

Харківський національний  
університет радіоелектроніки

Kharkov National  
University of Radio Electronics

Державне підприємство  
"Південний державний  
проектно-конструкторський  
та науково-дослідний інститут  
авіаційної промисловості"

State Enterprise  
"Southern National Design  
&  
Research Institute  
of Aerospace Industries"

**СУЧАСНИЙ СТАН  
НАУКОВИХ  
ДОСЛІДЖЕНЬ  
ТА ТЕХНОЛОГІЙ  
В ПРОМИСЛОВОСТІ**

**INNOVATIVE  
TECHNOLOGIES  
AND  
SCIENTIFIC SOLUTIONS  
FOR INDUSTRIES**

№ 4 (10), 2019

No. 4 (10), 2019

*Щоквартальний  
науковий  
журнал*

*Quarterly  
scientific  
journal*

Харків  
2019

Kharkiv  
2019

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

**Головний редактор**  
**Бодяньський Євгеній Володимирович,**  
д-р. техн. наук, професор

**Заступник головного редактора**  
**Айзенберг Ігор Наумович,**  
канд. техн. наук, професор (США);  
**Шекер Серхат,**  
д-р. техн. наук, професор (Туреччина)

### Члени редколегії:

**Артюх Роман Володимирович,** канд. техн. наук;  
**Бабенко Віталіна Олексіївна,** д-р. екон. наук, канд. техн. наук, професор;  
**Безкорований Володимир Валентинович,** д-р. техн. наук, професор;  
**Гасімов Юсіф,** д-р. мат. наук, професор (Азербайджан);  
**Гопсенко Віктор,** д-р. техн. наук, професор (Латвія);  
**Го Цян,** д-р. техн. наук, професор (КНР);  
**Джавад Хамісабаді,** канд. техн. наук, доцент (Іран);  
**Зайцева Єлена,** д-р. техн. наук, професор (Словаччина);  
**Зачко Олег Богданович,** д-р. техн. наук, доцент;  
**Коваленко Андрій Анатолійович,** д-р. техн. наук, доцент;  
**Костін Юрій Дмитрович,** д-р. екон. наук, професор;  
**Левашенко Віталій,** д-р. техн. наук, професор (Словаччина);  
**Лемешко Олександр Віталійович,** д-р. техн. наук, професор;  
**Малєєва Ольга Володимирівна,** д-р. техн. наук, професор;  
**Момот Тетяна Валеріївна,** д-р. екон. наук, професор;  
**Назарова Галина Валентинівна,** д-р. екон. наук, професор;  
**Невлюдов Ігор Шакирович,** д-р. техн. наук, професор;  
**Пермяков Олександр Анатолійович,** д-р. техн. наук, професор;  
**Петленков Едуард,** канд. техн. наук (Естонія);  
**Петришин Любомир Богданович,** д-р. техн. наук, професор (Польща);  
**Рубан Ігор Вікторович,** д-р. техн. наук, професор;  
**Семенець Валерій Васильович,** д-р. техн. наук, професор;  
**Сетлак Галина,** д-р. техн. наук, професор (Польща);  
**Терзіян Ваган Якович,** д-р. техн. наук, професор (Фінляндія);  
**Телстов Олександр Сергійович,** д-р. екон. наук, професор;  
**Тімофєєв Володимир Олександрович,** д-р. техн. наук, професор;  
**Тодоров Кирил,** д-р. екон. наук, професор (Болгарія);  
**Філатов Валентин Олександрович,** д-р. техн. наук, професор;  
**Чумаченко Ігор Володимирович,** д-р. техн. наук, професор;  
**Чухрай Наталія Іванівна,** д-р. екон. наук, професор;  
**Юн Джин,** канд. фіз.-мат. наук, професор (КНР);  
**Ястремська Олена Миколаївна,** д-р. екон. наук, професор.

### ЗАСНОВНИКИ

Харківський національний університет радіоелектроніки,  
Державне підприємство "Південний державний  
проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут  
авіаційної промисловості"

### АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

Україна, 61166, м. Харків, проспект Науки, 14  
Телефон: +38 (057) 704-10-51  
Інформаційний сайт: <http://itssi-journal.com>  
E-mail редколегії: [journal.itssi@gmail.com](mailto:journal.itssi@gmail.com)

## EDITORIAL BOARD

**Editor in Chief**  
**Bodyanskiy Yevgeniy,**  
Dr. Sc. (Engineering), Professor, Ukraine

**Deputy Chief Editor**  
**Igor Aizenberg,**  
PhD (Computer Science), Professor (United States)  
**Serhat Seker,**  
Dr. Sc. (Engineering), Professor (Turkey)

### Editorial Board Members:

**Artiukh Roman,** PhD (Engineering Sciences) (Ukraine);  
**Babenko Vitalina,** Dr. Sc. (Economics);  
PhD (Engineering Sciences), Professor (Ukraine);  
**Bezkorovainyi Volodymyr,** Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);  
**Gasimov Yusif,** Dr. Sc. (Mathematical Sciences), Professor (Azerbaijan);  
**Gopeyenko Victors,** Dr. Sc. (Engineering), Professor (Latvia);  
**Guo Qiang,** Dr. Sc. (Engineering), Professor (P.R. of China);  
**Javad Khamisabadi,** PhD (Industrial Management), Associate Professor (Iran);  
**Zaitseva Elena,** Dr. Sc. (Engineering), Professor (Slovak Republic);  
**Zachko Oleh,** Dr. Sc. (Engineering), Associate Professor (Ukraine);  
**Kovalenko Andrey,** Dr. Sc. (Engineering), Associate Professor, (Ukraine);  
**Kostin Yuri,** Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);  
**Levashenko Vitaly,** Dr. Sc. (Engineering), Professor (Slovakia);  
**Malyyeva Olga,** Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);  
**Momot Tetiana,** Dr. Sc. (Economics), Professor, (Ukraine);  
**Nazarova Galina,** Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);  
**Nevliudov Igor,** Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);  
**Permyakov Alexander,** Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);  
**Petlenkov Eduard,** PhD (Engineering Sciences) (Poland);  
**Petryshyn Lubomyr,** Dr. Sc. (Engineering), Professor (Poland);  
**Ruban Igor,** Dr. Sc. (Engineering), Professor, (Ukraine);  
**Semenets Valery,** Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);  
**Setlak Galina,** Dr. Sc. (Engineering), Professor (Poland);  
**Terziyan Vagan,** Dr. Sc. (Engineering), Professor, (Finland);  
**Teletov Aleksandr,** Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);  
**Timofeyev Volodymyr,** Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);  
**Todorov Kiril,** Dr. Sc. (Economics), Professor (Bulgaria);  
**Filatov Valentin,** Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);  
**Chumachenko Igor,** Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);  
**Chukhray Nataliya,** Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);  
**Yu Zheng,** PhD (Physico-Mathematical Sciences), Professor (P.R. of China);  
**Iastremaska Olena,** Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine).

### ESTABLISHERS

Kharkiv National University of Radio Electronics,  
State Enterprise "National Design & Research Institute  
of Aerospace Industries"

### EDITORIAL OFFICE ADDRESS:

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauka Ave, 14  
Phone: +38 (057) 704-10-51  
Information site: <http://itssi-journal.com>  
E-mail of the editorial board: [journal.itssi@gmail.com](mailto:journal.itssi@gmail.com)

*Журнал включено до "Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук" наказом Міністерства освіти і науки України від 16.07.2018 №775 (додаток 7).*

Затверджений до друку Науково-технічною Радою Харківського національного університету радіоелектроніки (Протокол № 11 від 16 грудня 2019 р.).

Свідоцтво про державну реєстрацію журналу Серія КВ № 22696-12596P від 04.05.2017 р.

## ЗМІСТ

### Інформаційні технології

- 5 **Бакурова А. В., Пасічник М. С., Терещенко Е. В.**  
Нечітке моделювання вербальної інформації для продукційних систем (eng.)
- 14 **Бушуєв С. Д., Козир Б. Ю., Запривода А. А.**  
Нелінійні стратегії в управлінні інфраструктурними програмами
- 24 **Безкорвайний В. В., Куропатенко О. В., Гобов Д. А.**  
Оптимізація маршрутів перевезень у системі замкненої логістики (eng.)
- 33 **Васюта К. С., Зоц Ф. Ф., Захарченко І. В.**  
Концепція побудови прихованої інформаційно-вимірювальної системи протиповітряної оборони на основі застосування ортогональних хаотичних сигналів (eng.)
- 44 **Владов С. І., Шмельов Ю. М., Пилипенко Л. М., Котляров К. Г., Грибанова С. А., Гусарова О. В.**  
Розробка інформаційної та динамічної моделей контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117
- 55 **Маковейчук О. М.**  
Інформаційна технологія побудови та використання візуальних інформаційних структур доповненої реальності
- 69 **Міхнова А. В., Міхнов Д. К., Чиркова К. С.**  
Метод оцінювання ефективності модернізації спеціалізованих інформаційних систем (eng.)

### Сучасні технології управління підприємством

- 77 **Бушуєва Н. С., Бушуєв Д. А., Бушуєва В. Б.**  
Agile лідерство управління проєктами інновацій (eng.)
- 85 **Зачко О. Б., Кобилкін Д. С., Ковальчук О. І.**  
Моделі формування проєктних команд в безпеко-орієнтованій системі (eng.)
- 92 **Маслюк І. О.**  
Напрями активізації модернізаційних зрушень у сільськогосподарському виробництві України
- 101 **Момот Т. В., Сінческул І. Л., Савенко К. С., Букрєєва К. С.**  
Збалансоване управління взаємовідносинами зі стейкхолдерами у сфері теплопостачання (eng.)
- 111 **Пітерська В. М.**  
Концептуальна модель управління науковою діяльністю закладів вищої освіти (eng.)

### Машинобудування, автоматизація та робототехніка

- 120 **Роменський В. І., Невлюдова В. В., Персіянова О. Ю.**  
Технологічні методи підвищення надійності складально-зварювальної оснастки при виробництві виробів радіоелектронного приладобудування (рус.)

### Телекомунікаційні системи та комп'ютерні мережі

- 134 **Можасє М. О., Кучук Н. Г., Усатенко М. В.**  
Метод визначення джитера в телекомунікаційній мережі комп'ютерної системи на спеціальній програмній платформі (eng.)
- 141 **Алфавітний показчик**

CONTENTS

Information Technology

- 5 **Bakurova, A., Pasichnyk, M., Tereschenko, E.**  
Fuzzy modeling of verbal information for production systems
- 14 **Bushuyev, S., Kozyr, B., Zapryvoda, A.**  
Nonlinear strategic management of infrastructure programs
- 24 **Beskorovainyi, V., Kuropatenko, O., Gobov, D.**  
Optimization of transportation routes in a closed logistics system
- 33 **Vasyuta, K., Zots, F., Zakharchenko, I.**  
Building the air defense covert information and measuring system based on orthogonal chaotic signals
- 44 **Vladov, S., Shmelov, Y., Pylypenko, L., Kotliarov, K., Hrybanova, S., Husarova, O.**  
Research of information and dynamic models of control and diagnostics of TV3-117 aircraft engine technical state
- 55 **Makoveichuk, O.**  
The informational technology of designing and using of augmented reality visual information structures
- 69 **Mikhnova, A., Mikhnov, D., Chyrkova, K.**  
Method for evaluating the efficiency of upgrading specialized information systems

Modern enterprise management technologies

- 77 **Bushuyeva, N., Bushuiev, D., Bushuieva, V.**  
Agile leadership of managing innovation projects
- 85 **Zachko, O., Kobylkin, D., Kovalchuk, O.**  
Models of project teams' formation in a safety-oriented system
- 92 **Masliuk, I.**  
Directions of activation of modernization shifts in agricultural production of Ukraine
- 101 **Momot, T., Sincheskul, I., Savenko, K., Bukrieieva, K.**  
Balanced management of stakeholder relationships in the heating sphere
- 111 **Piterska, V.**  
Conceptual model of scientific activity management of higher education institutions

Mechanical Engineering, Automation & Robotics

- 120 **Romenskiy, V., Nevliudova, V., Persiyanova, E.**  
Technological methods of improving the reliability of storage and welding equipment in the production of radio-electronic device products

Telecommunication Systems & Computer Networks

- 134 **Mozhaiev, M., Kuchuk, N., Usatenko, M.**  
The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform
- 141 **Alphabetical index**

UDC 004.048

DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.005>

A. BAKUROVA, M. PASICHNYK, E. TERESCHENKO

## FUZZY MODELING OF VERBAL INFORMATION FOR PRODUCTION SYSTEMS

The **subject** of the article's research is the formalization of unstructured or semistructured verbal information for a fuzzy production system. The **purpose** of the work is to develop a method of constructing membership functions for fuzzy sets of terms of a linguistic variable that will allow formalizing unstructured or semistructured verbal information for fuzzy production systems. The following **tasks** are solved in the article: to develop a method of constructing the membership functions to determine the sequence of stages: the stage of modeling verbal information in the form of digraphs, the stage of constructing the order relation on the elements of this model, the step of determining a linguistic variable based on the created model, and determining the functions of fuzzy sets of linguistic terms variable. **Methods** are used: graph theory, mathematical induction, fuzzy modeling. **Results** obtained: a method for constructing the membership function of linguistic variables that formalizes unstructured or semi-structured qualitative information for fuzzy production systems is developed. For this purpose, the process of constructing the membership function has been broken down into stages. The implementation of the first stage requires the creation of a model of unstructured or semistructured verbal information. Three models of information based on oriented trees are considered with increasing complexity. A model based on an acyclic oriented graph is considered as a generalization. Such a model is the basis for processing information that has a structure of greater complexity. The second stage provides a theoretical basis for constructing the order relation for the elements of the models under consideration. For the implementation of the third stage, a method of identifying the order elements on the basis of the positional system is proposed. Based on the ID of each ordered element, functions of fuzzy sets of terms of a linguistic variable are constructed. Appropriate procedures have been developed to implement the steps. **Conclusions:** application of the method will allow automating the assignment of vectors of input and output information, to automate the formation of fuzzy sets of terms of the corresponding linguistic variables, will allow to build fuzzy products as a knowledge base of a fuzzy production system, and to train such a system.

