)	33
Ковтун А. В. (Kovtun A.)	78
Кононов Б. Т. (Kononov B.)	83
Кононова О. А. (Kononova H.)	83
Косенко В. В. (Kosenko V.)	4
Кошель А. В. (Koshel A.)	15
Кошель Т. А. (Koshel T.)	15
Кудхаір Абед Тамер (Khudhair Abed Thamer)	45
Кулагін К. К. (Kulagin K.)	15
Кучук Н. Г. (Kuchuk N.)	21
Любченко Н. Ю. (Liubchenko N.)	39
Мамусич І. (Mamusich I.)	21
Нечаусов А. С. (Nechausov A.)	21
Петров С. В. (Petrov S.)	15
Петruk С.М. (Petruk S.)	27
Подорожняк А. О. (Podorozhniak A.)	39
Романенко I.O. (Romanenko I.)	10
Сааді Т. Курді (Saadi T. Kurdi)	52
Серков О. А. (Serkov A.)	33
Солонець О. І. (Solonets O.)	15
Табуненко В. О. (Tabunenko V.)	78
Толкачов М. Ю. (Tolkachov M.)	33
Ходак Д. Ю. (Khodak D.)	83
Челак В. В. (Chelack V.)	58
Чурюмов Г. І. (Churyumov G.)	33
Швачич Г. Г. (Shvachich G.)	62
Шишацький А.В. (Shyshatskyi A.)	10

Наукове видання

Сучасні інформаційні системи Advanced Information Systems

Науковий журнал

Том 1, № 2

Відповідальний за випуск *С. Г. Семенов*

Технічний редактор *А. Е. Горюшкіна*

Коректор *Д. С. Гребенюк*

Комп'ютерна верстка *Н. Г. Кучук*

Оформлення обкладинки *А. Е. Горюшкіна*

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

Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 11,75. Тираж 120 прим. Зам. 1124-17

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