**Keywords:** membership function; ratio of order; linguistic variable.

### Introduction

Under uncertainty, when the decision-maker (DM) has less information than is appropriate for decision-making, the use of a product system can reduce the cost of resources. Uncertainty in solving problems has a different nature. This may be unreliability, lack, and inaccuracy, fundamental impossibility of obtaining additional information, insufficient qualification of the person charged with the responsibility for making a decision, the need to make a decision in the conditions of limited resources of time, money, and executors. The production system contains expert knowledge, the application of which can partially or completely eliminate uncertainty. Knowledge - these are the laws of the subject area, which are identified expertly in the course of professional practical activity and such that allow you to solve problems in a particular field. The main modules of the production system are: a database that stores known facts about the state of the subject area; a set of production rules; product interpreter.

In the context of semistructured or unstructured information, a verbal, qualitative description of the most important elements whose quantitative dependencies are difficult to identify must be used to make a decision. The use of fuzzy output systems allows combining fuzzy inputs with logic based on fuzzy production rules, in which terms and conditions are formulated in terms of fuzzy linguistic expressions. [1, 2, 3].

### Analysis of recent research and publications

Formally, the production system *System* displays *System: Input*  $\rightarrow$  *Output* where, in the most general

sense, input is given to the input *Input*, which should influence the output *Output*. At the stage of system design *System*, it is necessary to decide on the model of data representation, extraction and structuring of knowledge and creation of knowledge bases that form the core of the system.

The knowledge base requires the use of expertise for direct use in logical inference to construct inferences. In general, the input information *Input* is verbal, qualitative, nonmetric, unstructured, or poorly structured. This information may contain a description of the phenomenon, object, process. It is necessary to distinguish such information about one or more attributes, properties of these phenomena, objects or processes that are significant in the sense of influencing the output *Output*. Output results *Output* contain information about possible alternative solutions, meaning this information can be considered more structured.

A fuzzy measure is a quantification of linguistic (verbal) ambiguity related to the peculiarities of human thinking [4].

When applying fuzzy mathematics methods, one of the traditional problems is to construct membership functions of fuzzy sets corresponding to a particular problem [5]. The problem is that the membership function is defined outside the theory of fuzzy sets (in metatheory), that is, the correctness of construction cannot be verified by the methods of theory, and can only be verified after solving the problem. A positive consequence of the problem is that the definition of a fuzzy set does not limit the choice of the type of membership function. The methods are currently divided into two groups, direct and indirect. Work [3] systematically outlines various approaches and methods for constructing membership

functions. Examples of constructing membership functions for metric quantities are carefully presented. The theory of fuzzy sets has a wealth of experience in constructing membership functions depending on the context of the problems. Achievements in fuzzy and fuzzy modeling and control of systems are considered in [6]. For example, self-organizing systems on metric input and output values. In work [7], problems of the use of fuzzy modeling in control of dynamic systems are considered. In study [8], a hybrid model of site selection in Vilnius was constructed. The hybrid approach has combined the multi-criteria selection problem based on a convolution of criteria with a fuzzy hierarchical synthesis of the weights of individual criteria. The membership functions were selected triangular with expertly defined parameters. Direct methods are commonly used for measurable concepts, or when there are polar meanings, but such methods have a significant share of subjectivity. The determination of the intensity of a particular property of an object is due to its nature. The difficulty lies in the inaccurate measurement of intensity, the fundamental impossibility of using a measuring instrument, due to the individual peculiarities of expert perception [9, 10]. In the case of immeasurable concepts, indirect methods are used to construct the membership functions. In this case, the original expert information is further processed. An example of such processing is the procedure for normalizing various features. In [11], a method of normalization of term sets was proposed for modeling of operational risk factors, which allowed the construction of membership functions for different input variables in uniform coordinates. In [12], a method for solving multicriteria estimation of the optimality of medical institution schedules was proposed, based on fuzzy modeling. Triangular membership functions were expertly defined and had metrics on the abscissa. Similar problems are solved by qualimetric methods in utility theory, when constructing psychological and pedagogical assessments [13, 14]. A classic method is the pairwise comparisons of Saati [15, 16]. In [17], the authors of this article constructed a system of fuzzy inference to support court decisions. For the product system, the input variable is information about the person responsible, aggravating and mitigating circumstances. The identity of the perpetrator is verbal, qualitative, non-metric, poorly structured information. The application of known methods of constructing the membership function [3] proved to be ineffective. There was a need to develop a method of modeling such information.

For ordering methods in theory (in particular in [18]), general rules for constructing membership functions are formulated. One of them is the definition of a universal set on the principle of natural ordering.

So, when developing new methods for constructing membership functions, we pursue two goals: analytic representation of functions and minimizing the cost of computing resources.

The work was carried out as the part of the research work "Mathematical modeling of socio-economic processes and systems", the registration number DB05038, at the Department of System Analysis and

Computational Mathematics of Zaporizhzhya National Technical University.

### Highlighting previously unresolved parts of a common problem

When creating a method of plotting a membership function  $\mu(x)$  for nonmetric information *Input*, it is necessary to solve the problem with the abscissa scale and the general appearance of the function. The abscissa shows the measurement scale  $x \in X$  to be constructed according to the internal nature of the information *Input*. The choice of the general appearance of the membership function  $\mu(x)$  and the method of its construction must also be determined according to the requirements of continuity, differentiation, monotony of the function.

The **purpose** of the study is to develop a method of constructing membership functions for fuzzy sets of terms of a linguistic variable that will allow formalizing unstructured or semistructured verbal information for fuzzy production systems.

### Results of the studies and their discussion

In the case of a fuzzy output production system *System*, the variables describing the input *Input* must be represented as linguistic variables [2, 3]. The source information *Output* can look like both a clear and a linguistic variable. Traditionally, linguistic and fuzzy variables have the following definitions [4].

**Definition 1.** A linguistic variable  $\alpha$  is a tuple  $\langle \alpha, T, X, G, S \rangle$ , where  $\alpha$  – the name of a linguistic variable,  $T$  – a term set  $T = \{t_z\}, z = \overline{1, |T|}$  where each term  $t_z$  is a fuzzy variable,  $X$  – a universal set of basic values (an area in which the values of a linguistic variable are defined),  $G$  – a syntactic procedure for the formation of new values of a linguistic variable,  $S$  – a procedure that allows the content of new linguistic variable values that are formed by the procedure  $G$  to be content by constructing a fuzzy set.

**Definition 2.** A fuzzy variable  $t$  is a tuple  $v$ , where  $t$  – the name of a fuzzy variable,  $X_t$  – the scope of a fuzzy variable,  $(x, \mu(x))$  – a fuzzy set at  $X_t$ .

In order to build a measurement scale  $x \in X$ , it is necessary to determine the internal nature of the *Input* information and its processing methods. To reflect the internal structure of *Input* information, we build its model.

Assume that the information *Input* is verbal and contains a description of a specific feature  $\alpha$  characterized by a plurality of features  $P$ .

Let us consider in detail the steps of the method of constructing membership functions for fuzzy sets of terms of a linguistic variable.

The first stage is the modeling of verbal information in the form of digraphs.

The apparatus of graph theory was chosen for modeling as having the highest clarity [19]. A digraph  $D = (V, E)$  is a set of ordered pairs  $E = \{(v_i, v_j) | v_i, v_j \in V, i, j = 1, |V|\}$ . Oriented Tree (Ortree) is an acyclic digraph  $H$  in which only one vertex has zero half-degree of input, and all other vertices have half-degree of input one. The zero-entry vertex is the root of the tree; the zero-exit vertex is the leaves. The path between root and leaf is a branch. The length of the largest branch of the order is its height. The distance from the root to the top determines its level. The root has a level of zero. Tops of one level form a tier of a tree.

Consider cases where the input information *Input* can be represented by an Ortree  $H$ .

In the first variant, consider the model "Ortree  $H_1$  with height one".

Assume that an object is characterized by a non-metric attribute that can take values. In this case, the model of qualitative information is the Ortree  $H_1$  (fig. 1 a)). The first tier is formed by the leaves of the Ortree  $H_1$ , which are variants of the values  $p_{1j}$  of the attribute  $P_1$ .

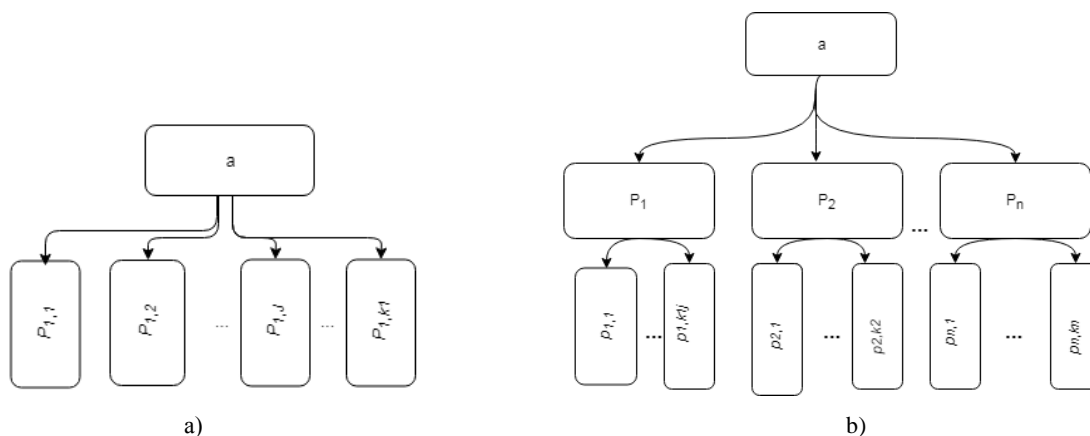


Fig. 1. Input data model of *Input* type a) "Ortree with height one", b) "Ortree with height two"

In the second variant we will consider the model "Ortree with height two" (fig. 1b).

Assume that the variable  $\alpha$  is characterized by  $n$  nonmetric signs  $P_i, i = \overline{1, n}$  forming a set  $P, |P| = n$ . Each trait  $P_i$  can take  $k_i$  values  $p_{ij}, j = \overline{1, k_i}$ . Each branch of the Ortree  $H_2$  defines a specific sign  $P_i, i = \overline{1, n}$ . The peaks corresponding to the features  $P_i, i = \overline{1, n}$  form the first tier. The second tier consists of the leaves of the

Ortree  $H_2$ , which are possible values  $p_{ij}$  of the trait  $P_i$  (fig. 1b).

The third variant is an Ortree in which the leaves are on different tiers (fig. 2). Let's call this model "general Ortree  $H_3$ ". The Ortree is a subset of acyclic graphs [20]. Therefore, the fourth consider the option of presenting information with an acyclic graph  $H_4$ .

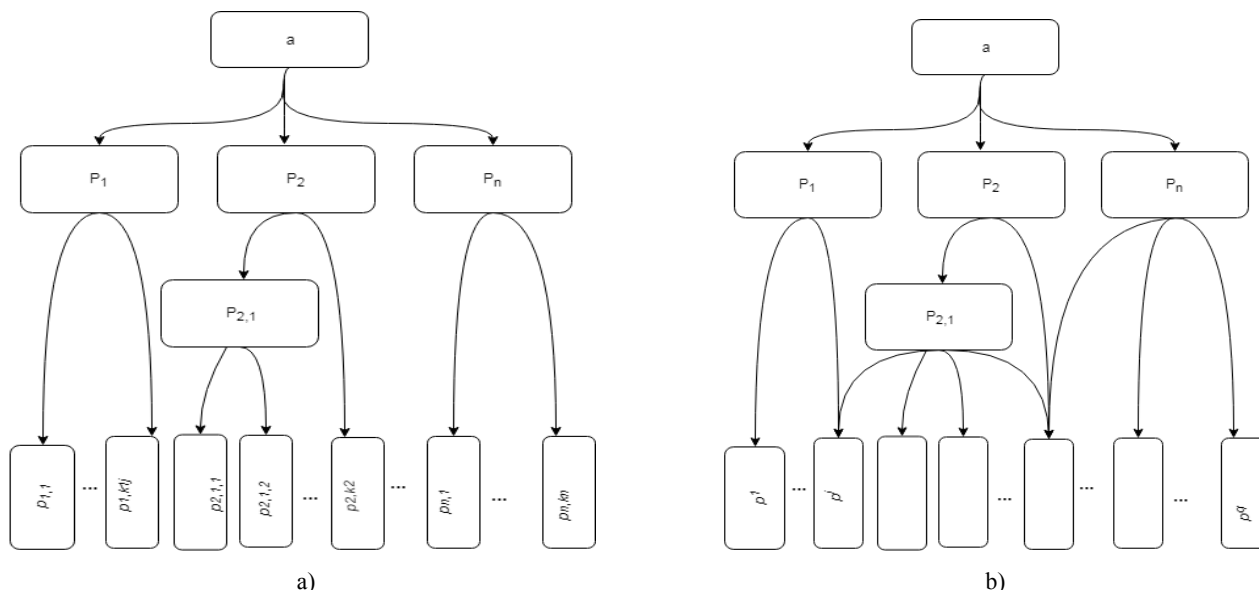


Fig. 2. Model of input data *Input* a) "general Ortree", b) acyclic graph  $H_4$

The second step of the method is to construct the relation of the order on the set  $X$ .

Without losing the generality, let's say that information *Input* can be formalized by a single linguistic variable  $\alpha$  that is fed to the input of a fuzzy production system *System*. Let's agree that a linguistic variable is named after an object  $\alpha$ , and, by **definition 1**, we fix a term set  $T = \{t_z, z = \overline{1, |T|}\}$  in the tuple  $\langle \alpha, T, X, G, S \rangle$ , where each term  $t_z$  is a fuzzy variable with a scope  $X_z$ . Assume as a universal set of basic values the set  $X = X_1 = \dots = X_z$ . The most common variant of term-set formation  $T$  is the introduction of terms that are ordered in some relation of order  $\rho : < T, < >$  [21]. The term of the plurality  $T$  is a fuzzy variable  $t_z$  for which a membership function  $\mu_z(x)$  must be constructed in the definition area  $X$ . The membership function is a cross-section of the order  $\rho$  of  $X$ .

We take as the domain of definition of fuzzy variables of term-set  $T$  the set  $X$  defined by Cartesian product of nonmetric features

$$X = P_1 \times P_2 \times \dots \times P_n, |X| = \prod_{i=1}^n k_i :$$

$X = \{x_s | x_s = (p_{1j_{s1}}, p_{2j_{s2}}, \dots, p_{nj_{sn}}), 1 \leq j_{si} \leq k_i, i = \overline{1, n}\}$ . The set  $X$  is discrete. To display it on the abscissa it is natural to offer a nominal scale. The nominal scale permits one-to-one transformations that maintain the equivalence relation and the arbitrary arrangement of discrete elements  $x_s \in X$  on the abscissa axis. The arbitrary positioning of the value  $x_s$  on the abscissa does not allow the construction of membership functions  $\mu(x)$  with preset properties.

To plot the membership functions  $\mu_z(x_s)$ ,  $z = \overline{1, |T|}$  it is necessary to define a mapping  $X \rightarrow M$  where  $M = \{\mu_z\}$  is the set of term  $t_z$  membership functions. This mapping must meet two requirements: 1) correct reproduction of the binary order relation  $\rho : < T, < >$  and 2) fulfillment of conditions of monotonicity of the membership functions  $\mu_z(x_s)$ . The binary order relation is antireflective and transitive.

To fulfill the first requirement, let us turn to the isotonic mapping, since it has the property of maintaining the order relation [21]. Determine the isotonic mapping  $F : T \rightarrow X$ . It is known that an inverse mapping to an order mapping is also an order [21]. That is, display  $F^{-1} : X \rightarrow T$  is an order.

To fulfill the second requirement, we define an isotonic mapping  $\Psi : T \rightarrow M$  with which you can set the required properties of the membership function. The result is an order on many membership functions  $< M, < >$ .

It is known that the composition of two orders is also an order. We build a composition of two orders  $\Psi \circ F^{-1} : X \rightarrow M$ .

So, in order to plot the membership function of terms of a linguistic variable  $\alpha$ , it is necessary to order the set  $X$ , for which mappings  $F$  and  $F^{-1}$  is defined. Next, arrange the set  $M$ , which determine the mapping  $\Psi$ . After that, perform the composition  $\Psi \circ F^{-1}$ , that is, to build graphs  $\mu_z(x_s)$ ,  $z = \overline{1, |T|}$ .

Consider the theoretical basis of the ordering of the set  $X$ .

It is necessary to decide on such representation of the set of values of the signs of the set  $P$ , which are fixed by the vector  $x_s$ , which would allow us to construct isotonic mappings  $F$  and  $F^{-1}$ , that is, to determine the order on the set  $X : < X, < >$ .

Here is information about ordered sets.

**Definition 3.** A strict ordering graph  $L$  is an acyclic, transitive digraph with single arcs [20].

For the set of elements that are the leaves of the Ortree  $T$ , we construct a graph  $L = (V_L, E_L)$ . The intersection of graphs  $T \cap L = (V_L, \emptyset)$  is an edgeless graph. The arcs of the set  $E_L$  of graph  $L$  denote the ratio of the dominance of the set of vertices  $V_L$ .

We construct a graph  $L = (V_L, E_L)$  for three models "ortree  $H_1$  with height one", "ortree  $H_2$  with height two", "ortree  $H_3$  of general type".

For the model "ortree  $H_1$  with height one" (fig. 1) we construct a graph  $L^1 = (\{p_{1,j}\}, E_{L^1}^1)$ ,  $j = \overline{1, k_1}$ . At graph  $L^1 = (\{p_{1,j}\}, E_{L^1}^1)$ ,  $j = \overline{1, k_1}$  the set of vertices is the set of vertices of the first tier of the Ortree  $H_1$ . We define the order by ratio  $\rho$  on the set of attribute values  $< \{p_{1,j}\}, < >$ ,  $j = \overline{1, k_1}$  (fig.3 a)). The set of arcs reproduces the order on the set  $\{p_{1,j}\}, j = \overline{1, k_1}$  according to the ratio  $< \{p_{1,j}\}, < >$ . We place identifiers of values of a sign  $\{p_{1,j}\}, j = \overline{1, k_1}$  on the abscissa axis of the membership function graph  $\mu(x)$  according to a certain ratio of order  $< \{p_{1,j}\}, < >$ .

For the model "ortree  $H_2$  with height two" (fig.1b), first, let us define the order by ratio  $\rho$  on the set of signs  $< \{P_i\}, < >$ ,  $i = \overline{1, n}$ . Strict order graph  $L^{2,1} = (\{P_i\}, E_{L^{2,1}}^1)$ ,  $i = \overline{1, n}$  for this model is shown in fig. 3 b). Second, we define the order by the ratio  $\rho$  of the multiple values for each trait  $< \{p_{i,j}\}, < >$ , where  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, k_i}$ . We construct  $n$  graphs  $L_i^{2,2} = (\{p_{i,j}\}, E_{L_i^{2,2}}^2)$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, k_i}$  (fig. 3 c)). Fig. 3 c) shows incomparability in the ratio  $\rho$  to the values of features  $P_x$  and  $P_z$ ,  $\forall x, z = \overline{1, n}$ ,  $x \neq z$ . Third, we perform an operation on the orders of "sum"  $\sum_{i=1}^n L_i^{2,2}$  and to determine the relation of the order  $\rho$  formulate.

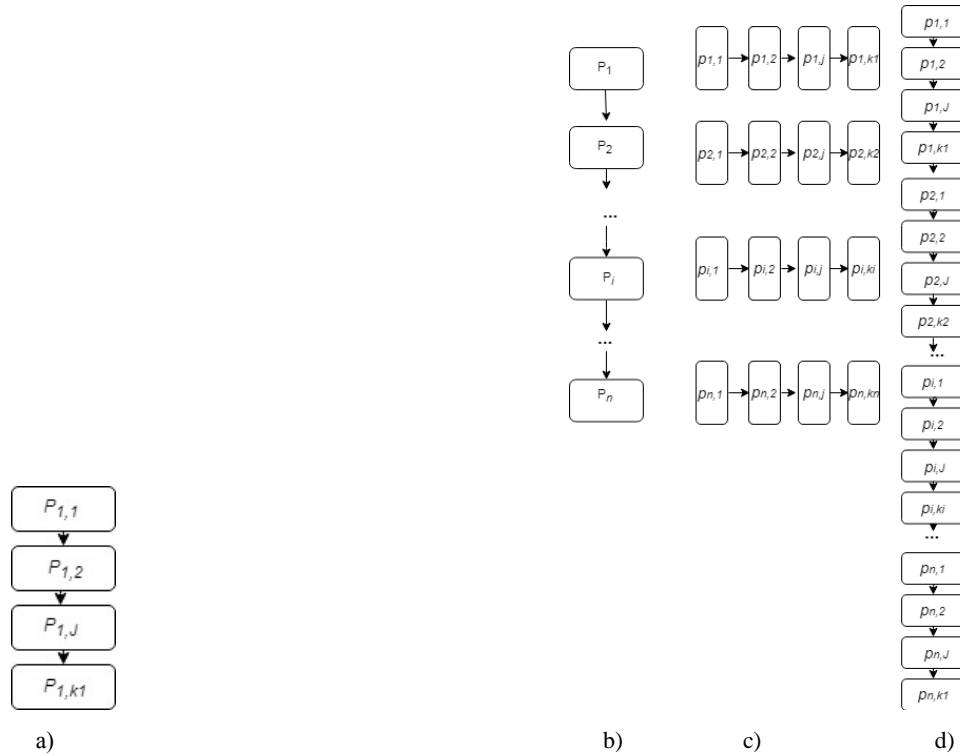


Fig. 3. a) Strict order graph  $L^1$ , b) Strict order graph  $L^{2,1}$ , c)  $n$  Strict order graphs  $L_i^{2,2}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , d) Strict order graph  $L^2$

**Rule 1:** we will assume that  $p_{i,j} \prec p_{x,y}$ , so  $p_{x,y}$  dominates  $p_{i,j}$ , if 1) or according to the ratio  $\langle \{p_{i,j}\}, \prec \rangle$ , where  $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, k_i}$  for  $i = x$  values  $p_{i,y} p_{i,j} : p_{i,j} \prec p_{i,y}$  dominate; 2) or according to the ratio  $\langle \{P_i\}, \prec \rangle, i = \overline{1, n}$  attribute  $P_x$  dominates attribute  $P_i$ , and a certain values  $p_{i,j}$  and  $p_{x,y}$  of these features are incomparable:  $p_{i,j} \parallel p_{x,y}$ .

Applying Rule 1, we construct the graph of fig. 3 c. The method of construction is obvious.

**Statement 1.** Constructed by rule 1, the set of feature values  $\{p_{i,j}\}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, k_i}$  is a strict order  $\langle \{p_{i,j}\}, \prec \rangle, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, k_i}$ . A constructed graph  $L^2 = (V_L^2, E_L^2)$  is a graph of strict order  $\langle \{p_{i,j}\}, \prec \rangle, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, k_i}$ .

**Statement 2.** Cartesian product of orders  $\langle \{p_{1,j}\}, \prec \rangle \times \langle \{p_{2,j}\}, \prec \rangle \times \dots \times \langle \{p_{i,j}\}, \prec \rangle \times \dots \times \langle \{p_{n,j}\}, \prec \rangle, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, k_i}$  when applying rule 1 (paragraph 2), forms on the plural  $X = \left\{ x_s \mid x_s = (p_{1j_{s1}}, p_{2j_{s2}}, \dots, p_{nj_{sn}}), 1 \leq j_{si} \leq k_i, i = \overline{1, n} \right\}$  the strict order ratio  $\langle X, \prec \rangle$ .

**Proof**

1. In case  $n = 1$  vector  $x_s = (p_{1j_{s1}})$  is one-component. On the set of values of the trait

$\langle \{p_{1,j}\}, \prec \rangle, j = \overline{1, k_1}$  an order according the ratio  $\rho$  is determined, that is, statement 2 is fulfilled.

2. In case  $n = 2$  vector  $x_s = (p_{1j_{s1}}, p_{2j_{s2}})$  is two-component. The binary properties of the order relation are satisfied at  $p_{1k} \prec p_{1q}, p_{2l} \prec p_{2y}$ , then  $(p_{1k}, p_{2l}) \prec (p_{1q}, p_{2y})$ . If  $p_{1k} \prec p_{1q}$  and  $p_{2l} \succ p_{2y}$ , or  $p_{1k} \succ p_{1q}$  and  $p_{2l} \prec p_{2y}$ , thus for cases  $(p_{1k}, p_{2l}) \parallel (p_{1q}, p_{2y})$ , rule 1 (paragraph 2) defines the order. In case one of the pairs is not comparable  $(p_{1k} \parallel p_{1q}$  and  $p_{2l} \prec p_{2y})$  or  $(p_{1k} \prec p_{1q}$  and  $p_{2l} \parallel p_{2y})$  is not implemented on initial terms.

We assume that the order relation is defined for  $k$ -component vectors  $x_s = (p_{1j_{s1}}, p_{2j_{s2}}, \dots, p_{kj_{sk}})$ . Let us prove that for the  $k+1$  component vectors the order relation  $x'_s = (p_{1j_{s1}}, p_{2j_{s2}}, \dots, p_{kj_{sk}}, p_{(k+1)j_{s(k+1)}})$  is also defined. Let's divide the components of the vector  $x'_s$  into two tuples  $x'_s = ((p_{1j_{s1}}, p_{2j_{s2}}, \dots, p_{kj_{sk}}), p_{(k+1)j_{s(k+1)}})$ . By the condition the order in the first tuple  $(p_{1j_{s1}}, p_{2j_{s2}}, \dots, p_{kj_{sk}})$  is defined, the second tuple consists of one component  $p_{(k+1)j_{s(k+1)}}$ . Further proof is made as in a case  $n = 2$ . That is, statement 2 is proved inductively.

To construct the graph  $L^3 = (\{p\}, E_L^3)$  of the model "ortree  $H_3$  of general type" and the graph  $L^4 = (\{p\}, E_L^4)$  of the model "acyclic graph  $H_4$ " (fig. 2) rule 1 takes a more generalized form.

**Rule 1 (generalization):** let's assume that it is necessary to order elements having a vector of indexes of length  $q$ . Let's assume, that  $p_{i,\dots,j} \prec p_{x,\dots,y}$ , thus  $p_{x,\dots,y}$  so  $p_{i,\dots,j}$  dominates, if the index vectors coincide with  $(q-1)$ -th index, and for  $q$ -th index a statement  $p_{i,\dots,j} \prec p_{x,\dots,y}$  is valid. In case of incomparability  $p_{i,\dots,j} \parallel p_{x,\dots,y}$  of signs by the  $q$ -th index of the order is determined by the previous index  $(q-l)$  by which the order relation is determined. This makes it possible to determine the order of the index  $(q-l+1)$  and so on by going to the  $q$ -th index.

For an acyclic graph  $H_4$ , the direct application of rule 1 (generalization) requires appropriate leaf indexing. The most natural one is 1) to repeat a vertex with more than one half-west; 2) align the lengths of the index vectors, denoting missing levels, such as zeros.

The result of the second step of the method is an ordered set of values  $\langle \{p\}, \prec \rangle$  of the signs of the set  $P$ . In terms of construction, statement 2, which is based on generalized rule 1, is also valid. This enables the ordered arrangement of the abscissa of the vectors of the set  $X = \{x_s \mid x_s = (p_{1j_{s1}}, p_{2j_{s2}}, \dots, p_{nj_{sn}}), 1 \leq j_{si} \leq k_i, i = \overline{1, n}\}$ .

That is, the mapping is constructed  $F: T \rightarrow X$ .

The third stage of the method is to determine the linguistic variable based on the model created and to define the membership functions for fuzzy sets of terms of the linguistic variable.

Consider the implementation of mapping  $F^{-1}: X \rightarrow T$ , mapping  $\Psi: T \rightarrow M$ , and their composition  $\Psi \circ F^{-1}: X \rightarrow M$  to build graphs  $\mu_z(x_s)$ ,  $z = 1, |T|$ .

To determine the identifier  $x_s$ , we apply a positional numbering system in which the digit  $10^{n-i+1}$  is determined by the vertex number describing the sign  $P_i$  in the strict order column and the digit  $j_{si}$  by the ordinal number of the value  $p_{ij_{si}}$  for the sign  $P_i$  that was implemented in the vector  $x_s$ . We denote the absence of a value for a particular characteristic as "0". We place the vectors of the values of the signs  $P$  on the abscissa axis according to the defined order of the order  $\langle \{p\}, \prec \rangle$ .

Constructing a set  $F^{-1}: X \rightarrow T$  mapping is a fuzzy linguistic simulation. For each fuzzy variable  $t_z$ , it is necessary to construct a fuzzy set on  $X: (x, \mu_z(x))$ . That is, each tuple of implemented values  $x_s \in X$  acquires a specific value of the membership function  $\mu_z(x_s)$ . The constructed membership functions  $\mu_z(x_s)$  are a component of some fuzzy production system. For training of this system, it is necessary to construct vectors of input data  $x_s = (p_{1j_{s1}}, p_{2j_{s2}}, \dots, p_{nj_{sn}}), 1 \leq j_{si} \leq k_i, i = \overline{1, n}$  on which there will be an adjustment of values of output vectors.

The kind of functional dependence  $\mu(x_s)$  should reproduce intuitively expected estimation of the object  $\alpha$ , that is, correspond to the order relation  $\rho$  on the term-set  $T$ , and provide the General requirements of monotonic decrease/increase of the membership function.

For large values  $k_i, i = \overline{1, n}$  the  $n$  number of vectors is too large to determine the membership function expertly. Therefore, it is advisable to automatically build membership functions that will continue to be used to train a fuzzy production system.

We offer three types of linear formulas for determining the membership function  $\mu_z(x_s)$ , in which  $\beta_r, r = \overline{1, 7}$  - parameters:

$$\mu(x_s) = 1 - \beta_1 * \sum_{i=1}^n j_{si} * 10^{-i}, 0 \leq j_{si} \leq k_i; \quad (1)$$

$$\mu(x_s) = \begin{cases} \beta_2 + \beta_3 * \sum_{i=1}^n j_{si} * 10^{-i} \\ \beta_4 - \beta_5 * \sum_{i=1}^n j_{si} * 10^{-i} \end{cases}; \quad (2)$$

$$\mu(x_s) = \beta_6 + \beta_7 * \sum_{i=1}^n j_{si} * 10^{-i}, 0 \leq j_{si} \leq k_i. \quad (3)$$

The method of presentation described has its own characteristics, which must be taken into account in practical application. The first feature is that such fuzzy sets are unnormalized. To normalize the membership functions (1) - (3), we introduce a proportionality factor inverted to the height of the corresponding fuzzy set. This method provides a global scale when not all the attributes of a qualitative variable  $\alpha$  have their characteristics. The second peculiarity of is that the membership function is discrete. The third one is that for the accepted method, not all values of the abscissa axis are realized in vectors  $x_s$ . Entering an identifier that corresponds to the number of possible values  $k_i, i = \overline{1, n}$  for each trait will eliminate redundancy. The fourth one is that with many features there are limitations in the accuracy of the calculations. In this case, it would be appropriate to break the set of features into subsets, with their subsequent implementation in separate product rules.

Based on the theoretical conclusions, we define the method of plotting the membership function of terms of a linguistic variable  $\alpha$  as a sequence of stages. At the first stage, a model of verbal information is constructed in the form of an acyclic graph (fig. 1, 2). The second step is to build an ordered set  $X$ . The next third step is the procedure for determining the linguistic variable and the definition of membership functions for fuzzy sets of terms of the linguistic variable by the formulas (1)-(3).

Let us consider how the developed method works on the example of fuzzy modeling of the linguistic variable of court decisions *Personality*, characterizing the identity of the perpetrator, which was determined in detail by the authors in the work [17].

By definition 1, a linguistic variable *Personality* is a tuple  $\langle Personality, Personality-Term, X, G, S \rangle$  where  $Personality-Term = \{Negative, Norm, Positive\}$ . Each of the fuzzy variables *Negative, Norm, Positive* is a fuzzy set  $X$  with a corresponding membership function  $\mu_{Negative}(x_s), \mu_{Norm}(x_s), \mu_{Positive}(x_s)$ . There are such order relations on the term-set *Personality-Term*:  
 "Display negative feature":  $Negative \succ Norm \succ Positive$ ,  
 "Display positive feature":  $Positive \succ Norm \succ Negative$  and partial order  
 "Display neutral characteristic"  $Norm \succ Negative$  and  $Norm \succ Positive$ .

Let us define the domain of definition  $X$  of fuzzy variables *Negative, Norm, Positive*. For this purpose, the model of qualitative variable "Person of the guilty" is constructed.

A set of features  $P = \{employment, family\_state, residence\ registration, characteristic, logging, relations, criminal\ liability, conviction\}$ ,  $|P| = 9$ . Therefore, the domain of definition  $X$  of fuzzy variables of the term-set *Personality-Term* is determined by the Cartesian product of signs  $X = P_1 \times P_2 \times \dots \times P_9$  whose power is  $|X| = 2 * 2 * 2 * 2 * 3 * 3 * 3 * 2 * 2 = 1728$  (fig. 4).

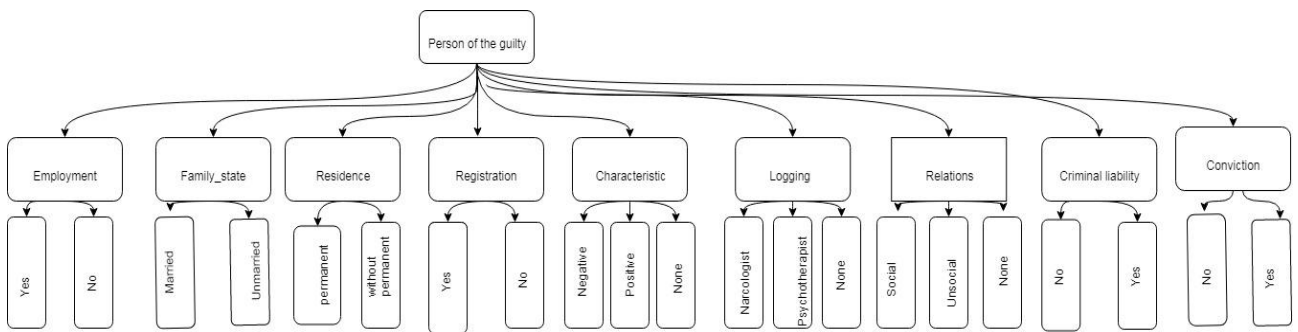


Fig. 4. Model of qualitative data "Person of the guilty"

For each fuzzy variable *Negative, Norm, Positive*, we construct the membership functions  $\mu_{Negative}(x_s), \mu_{Norm}(x_s), \mu_{Positive}(x_s)$ . In formulas (1) – (3)

we assume that  $\beta_k = 1, k = \overline{1,7}$ . The functions of belonging to a linguistic variable *Personality* are presented in fig. 5.

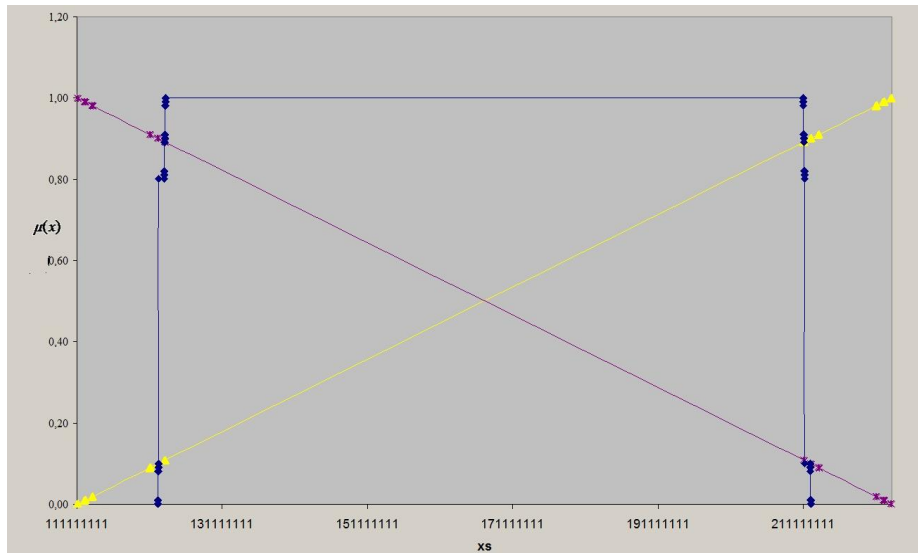


Fig. 5. Functions of belonging to a linguistic variable *Personality*

**Conclusions and prospects for further development**

The article proposes a method of fuzzy modeling of verbal information, which consists of a sequence of three stages: modeling of verbal information in the form of digraphs; building order relations on the elements of this model; definition of a linguistic variable on the basis of

the created model and definition of membership functions for fuzzy sets of terms of a linguistic variable. The feasibility of all stages is theoretically substantiated in the form of substantiated statements. The first stage considers information models that underlie acyclic digraphs, which, according to the authors, are the basis for developing formalizations of more complex information models. The

second stage of the method is to build order relations for unstructured or poorly structured verbal information for fuzzy production systems. In the third stage, formulas are proposed to automatically determine the membership function, which will allow training to adjust the values of the output vectors with the input of the fuzzy production system in any subject area.

Practical application of the method developed by the authors may require solving the problems related to the limitation in the accuracy of calculations, the discretion, the need for normalization, and the excess of identification. These challenges require further research.

## References

1. Konar, A. (2018), *Artificial intelligence and soft computing: behavioral and cognitive modeling of the human brain*, CRC press, 787 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420049138>
2. Stovba, S. D. (2007), *Design of fuzzy systems by means of Matlab*, Hotline-telecom, Moscow, 288 p.
3. Borisov, A. N., Krumberg, O. A., Fyodorov, I. P. (1990), *Decision-making on the basis of fuzzy models: Examples of using*, Zinatne, Riga, 184 p.
4. Novák, V., Perfilieva, I., Mockor, J. (1999), *Mathematical Principles of Fuzzy Logic*, Springer Science & Business Media, 320 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5217-8>
5. Samohvalov, Yu Y. (2017), "Assessment of validity of management decisions on the basis of fuzzy logic", *Control systems and machines*, No. 3, P. 26–34. DOI: <https://doi.org/10.15407/usim.2017.03.026>
6. Bakurova, A. V., Ivanov, V. N. (2013), "Method for constructing the function of normalizing termsets to display the membership function of the operational risk assessment", *Economical cybernetics*, No. 4-6 (82-84), P. 40–43.
7. Borisov, V. V., Fedulov, A. S., Zernov, M. M. (2014), *Foundations of fuzzy set theory*, Moscow, 98 p.
8. Kolchev, N. G., Berstein, L. S., Bozhenyuk, A. V. (1991), *Fuzzy models for expert systems in CAD*, Moscow, 136 p.
9. Pegat, A. (2013), *Fuzzy modeling and management*, Moscow, 798 p.
10. Aracil, J., Garcia-Cerezo, A., Ollero, A. (1991), "Fuzzy control of dynamical systems. Stability analysis based on the conicity criterion", *Proceedings of the 4th International Fuzzy Systems Association Congress*, Brussels, Belgium, P. 5–8.
11. Turskis, Z., Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Kosareva, N. A. (2015), "Hybrid Model Based on Fuzzy AHP and Fuzzy WASPAS for Construction Site Selection", *International Journal Of Computers Communications & Control Special Issue On Fuzzy Sets And Applications (Celebration Of The 50th Anniversary Of Fuzzy Sets)*, No. 10 (6), P. 873–888. DOI: <https://doi.org/10.15837/ijccc.2015.6.2078>
12. Saaty T. L., Vargas, L. G. (2011), "The possibility of group choice: Pairwise comparisons and merging functions", *Social Choice and Welfare*, No. 38 (3), P. 481–496. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00355-011-0541-6>
13. Ozdemir, M., Saaty, T. L. (2006), "The unknown in decision making: What to do about it", *European Journal of Operational Research*, No. 174, P. 349 – 359. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.12.017>
14. Gnatiyenko, G. M., Snityuk, V. E. (2008), *Expert technologies of decision-making*, Kiev, 444 p.
15. Bernard, H., Wutich, A., Ryan, G. (2007), *Analyzing qualitative data: Systematic approaches*, SAGE publications. 456 p. DOI: <https://doi.org/10.4135/9781849208826.n10>
16. Rutkovskaya, D., Pilinsky, M., Rutkovsky, L. (2004), *Neural networks, genetic algorithms and indistinct systems*, Moscow, 452 p.
17. Louviere, J. J., Flynn, T. N., Marley, A. (2015), *Best-worst scaling: Theory, methods and applications*, Cambridge, UK, 342 p. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107337855>
18. Hair, Jr., Black, J., Babin, B., Anderson, R. (2010), *Multivariate data analysis: A global perspective*, Upper Saddle River, NJ : Pearson Prentice Hall, 739 p. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-06031-2\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-06031-2_16)
19. Ore, O. (1980), *Theory of graphs*, Moscow, 336 p.
20. Taran, T.A. (2003), *Foundations of Discrete Mathematics*, Kiev, 288 p.

Received 29.11.2019

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Бакурова Анна Володимирівна** – доктор економічних наук, професор, Національний університет "Запорізька політехніка", професор кафедри системного аналізу та обчислювальної математики, Запоріжжя, Україна; email: [abaka111060@gmail.com](mailto:abaka111060@gmail.com); ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6986-3769>.

**Бакурова Анна Владимировна** – доктор экономических наук, профессор, Национальный университет "Запорожская политехника", профессор кафедры системного анализа и вычислительной математики, Запорожье, Украина.

**Bakurova Anna** – Doctor of Sciences (Economics), Professor, National University "Zaporizhzhya Polytechnic", Professor of the Department of Systems Analysis and Computational Mathematics, Zaporizhzhya, Ukraine.

**Пасічник Марія Сергіївна** – Національний університет "Запорізька політехніка", аспірант кафедри системного аналізу та обчислювальної математики, Запоріжжя, Україна; email: [mashali@ukr.net](mailto:mashali@ukr.net); ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5179-4272>.

**Пасечник Мария Сергеевна** – Национальный университет "Запорожская политехника", аспирант кафедры системного анализа и вычислительной математики, Запорожье, Украина.

**Pasichnyk Mariia** – National University "Zaporizhzhya Polytechnic", PhD Student of the Department of Systems Analysis and Computational Mathematics, Zaporizhzhya, Ukraine.

**Терещенко Єліна Валентинівна** – кандидат фіз.-мат. наук, доцент, Національний університет "Запорізька політехніка", доцент кафедри системного аналізу та обчислювальної математики, Запоріжжя, Україна; email: [elina\\_vt@ukr.net](mailto:elina_vt@ukr.net), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6207-8071>.

**Терещенко Элина Валентиновна** – кандидат физ.-мат. наук, доцент, Национальный университет "Запорожская политехника", доцент кафедры системного анализа и вычислительной математики, Запорожье, Украина.

**Tereschenko Elina** – PhD (Physico-Mathematical Sciences), Associate Professor, National University "Zaporizhzhya Polytechnic", Associate Professor of the Department of Systems Analysis and Computational Mathematics, Zaporizhzhya, Ukraine.

## НЕЧІТКЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЕРБАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ПРОДУКЦІЙНИХ СИСТЕМ

**Предметом** дослідження статті є формалізація неструктурованої або слабоструктурованої вербальної інформації для нечіткої продукційної системи. **Мета** роботи – розробка методу побудови функцій належності для нечітких множин термів лінгвістичної змінної, який дозволить формалізувати неструктуровану або слабоструктуровану вербальну інформацію для нечітких продукційних систем. В статті вирішуються наступні **завдання**: для розробки методу побудови функцій належності визначити послідовність етапів: етап моделювання вербальної інформації у вигляді орграфів, етап побудови відношення порядку на елементах цієї моделі, етап визначення лінгвістичної змінної на базі створеної моделі та визначення функцій належності для нечітких множин термів лінгвістичної змінної. Використовуються **методи**: теорії графів, математичної індукції, нечіткого моделювання. Отримано **результати**: розроблено метод побудови функцій належності лінгвістичних змінних, які формалізують неструктуровану або слабоструктуровану якісну інформацію для нечітких продукційних систем. Для цього процес побудови функцій належності було розбито на етапи. Суттю окремих етапів є формалізація певних відображень. Реалізація першого етапу потребує створення моделі неструктурованої або слабоструктурованої вербальної інформації. Розглянуто три моделі інформації на базі орієнтованих дерев за зростаючою складністю. Як узагальнення розглянуто модель на базі ациклічного орієнтованого графу. Така модель є основою для обробки інформації, що має структуру більшої складності. На другому етапі надано теоретичне підґрунтя побудови відношення порядку для елементів розглянутих моделей. Для реалізації третього етапу запропоновано спосіб ідентифікації елементів, що знаходяться у відношенні порядку, на базі позиційної системи. На основі ідентифікатора кожного упорядкованого елемента побудовано функції належності нечітких множин термів лінгвістичної змінної. Для реалізації етапів розроблено відповідні процедури. **Висновки**: застосування методу дозволить автоматизувати надання значень векторам вхідної та вихідної інформації, автоматизувати формування нечітких множин термів відповідних лінгвістичних змінних, дозволить будувати нечіткі продукції як базу знань нечіткої продукційної системи, а також проводити навчання такої системи.

**Ключові слова**: функція належності; відношення порядку; лінгвістична змінна.

## НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРБАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРОДУКЦИОННЫХ СИСТЕМ

**Предметом** исследования статьи является метод построения функций принадлежности для нечетких множеств термов лингвистической переменной, которая формализует неструктурированную или слабоструктурированную вербальную информацию для нечетких производственных систем. **Цель** работы – создание метода формализации неструктурированной или слабоструктурированной вербальной информации для нечеткой производственной системы. В статье решаются следующие **задачи**: для создания метода построения функций принадлежности необходимо определить последовательность этапов. Разработке подлежат формирование модели вербальной информации, построение отношения порядка на элементах этой модели, определение лингвистической переменной на базе созданной модели и определение функций принадлежности для нечетких множеств термов одной лингвистической переменной. Используются следующие **методы**: методы теории графов, метод математической индукции, методы нечеткого моделирования. Получены следующие **результаты**: разработан метод построения функции принадлежности для лингвистических переменных, которые формализуют неструктурированную или слабоструктурированную качественную информацию для нечетких производственных систем. Для этого процесс построения функции принадлежности был разбит на этапы. Сутью отдельных этапов является формализация определенных отображений. Реализация первого этапа требует создания модели неструктурированной или слабоструктурированной вербальной информации. Рассмотрены три модели информации на базе ориентированных деревьев с возрастающей сложностью. Как обобщение рассмотрена модель на базе ациклического ориентированного графа. Методы работы с этими моделями могут быть основой для обработки информации, имеющей структуру большей сложности. В статье дано теоретическое обоснование построения отношения порядка для элементов рассмотренных моделей. Для реализации второго и третьего этапов предложен метод идентификации элементов, находящихся в отношении порядка, на базе позиционной системы. Предложен метод предоставления значений функций принадлежности нечетких множеств различных термов одной лингвистической переменной на базе идентификатора каждого упорядоченного элемента. Метод построения функции принадлежности состоит из последовательности следующих этапов: формирование модели вербальной информации, построение отношения порядка на элементах этой модели, определение лингвистической переменной на базе созданной модели и определение функций принадлежности для нечетких множеств термов одной лингвистической переменной. **Выводы**: применение метода позволит автоматизировать определение значений векторов входящей и исходящей информации, автоматизировать формирование нечетких множеств термов соответствующих лингвистических переменных, позволит строить нечеткие производства как базу знаний нечеткой производственной системы, а также проводить обучение нечеткой производственной системы.

**Ключевые слова**: функция принадлежности; отношение порядка; лингвистическая переменная.

*Бібліографічні опису / Bibliographic descriptions*

Бакурова А. В., Пасічник М. С., Терещенко Е. В. Нечітке моделювання вербальної інформації для продукційних систем. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2019. № 4 (10). С. 5–13. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.005>.

Bakurova, A., Pasichnyk, M., Tereschenko, E. (2019), "Fuzzy modeling of verbal information for production systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 5–13. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.005>.

С. Д. Бушуєв, Б. Ю. Козир, А. А. Заприво́да

## НЕЛІНІЙНІ СТРАТЕГІЇ В УПРАВЛІННІ ІНФРАСТРУКТУРНИМИ ПРОГРАМАМИ

**Предметом** дослідження є моделі і методи побудови та впровадження нелінійних стратегій управління інфраструктурними програмами. **Метою** досліджень є аналіз існуючого стану цілепокладання та визначення ефективних стратегій реалізації програм зі змінами напрямків розвитку у точках біфуркації в оточенні, викликів, ризиків та можливостей. Стійкість розвитку програм в умовах швидких та критичних змін зовнішнього та внутрішнього середовища може бути забезпечена ефективними моделями і методами цілепокладання та ціледосягнення інфраструктурних програм в умовах критичних змін зовнішнього та внутрішнього середовища. **Завданнями** досліджень щодо управління інфраструктурними програмами є побудова нелінійних моделей та методів стратегічного управління з урахуванням динаміки та адекватним реагуванням і забезпеченням компенсації змін в оточенні. **Методи** які застосовує менеджер інфраструктурної програми прогнозує тенденції розвитку оточення в короткостроковій і довгостроковій перспективі. **Результатом** дослідження є формулювання місії та визначенні нелінійної стратегії інфраструктурної програми, яка базується на концепції оцінки його цінності так, як це уявляє замовник. Це дозволяє заінтересованим сторонам здійснювати максимально продуктивну комунікацію і, за необхідності, погоджувати із замовником зміни і доповнення до інфраструктурної програми. **Висновки.** Розглядається контекстний аналіз як методологія осмислення і представлення цілісної картини інфраструктурної програми. Цей аналіз застосовується для інтерпретації місії та стратегії якщо взаємодіючі численні цінності інфраструктурної програми виражені абстрактно. Невизначеність подібного типу спричиняє численні втрати і додаткові витрати. Непорозуміння виникають через те, що контекст місії та нелінійна стратегія не можуть бути розкритими повністю внаслідок нерозвиненості відповідних моделей та методів. Тому для опису місії та стратегії інфраструктурної програми пропонуються основні правила їх інтерпретації.

**Ключові слова:** інфраструктурі програми; нелінійні стратегії розвитку; точки біфуркації; зацікавлені сторони; ризики та можливості.

### Вступ

Сучасні тенденції глобального розвитку проектно-орієнтованих організацій що впроваджують інфраструктурні програми, супроводжуються розвитком їх технологічної зрілості [1]. Діяльність проектно-орієнтованих організацій, як правило, є мобільною та базується на загальноприйнятих правилах впровадження інфраструктурних програм та програм. Це стосується залучення продуктивних сил, обумовлених мінімізацією витрат і дотриманням екологічних норм. Основною збалансованого розвитку у впровадженні інфраструктурних проектів є інноваційне оновлення, спрямоване на зростання якості продуктів та послуг, підвищення їх конкурентоспроможності на основі запровадження кращої світової практики [2, 3]. Ключовими стають чинники якісних збільшень і здатності створювати відповідні цінності та генерувати додану вартість [4, 5].

Інфраструктурні програми, незалежно від їх типу, діють згідно зі своїми організаційними стратегіями управління, основу яких формує орієнтація на розвиток та задоволення споживачів. У конкурентному оточенні такі стратегії інфраструктурних програм у багатьох випадках призначені для підтримки або створення конкурентних переваг по відношенню до інших організацій або конкурентної вартості продуктів інфраструктурних програм [6, 7]. В процесі діяльності організації повинні адаптувати стратегії інфраструктурних програм до стратегій зовнішнього оточення і внутрішньої динаміки. При цьому необхідно знаходити шляхи ефективного інвестування

управлінських ресурсів для своєчасного досягнення запланованих стратегічних показників інфраструктурних програм та програм [8].

### Постановка проблеми дослідження

В умовах стагнації і кризових явищ в економіці України одними з найбільш актуальних питань розвитку інфраструктурних програм стають адаптивність і гнучкість при прийнятті управлінських рішень [9, 10], розширення варіативності використовуваних методів і технологій, розробка та підтримка випереджальних можливостей виживання та розвитку. Технологія стратегічного управління інфраструктурними програмами визначається особливостями сукупного впливу факторів зовнішнього і внутрішнього середовища, їх взаємозв'язку в часі і просторі, стадіями турбулентності та кризи, швидкістю їх розвитку. У сфері процесів і технологій надзвичайно важливими управлінськими елементами стають, чітко визначені стратегії, мобільність і динамічність у використанні ресурсів та проведенні змін, реалізації інноваційного потенціалу інтегрованих ланцюгів створення цінностей та застосування сучасних інформаційних технологій [11, 12]. У фокусі стратегічного управління інфраструктурними програмами знаходиться їх конкуренто-спроможність як категорія, що відображає результат і потенціал взаємодії зацікавлених сторін, що сформувались під впливом конкурентних переваг при обґрунтованому інституціональному регулюванні [10]. Це обумовлює необхідність дослідження і систематизації широкого кола теоретико-методологічних і організаційно-методичних проблем

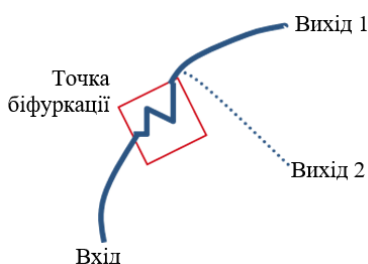
формування інноваційних механізмів нелінійного стратегічного управління інфраструктурними програмами.

**Мета дослідження** полягає у вирішенні наукового завдання щодо профілювання нелінійної стратегії впровадження інфраструктурних програм щодо створення цінності активів в турбулентному бізнес та інституціональному оточенні.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

В процесі реалізації інфраструктурних програм формуються області біфуркацій, які переводять стійку організацію програми в не рівноважний і часто нестійкий стан. Після проходження точки біфуркації система переходить в новий рівноважний стан.

Точка біфуркації це критичний стан системи, при якому система стає нестійкою щодо флуктуацій і виникає невизначеність: чи стане стан системи хаотичним або вона перейде на новий, більш диференційований і високий рівень впорядкованості [4]. Зазвичай точка біфуркації має кілька виходів, гілок аттракторів, що визначають можливі режими роботи, по одному з яких піде процес розвитку або станеться хаотична деградація. При цьому заздалегідь неможливо передбачити, який новий аттрактор займе програма в своєму розвитку. В динаміці систем управління інфраструктурними програмами аттрактори, як правило, є фрактальними (нечітко окресленими, з елементами розривів). Нелінійність в динаміці поведінки систем часто обумовлена синергетикою. Синергетика дозволяє побачити світ з "іншої системи координат". Висновки синергетиків [4] часто несподівані і суперечать усталеним підходам. Однак саме такий погляд дозволяє виявити те, що втрачається в традиційному ракурсі, і може попередити про серйозні небезпеки, які можуть виникнути на шляху впровадження інфраструктурної програми, якщо в біфуркаційних точках не буде вжито правильні і еволюційно-обґрунтовані рішення (рис. 1).



**Рис. 1.** Модель точки біфуркації

Розглянемо базову формулу організаційних змін в точці біфуркації [11, 12].

Якщо сумарний рівень оптимізму, що враховує привабливість образу майбутнього і визначеність першого кроку, перевищує загальний опір системи, обумовлений проблемами, викликами, ризиками та можливостями, то інфраструктурна програма щодо проходження чергової точки біфуркації може здійснитися успішно [5].

З цієї формули, в застосуванні до подолання кризи, можна зрозуміти що:

- сумарний рівень оптимізму учасників інфраструктурної програми (як відчуття того, що щось йде не так) може бути і занадто високий, і низький, оскільки персонал може влаштовувати стабільність положення у впровадженні програми. Такий оптимізм підтримується за рахунок емоціонального інтелекту менеджерів та їх підприємницької енергії. Оцінка контексту конкретної інфраструктурної програми, специфіки бізнесу, розміру організації, культури що склалася в ній, рівня технологічної зрілості і компетентності, допоможе дати відповідь на питання про "сумарний рівень оптимізму";

- привабливий образ майбутнього. На стадії зрілості організації часто спостерігається ситуація, коли власник інфраструктурної програми заряджав енергією персонал програми на ранніх етапах її розвитку, дистанціюється від ведення справ в програмі в певний момент часу. Створити привабливий образ майбутнього інфраструктурної програми є завданням топ-менеджменту і власників бізнесу;

- опору організаційним змінам у впровадженні інфраструктурної програми мають складну динамічну природу і вимагають побудови цілісної моделі яка враховує проблеми, що накопичилися, ризики і виклики в зоні точки біфуркації.

Успішна реалізація інфраструктурних програм пов'язана з оцінкою ситуації, що склалася в точці біфуркації на основі наступних питань.

1. Чи є в програмі менеджер-візіонер, що володіє, як спонсор, достатньою часткою енергетичного потенціалу та користується довірою і володіє всією повнотою влади?

2. Чи створено в програмі механізм відтворення підприємницької енергії (бажано на різних рівнях управління)?

3. Чи сформульовано чітке бачення здатне розділяти бачення організації про інфраструктурну програму?

4. Чи формалізована стратегія розвитку інфраструктурної програми на майбутню перспективу та між точками біфуркації?

Відповідь на ці питання може дати можливість визначити готовність програми до змін і завдань, які необхідно вирішити програмі, щоб провести необхідні зміни в житті. Зрозуміло що після проходження чергової точки біфуркації стратегія може суттєво змінитися.

Визначеність першого кроку. Чи існують в інфраструктурній програмі плани реалізації стратегії до чергової точки біфуркації? Чи ясна роль кожного члена команди інфраструктурної програми в досягненні місії? Погоджено чи план дій програми з планом стратегічного розвитку компанії? Перший крок цього плану зрозумілий виконавцю? Якщо щось піде не так, чи зможе він повернутися на вихідні позиції? Чи має команда інфраструктурної програми право на помилку?

Загальний опір (перепони) системи. Які фактори будуть свідчити про наявність і інтенсивності групового опору? Чи весь наявний в команді потенціал задіяний для змін? Чи використовує компанія інструменти аналізу і зниження опору змінам?

Відповідь на ці питання може дати відповідь на питання про готовність компанії / програми до реалізації змін, які необхідно вирішити при впровадженні інфраструктурної програми, щоб провести необхідні зміни в житті.

Пробудження інноваційної активності інфраструктурної програми в точці біфуркації пов'язано з мобілізацією творчого потенціалу, необхідного для успіху програми є складною науковою проблемою.

Досвід останніх глобальних криз показав, що в умовах нестабільності навіть невеликі флуктуації можуть запустити процес з непередбачуваними наслідками для глобальної економічної системи.

Латентна цінність виявляється в конфліктах, які обумовлюють спрямованість майбутнього розвитку інфраструктурної програми. Відмінності ціннісних бачень суб'єктів програми не обов'язково викликають напруженості в їх взаємодіях. Моделювання системи дозволяє відобразити функціонування і розвиток організації при нелінійних зміни внутрішнього та зовнішнього оточення. Слід підкреслити, що під функціонуванням системи зазвичай розуміють перехід її з одного стану в інший в напрямку досягнення мети з характеризують її властивості в динаміці і не супроводжується зміною мети. Під розвитком ж системи прийнято розуміти зміну її якості, тобто її складу, структури або того й іншого разом.

Застосовувані математичні моделі покликані відображати зазначені явища в системі, описуючи систему як набір взаємопов'язаних елементів, що мають дані властивості, набір зв'язків між елементами і їх властивостями з позицій деякого процесу, що протікає.

Термін "процес" стосовно поточного стану системи зазвичай визначається як спільність дій, що входить в усі елементи, властивості і зв'язку компонентів системи, що дає результат. Проходження точки біфуркації ми будемо розглядати також як процес. Саме процес переводить вхід у вихід, пов'язує два системних об'єкта, перший з яких - "вхід" - відображає все те, що надходить в процес, а другий - "вихід" - відображає результат або кінцевий стан процесу. Вхід процесу в системі отримує виклики від навколишнього внутрішнього або зовнішнього середовища системи, точно так же, як вихід формує вплив на це середовище.

Складність зміни в точках біфуркації і їх не лінійність та тривалість говорить про доречність застосування системної технології втручання [12], як одного із способів управління змінами.

Стратегія – це довгостроковий план дій, спрямований на досягнення певної мети, суттєвої для організації. Стратегія в різних сферах діяльності визначається по-різному. У діяльності щодо

впровадження інфраструктурних програм роль стратегії полягає у впровадженні організаційно-аналітичної структури, яка обґрунтовує і готує рішення для виконання раціональних дій [13, 14].

Розроблені стратегії повинні реалізовуватися з урахуванням реального стану справ, проте не завжди мають спроможність здійснюватися так, як це було заплановано. Необхідно постійно адаптувати стратегію, приводячи її у відповідність з актуальними вимогами оточення і дійсним становищем організації, навіть якщо спочатку вона розроблялася з врахуванням всіх внутрішніх і зовнішніх вимог.

Незалежно від оптимальності стратегій реалізації інфраструктурних програм, на них впливають цілі організації, їх структура, можливості організації і її оточення. Отже, можна запропонувати три методики реалізації стратегії.

Інфраструктурні програми мають бути спрямовані не лише на побудову (розвиток) складної або масштабної системи, в ній має бути проактивно врахована розробка концепцій побудови стратегій та зміни структур організації [17, 18].

У інфраструктурній програмі, яку створено для розробки нового типу продукту (послуги), визначальними є використання нових технологій [12, 13], та концепції загального управління успіхом. Стратегічне управління інфраструктурною програмою ідентифікує елементи стратегії, критично важливі для досягнення місії програми, і створює структуру програми для об'єднання ключових елементів стратегії [14, 15]. Управління стратегією інфраструктурного програми стосується головним чином встановлення місії і управління ментальним простором інфраструктурної програми [16].

### **Профілювання нелінійної стратегії інфраструктурної програми**

В практиці управління інфраструктурними програмами застосовуються три підходу до реалізації стратегії.

Підхід першого типу полягає у встановленні певних принципів і/або впровадження відповідної структури для ефективного виконання щоденних операцій, прийняття основних і другорядних рішень з метою підвищення рівня професіоналізму і культури членів організації. Така методика розробляється для створення добре керованої організації.

Підхід другого типу спрямований на розвиток нових прийомів і механізмів їх реалізації, які організація може застосувати в роботі як з технологічними процесами (устаткування і техніка), так і з управлінськими (бізнес-процеси і бізнес-моделі).

Підхід третього типу визначає механізм циклічного створення нових цінностей, таких як продукти і послуги, які забезпечують організаціям успішність, що, в свою чергу, визначає існуючі цінності самих організацій.

Для кожного підходу повинна бути визначена специфічна схема профілювання стратегії [15, 16].

Початкова місія та стратегія інфраструктурної програми перетворюється в продукт програми, що має унікальну цінність активу, внаслідок формування чіткої концепції і архітектури інфраструктурної програми, системи планування і моніторингу, а також самої реалізації дій щодо його здійснення.

Спочатку місія та стратегія, на досягнення якої спрямовують свої зусилля заінтересовані сторони в інфраструктурній програмі, окреслює тільки загальне розуміння, яке представляє суть програми у стислому формулюванні.

Створення цінностей розглядається як основна концепція інфраструктурної програми, яка розгортається поетапно. Програма починається з визначення виду цінностей, які потрібно створити, потім переходить до дій, спрямованих на створення цінностей, і до визначення того, коли слід здійснювати процес управління, що корегує діяльність зі створення цінностей. Найважливішим у цій роботі є процес визначення місії та стратегії, який спрямований підготувати інфраструктурної програми за допомогою ідентифікації проблем і формулювання ключових напрямків стратегії. Цей процес складається з:

- контекстного аналізу ситуації для правильного уявлення повної картини (стану) інфраструктурної програми включаючи оточення;
- підготовки альтернативних сценаріїв.

Для того, щоб управління інфраструктурною програмою було динамічним, із адекватним реагуванням і забезпеченням компенсації змін в оточенні, менеджер інфраструктурної програми повинен прогнозувати тенденції розвитку оточення в короткостроковій і довгостроковій перспективі. При цьому необхідно промоделювати численні сценарії розвитку ситуації. Щоб досягти цього, команда програми повинна починати з глибокого аналізу поточного стану і моделювання бажаного стану в майбутньому. Керівники організації мають сформулювати головну ціль інфраструктурної програми у вигляді місії і обґрунтувати в ній причину існування самого інфраструктурної програми. Таким чином закладається фундамент того, що заінтересовані сторони розділятимуть концепцію команди управління, збільшуватимуть ступінь своєї участі у виконанні інфраструктурної програми, поглиблюючи усвідомлення суті проблем за допомогою активного спільного навчання та мотивації.

На наступній стадії менеджер інфраструктурної програми встановлює чітку мету, на досягнення якої має бути спрямована управлінська діяльність. Ця мета формується у вигляді концепції або завдання знаходження шляхів реалізації інфраструктурної програми (стратегічне питання "як?"), або, іншими словами, завдання про шляхи досягнення місії, для вирішення якої необхідно володіти глибоким стратегічним мисленням. На цій стадії бажано завжди, коли це можна зробити, описати кроки, необхідні для здійснення місії інфраструктурної програми, у вигляді специфічних цілей. За допомогою інструментів

управління інфраструктурною програмою досліджуються, звужуються і відсіваються численні сценарії для забезпечення здійснення інфраструктурної програми, а також обирається певний сценарій, який стає базовим для подальших процесів оцінки архітектури інфраструктурної програми і його цінності.

Формулювання місії та стратегії передбачає створення загального бачення інфраструктурної програми, очікуваного замовником, виражає цінність інфраструктурної програми, що віддзеркалює погляди замовника на терміни, спільноту інфраструктурної програми і діяльність в межах програми. Те, що повинні визначити місія та стратегія, можна розділити на дві категорії: формулювання поточних проблем і опис бажаного образу майбутнього після подолання поточних проблем. Формулювання місії, що вирішує проблеми для досягнення бажаного стану, включає опис цілей інфраструктурної програми, його контексту, методів і політики прийняття рішень, характеризується численністю предметних галузей з однієї сторони і невизначеністю середовища – з іншої. Внаслідок цього місія інфраструктурної програми часто буває складною для сприйняття і розуміння. Кожен аспект інфраструктурної програми має велике значення, і кожне з положень місії має глибокий сенс. Вони є цінностями місії, а не просто описом завдань, що підлягають вирішенню.

### **Процес формування нелінійної стратегії інфраструктурної програми**

Для формулювання місії та визначенні стратегії інфраструктурної програми необхідно відобразити концепцію оцінки його цінності так, як це уявляє замовник, і привести її в закінчений вигляд, який дозволить заінтересованим сторонам здійснювати максимально продуктивну комунікацію і, за необхідності, погоджувати із замовником зміни і доповнення до інфраструктурної програми.

Контекстний аналіз – це методологія осмислення і представлення цілісної картини інфраструктурної програми. Цей аналіз застосовується для інтерпретації місії та стратегії переважно у випадках, якщо взаємодіючі численні цінності інфраструктурної програми виражені абстрактно. Невизначеність подібного типу спричиняла і спричиняє численні втрати і додаткові витрати. Непорозуміння виникають через те, що контекст місії не може бути розкритим повністю внаслідок нерозвиненості відповідних методів. Тому для опису місії та стратегії інфраструктурної програми необхідно розробити основні правила їх інтерпретації.

У контекстному аналізі правила, що формують систему, або відповідна методологія формування загального контексту мають бути представлені візуально, а вимоги замовника або фахівця з планувальника інфраструктурної програми мають бути максимально втілені.

Попередній опис "стану як є" виконується через оцінку зовнішнього оточення. Необхідно

досліджувати зовнішнє оточення, аналізуючи обмеження за термінами впровадження інфраструктурної програми і швидкість проведення змін в програмі. Методи оцінки при цьому варіюються залежно від конкретної інфраструктурної програми, але у будь-якому випадку менеджери інфраструктурної програми повинні спочатку описати "стан як є", який базується на стратегії інфраструктурної програми, відмічених тенденціях в оточенні і його змінах, тенденціях в поведінці зовнішнього оточення, пріоритеті конкретної інфраструктурної програми, а також баченні майбутнього розвитку інфраструктурної програми. Потім, ґрунтуючись на стратегії, структурується групи підпрограм, і встановлюються їх пріоритети.

Далі описується гіпотетичний стан програми або ряд станів моделі "як буде". Це доцільно зробити з двох причин. Перша полягає в тому, що за наявності проблем, з якими в даний час зіткнулася організація, вони можуть бути вирішені не найкращим чином при традиційному перетворенні із "стану як є" у "стан як буде". Наприклад, "стан як є" характеризується надмірною продуктивністю, тоді при переході в "стан як буде" дана проблема не може бути вирішена тільки за допомогою реструктуризації або ліквідації програми.

Друга причина полягає в тому, що часто при спробах визначення "стану як є" аналітики зустрічаються з певним опором, оскільки вважається, що така діагностика та аудит інфраструктурної команди програми може не кращим чином висвітлити роботу менеджерів і співробітників команди управління. Також надзвичайно важливо підкреслити той факт, що неможливо вирішити всі проблеми, просто ідентифікуючи їх. Тому доцільніше було б спочатку описати гіпотетичний "стан як буде", а потім повернутися назад до діагностики "стану як є" для виявлення розривів між цими станами.

Діагностика "стану як є" за допомогою огляду внутрішнього середовища є більш пріоритетною. Проводити огляд динаміки внутрішнього середовища програми легше, якщо цей огляд здійснюється відносно задач, що стосуються гіпотетичного "стану як буде", а також якщо існує ясність у визначенні і інтерпретації цілей такого огляду.

Розглянемо визначення спрямованості "стану як буде". Гіпотетичний "стан як буде" порівнюється з існуючим "станом як є", і якщо між цими станами є істотні розриви, гіпотеза має бути переглянута і приведена у відповідний вигляд.

Для вирішення складних проблем інфраструктурної програми застосовуються відповідні знання, виконується діагностика і покращується взаємозв'язок між цілим і частинами через підтримку правильного балансу між загальним управлінням цілим і автономністю частин. Це необхідно, оскільки суть управління інфраструктурною програмою полягає в тому, що для генерації рішень під час зменшення управлінської невизначеності програма розглядаються як єдине ціле, піддаються взаємовпливу і повинні виконуватися скоординовано

для забезпечення плавності прогресу інфраструктурної програми. Тому бюрократичні перепони між елементами інфраструктурної програми мають бути усунені для того, щоб програми, що її складають, гармонійно взаємодіяли і приводили до результатів, визначених місією. З цієї причини програмне управління встановлює певні правила для взаємодії між проектами, разом з тим, підтримує і забезпечує невід'ємність автономії програм.

Щоб побудувати взаємозв'язки між цілим і частинами і співвіднести їх із змістом місії та стратегією інфраструктурної програми, проектне управління повинно проаналізувати і визначити принципи і організацію взаємозв'язку, поведінку в цілому і складових його частин. Мають бути задалегідь встановлені і, у разі потреби, перероблені і вдосконалені як правила управління інфраструктурною програмою, так і принципи кооперації, досягнення компромісу (угод) і визначення напрямку дій в організаціях, що здійснюють програми.

Управління стратегією інфраструктурної програми призначене для інтерпретації, визначення місії, цінностей на стратегічному рівні для визначення взаємодії між залученими в програму предметними сферами, задачами, цілями і засобами; конкретизації обмежень через формування основної структури інфраструктурної програми; виконання управління інтеграцією, що акцентує увагу на пріоритетності реалізації місії та стратегії у всіх процесах виконання інфраструктурної програми.

Проектне управління забезпечує інтеграцію стратегій на основі таких підходів:

1) концентруючись на суті інфраструктурної програми, формулюється загальне бачення її концепції, що дозволяє мінімізувати втрати і збитки в майбутньому.

2) пропонуються основні структури для вирішення задач інфраструктурної програми, акцентуючи увагу на цінності, ключовій для досягнення місії та втілення обраної стратегії.

3) при плануванні і реалізації інфраструктурної програми приймаються рішення неупереджено, не спираючись на традиційні підходи (принцип новаторського мислення).

4) приймаються рішення, розподіляючи пріоритети між численними планами залежно від ситуації (використовуючи теорію вибору).

Інфраструктурна програма реалізується на рівні стратегічного управління організації, що створює основну цінність місії інфраструктурної програми. Група програм, визначена в результаті їх профілізації і управління архітектурою, повинна відповідати загальній стратегії інфраструктурної програми.

### **Результати профілювання місії та стратегії інфраструктурної програми**

Вихідним документом процесу прийняття рішення з вибору якнайкращого з декількох альтернативних відносно до місії сценаріїв є

затверджений сценарій стратегії інфраструктурної програми. У цьому документі визначаються основні етапи і найважливіші елементи стратегії досягнення місії. Елементи стратегії варіюються залежно від конкретної інфраструктурної програми. Наприклад, у програмі розвитку нового продукту елементами стратегії, які приводять продукт до успіху, можуть бути його функціональність, вартість і час створення.

Елементи стратегії можуть бути різними навіть для інфраструктурних програм однієї сфери діяльності, вони залежать від задач інфраструктурної програми і бачення організації-інвестора.

Необхідно відзначити також, що множину запропонованих до оцінки альтернативних сценаріїв на стратегічному рівні можна розглядати з позицій декількох осей оцінювання, таких як: час, ресурси тощо. Група проектів, що складають інфраструктуру, формується на основі сценарію, вибраного за результатами оцінки альтернатив. Проте інтерфейси між проектами не завжди виявляються визначеними і часто до кожного сценарію включаються одні й ті самі програми для надання необхідної гнучкості.

Розглянемо процес підготовки альтернативних сценаріїв реалізації стратегії. Існують сценарії, реалізація яких може привести до досягнення місії інфраструктурної програми. Може існувати один або декілька таких сценаріїв. Для розробки сценаріїв створення нової управлінсько-технологічної системи використовуються різні підходи і методи, наприклад метод вибору альтернативи - "виробляти або придбати", метод генерації ідей, метод Дельфі – метод розвитку короткочасних і довгострокових сценаріїв [6]. Інфраструктурна програма здійснюється протягом довгострокового періоду. Рівень досягнення цінності місії інфраструктурної програми оцінюється на даний момент. При завершенні інфраструктурної програми визначається, чи була досягнута цінність та стратегічні цілі загалом. Вибраний для реалізації сценарій повинен передбачати оцінку впливу на інфраструктурну програму змін в оточенні впродовж всього її життєвого циклу. В більшості випадків інформація, на основі якої проводиться оцінка, старіє швидше, ніж проходить процес оцінювання, тому вибраний для реалізації сценарій повинен орієнтуватися на прогнозу інформацію.

Ресурси інфраструктурної програми, такі як фонди, організаційні і людські ресурси, технології і кошти є обмеженими за своєю природою, їх особливістю є те, що вони можуть використовуватись іншими проектами і програмами (які є конкурентами для даного інфраструктурної програми). Якщо внутрішніх ресурсів організації не достатньо для виконання інфраструктурної програми, потрібно залучати зовнішні ресурси, реалізовувати партнерство з іншими організаціями і проводити додаткові науково-дослідні розробки.

Рівень інвестицій в інфраструктурну програму утворює ще одну вісь стратегічного аналізу, на якій окремо виділяється прийнятний граничний рівень інвестицій.

Важливо враховувати систему соціальних пріоритетів, при здійсненні інфраструктурної програми, – законодавство, транспортну і інформаційну інфраструктуру, оскільки відомі випадки провалу зарубіжних операцій в рамках інфраструктурних програм через те, що не були враховані місцеві законодавчі норми і практика ведення діяльності. Будь-яка спроба створення цінності, яка відрізняється від цінності, що переважає в суспільстві, вимагає ретельної перевірки сумісності соціальних норм.

В інфраструктурній програмі здійснюється оцінка ризиків. До тих пір, поки в програмі, яка характеризується великою кількістю ризиків, не розроблені ефективні протиризикові заходи, стратегія вибору повинна передбачати її поетапне виконання або розробляти альтернативи для здійснення інфраструктурної програми з високим потенціалом цінності, але з високим ступенем ризику. Такий інфраструктурна програма можна здійснювати таким чином: деякі її компоненти реалізуються із затвердженим рівнем ризику, деякі – просто відкидаються або відкладаються, а деякі – замінюються альтернативними проектами для дотримання внутрішньої логіки досягнення місії інфраструктурної програми.

Керівник інфраструктурної програми в процесі його реалізації повинен проводити первинний огляд, що полягає в незалежному аудиті важливих віх програм, за допомогою якого можна доповнити і вдосконалити стратегію вибору.

Реалізуючи стратегію вибору, менеджер інфраструктурної програми планує можливі сценарії її розвитку, належним чином оцінює очікувані ризики, аналізує, чи варто реалізовувати програму і визначає розміри втрат в разі зупинки програм.

#### Приклад застосування методології профілювання стратегії

В якості прикладу застосування методології профілювання місії та стратегії впровадження інфраструктурної програми яка впроваджувалась у Публічному Акціонерному Товаристві "Миколаївський комбінат хлібопродуктів". Ця організація сьогодні має у своєму розпорядженні потужності для зберігання та переробки зернових культур, виробництва і гранулювання комбікормів, висівок. Місією інфраструктурної програми розвитку, реконструкції та модернізації виробничих потужностей Публічного Акціонерного Товариства "Миколаївський комбінат хлібопродуктів" було збільшення, диверсифікація виробничих потужностей, підвищення логістичної і комерційної привабливості, шляхом реконструкції, модернізації існуючих основних фондів та будівництва додаткових виробничих об'єктів. Стратегією інфраструктурної програми визначена черговість будівництва, реконструкції та модернізації виробничих об'єктів програми розвитку ПАТ "МКХП" за умови, що вже в найближчій часом з початку реалізації програми

розвитку, підприємство зможе отримувати дохід від введених в експлуатацію нових виробничих потужностей не чекаючи на завершення реалізації всіх проєктів.

Така стратегія дозволила в стислі терміни, не довше півтора року, завершити реалізацію програми розвитку, при цьому не зупиняючи виробничу діяльність, поступово нарощуючи потужності обсягів надання послуг, вироблення продукції. Метою створення лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури для забезпечення стабільного вантажопотоку через причал №10 Миколаївського морського порту" шляхом державноприватного партнерства є збільшення обсягів вантажної переробки та диверсифікація вантажопотоків через причал, підвищення логістичної і комерційної привабливості Миколаївського морського порту, забезпечення його розбудови та технічного переоснащення.

Структура включає інфраструктурної програми включає наступні об'єкти:

- проєкт №1 - "Сховище силосного типу для зберігання вантажів сільськогосподарської продукції з допоміжними будівлями та спорудами";
- проєкт №2 - "Пункт №1 для приймання вантажів сільськогосподарської продукції з допоміжними будівлями та спорудами";
- проєкт №3 - "Пункт №2 для приймання вантажів сільськогосподарської продукції з допоміжними будівлями та спорудами";
- проєкт №4 - "Сховище силосного типу №2 для зберігання вантажів сільськогосподарської продукції з допоміжними будівлями та спорудами";
- проєкт №5 - "Нежитлові будівлі елеваторного комплексу (реконструкція будівлі елеватору – літ. Ф1-5 з прибудовою вежі норійної №2)";
- проєкт №6 - "Пункт тепловий з допоміжними будівлями та спорудами";

- проєкт №7 - "Лінійний об'єкт інженерно-транспортної інфраструктури – галерея з транспортування вантажів сільськогосподарської продукції".

Панорама результатів впровадження інфраструктурної програми наведена нижче (рис.2).

Наведена інфраструктурна програма "створення лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури для забезпечення стабільного вантажопотоку через причал №10 Миколаївського морського порту" успішно завершена та побудовані об'єкти зернового терміналу введені до експлуатації.

Реалізація даної програми дозволила вирішити наступні завдання:

- а) створити додаткові портові потужності, розширити існуючу портову інфраструктуру;
- б) збільшити надходження до бюджетів всіх рівнів та цільових фондів, стягнення портових зборів за рахунок зростання обсягів вантажопереробки через причал №10 морського порту;
- в) розширити інтеграцію морського порту бізнес-напрямами групи компаній "OREXIM", шляхом привабливого сервісу, диференційованої гнучкої тарифної політики, оптимальної логістики;
- г) оптимізувати і розбудувати структуру порту;
- е) створити умови для залучення сталого вантажопотоку;
- ф) підвищити, поступово через три роки, вантажообіг морського порту орієнтовно на 1800 тис. тонн на рік, збільшить кількість заходів суден на 156 одиниць на рік, що приведе до значного збільшення надходжень від портових зборів на причалі №10 не менше 50,987 млн. грн. в рік, від послуги доступу портового оператора до причалу №10 додатково мінімум 6,552 млн. грн. в рік, відрахувань у державний бюджет не менше 33,749 млн. грн. щорічно.



Рис. 2. Панорама об'єктів зернового терміналу компанії "Миколаївський комбінат хлібопродуктів"

### Висновки

1. Розробка методології профілювання стратегії інфраструктурних програм забезпечують побудову та відбір найбільш ефективних нелінійних стратегій в умовах турбулентності внутрішнього і зовнішнього оточення.

2. Модель дозволяє побудувати траєкторії розвитку інфраструктурної програми. При цьому

з'являється можливість визначити параметри управління та виробити парадигми управління й "креативний механізм" протидії кризовим явищам та сталого розвитку.

3. Впровадження запропонованої методології профілювання нелінійної стратегії довело практичну значущість та ефективність моделей та методів стратегічного управління інфраструктурними програмами.

### Список літератури

1. Bushuyev S., Verenych O. Organizational Maturity and Project: Program and Portfolio Success. *Developing Organizational Maturity for Effective Project Management (Chapter 6: Organizational Maturity and Project: Program and Portfolio Success)*. Під заг. ред. G. Silvius & G. Karayaz. IGI Global, 2018. P. 349 (chapter 6. P. 104-127). DOI: 10.4018/978-1-5225-3197-5
2. Руководство по управлению инновационными проектами и программами. P2M. Том 1, Версия 1.2 / Пер. с англ. под ред. проф. С. Д. Бушуева. К. : Наук. світ, 2009. 173 с.
3. Ярошенко Ф. А., Бушуев С. Д., Танака Х. Руководство инновационными проектами и программами на основе системы знаний P2M : Монография. К. : "Саммит-Книга", 2012. 272 с.
4. Азаров Н. Я., Ярошенко Ф. А., Бушуев С. Д. Инновационные механизмы управления программами развития. К. : Саммит Книга, 2011. 564 с.
5. Бушуев С. Д., Бушуева Н. С., Бабаев И. А. и др. Креативные технологии в управлении проектами и программами. К. : Саммит книга, 2010. 768 с.
6. Тернер Дж. Руководство по проектно-ориентированному управлению. М. : Дом Гребенникова, 2007. 552 с.
7. Арчибальд Р. Д. Управление высокотехнологичными программами и проектами. М. : ДМК Пресс, 2004. 472 с.
8. Бурков В. Н., Новиков Д. А. Как управлять проектами. М. : Синтез, 1997. 188 с.
9. Bushuyev S., Verenych O. Competencies as an Instrument for the Blended Mental Space Management of a Project. *The 11th International Conference on Project Management (ProMac2017)*. 2017. Munich, Germany, P. 850–859.
10. Verenych O., Bushuyev S. Interaction researching mental spaces of movable context, stakeholder and project manager. *Organization, Technology and Management in Construction: an International Journal*. 2018 (February). Vol. 10, Issue 1, P. 1684–1695. DOI 10.1515/otmcj-2016-0021
11. Bushuyev S., Murzabekova A., Murzabekova S., Khusainova M. Develop breakthrough competence of project managers based on entrepreneurship energy. *Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2017*. P. 218–228.
12. Verenych O., Bushuieva V. The Blended Mental Space as one of the factors for sustainability and success in the project implementation process. *International Research Conference*. 2017. Dortmund, Germany. P. 118–125.
13. Молоканова В. М. Дослідження синергетичних рівнів проектно-орієнтованого управління. *Управління проектами та розвиток виробництва: зб. наук. пр.* Луганськ : СНУ ім. Даля, 2011. № 3. С. 30–37.
14. Verenych O., Dorosh M. Blended Mental Space: the methodology for creation and approaches for it's management. *Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. 2017. Vol. 2. P. 30-37. DOI: 10.1109/STC-CSIT.2017.8099423
15. Веренич О. В. Управління інфраструктурними проектами та програмами як ключовий елемент розвитку соціально-економічних систем. *Управління розвитком складних систем: зб. наук праць*. Київ : КНУБА, 2016. № 25. С. 23–31.
16. Бушуев С. Д., Веренич Е. В., Бушуев Д. А., Ярошенко Р. Ф. Формальная модель ментального пространства проекта или программы. *Радиоэлектроника, информатика, управления*. Запорожье, 2017. № 1. С. 153–160.
17. Бушуев С. Д., Бушуева Н. С. Проактивное управление программами организационного развития. *Управление проектами и программами*. Москва : СОВНЕТ, 2007. № 4 (12). С. 270–282.
18. Бушуева Н. С. Модели и методы проактивного управления программами организационного развития : Монография. К. : Наук. світ, 2007. 200 с.

### References

1. Bushuyev, S., Verenych, O. (2018), "Organizational Maturity and Project: Program and Portfolio Success", *Developing Organizational Maturity for Effective Project Management (Chapter 6: Organizational Maturity and Project: Program and Portfolio Success)*, Under the head. ed. G. Silvius & G. Karayaz, IGI Global, 2018, P. 349 (chapter 6, P. 104–127). DOI: 10.4018/978-1-5225-3197-5
2. *A guide to managing innovative projects and programs. P2M*, Vol. 1, Version 1.2 / Transl. with English. ed. prof. S. D. Busheva. Kyiv : Science World, 2009, 173 p.
3. Yaroshenko, F. A., Bushuev, S. D., Tanaka, H. (2012), "A Guide to Innovative Projects and Programs Based on the P2M Knowledge System" : *Monograph*, Kyiv : The Summit Book, 272 p.
4. Azarov, N. Ya., Yaroshenko, F. A., Bushuev, S.D. (2011), *Innovative mechanisms for managing development programs*, Kyiv : Summit Book, 564 p.
5. Bushuyev, S., Bushueva, N., Babaev, I. and others (2010), *Creative technologies in project and program management*, Kyiv : Summit Book, 768 p.
6. Turner, J. (2007), *A guide to project-oriented management*, Moscow : Dom Grebennikova, 552 p.
7. Archibald, R. D. (2004), *Management of high-tech programs and projects*, Moscow : DMK Press, 472 p.
8. Burkov, V. N., Novikov, D. A. (1997), *How to manage projects*, Moscow : Sintez, 188 p.
9. Bushuyev, S., Verenych, O. (2017), "Competencies as an Instrument for the Blended Mental Space Management of a Project", *The 11th International Conference on Project Management (ProMac2017)*, Munich, Germany, P. 850–859.

10. Verenych, O., Bushuyev, S. (2018), "Interaction researching mental spaces of movable context, stakeholder and project manager", *Organization, Technology and Management in Construction: an International Journal*, Vol. 10, Issue 1, P. 1684–1695. DOI 10.1515/otmcj-2016-0021
11. Bushuyev, S., Murzabekova, A., Murzabekova, S., Khusainova, M. (2017), "Develop breakthrough competence of project managers based on entrepreneurship energy", *Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2017*, P. 218–228.
12. Verenych, O., Bushuieva, V. (2017), "The Blended Mental Space as one of the factors for sustainability and success in the project implementation process", International Research Conference, Dortmund, Germany, P. 118–125.
13. Molokanova, V. M. (2011), "Investigation of synergetic levels of design-oriented management", *Project management and production development: Coll. Sciences. Ave*, Lugansk : SNU them Dalia, No. 3, P. 30–37.
14. Verenych, O., Dorosh, M. (2017), "Blended Mental Space: the methodology for creation and approaches for it's management", *Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, Vol. 2, P. 30–37. DOI: 10.1109/STC-CSIT.2017.8099423
15. Verenich, O. V. (2016), "Management of infrastructure projects and programs as a key element for the development of social and economic systems", *Management of the development of folding systems: zb. Sciences prac.*, Kyiv : KNUBA, No. 25, P. 23–31.
16. Bushuev, S. D., Verenich, E. V., Bushuev, D. A., Yaroshenko, R. F. (2017), "A formal model of the mental space of a project or program", *Radioelectronics, Informatics, Controls*, No. 1, Zaporozhye, P. 153–160.
17. Bushuyev, S. D., Bushueva, N. S. (2007), "Proactive management of organizational development programs", *Project and program management*, Moscow : SOVNET, No. 4 (12), P. 270–282.
18. Bushueva, N. S. (2007), "Models and methods of proactive management of organizational development programs" : *Monograph*, Kyiv : Science light, 200 p.

*Надійшла (Received) 30.11.2019*

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Бушуєв Сергій Дмитрович** – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва та архітектури, завідувач кафедри управління проектами, Київ, Україна; e-mail: SBushuyev@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7815-8129>.

**Бушуев Сергей Дмитриевич** – доктор технических наук, профессор, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, заведующий кафедрой управления проектами, Киев, Украина.

**Bushuyev Sergey** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kiev National University of Construction and Architecture, Head of the Department of Project Management, Kyiv, Ukraine.

**Козир Борис Юрієвич** – кандидат технічних наук, Київський національний університет будівництва та архітектури, доцент кафедри управління проектами, Київ, Україна; e-mail: [KozyrB@ukr.net](mailto:KozyrB@ukr.net); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3400-4571>.

**Козырь Борис Юрьевич** – кандидат технических наук, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, доцент кафедры управления проектами, Киев, Украина.

**Kozyr Boris** – PhD (Engineering Sciences), Kiev National University of Construction and Architecture, Associate Professor of the Department of Information Technology, Kyiv, Ukraine.

**Запривода Аліна Анатоліївна** – Київський національний університет будівництва та архітектури, аспірант кафедри управління проектами, Київ, Україна; e-mail: [a.zaprivoda86@gmail.com](mailto:a.zaprivoda86@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-0161-623X>.

**Запривода Алина Анатольевна** – Киевский национальный университет строительства и архитектуры, аспирант кафедры управления проектами, Киев, Украина.

**Zapryvoda Alina** – National University of Civil Engineering and Architecture, PhD Student of the Department of Project Management, Kyiv, Ukraine.

## НЕЛИНЕЙНЫЕ СТРАТЕГИИ В УПРАВЛЕНИИ ИНФРАСТРУКТУРНЫМИ ПРОГРАММАМИ

**Предметом** исследования являются модели и методы построения и внедрения нелинейных стратегий управления инфраструктурными программами. **Целью** исследований является анализ существующего состояния целеполагания и определения эффективных стратегий реализации программ с изменениями направлений развития в точках бифуркации в окружении, вызовов, рисков и возможностей. Устойчивость развития программ в условиях быстрых и критических изменений внешней и внутренней среды может быть обеспечена эффективными моделями и методами целеполагания и целедостижение инфраструктурных программ в условиях критических изменений внешней и внутренней среды. **Задачами** исследований по управлению инфраструктурными программами является построение нелинейных моделей и методов стратегического управления с учетом динамики и адекватным реагированием, и обеспечением компенсации изменений в окружении. **Методы**, применяемые менеджером инфраструктурной программы, обеспечивают прогнозирование тенденций развития окружения в краткосрочной и долгосрочной перспективе. **Результатом** исследования является формулировка миссии и определении нелинейной стратегии инфраструктурной программы, которая базируется на концепции оценки его ценности так, как это представляет заказчик. Это позволяет заинтересованным сторонам осуществлять максимально производительную коммуникацию и, при необходимости, согласовать с заказчиком изменения и дополнения инфраструктурной программы. **Выводы.** Рассматривается контекстный анализ как методология осмысления и представления целостной картины инфраструктурной программы. Этот анализ применяется для интерпретации миссии и стратегии, если взаимодействующие многочисленные ценности инфраструктурной программы выражены абстрактно. Неопределенность подобного типа вызывает многочисленные потери и дополнительные расходы. Недоразумения возникают

из-за того, что контекст миссии и нелинейная стратегия не могут быть раскрыты полностью вследствие неразвитости соответствующих моделей и методов. Поэтому для описания миссии и стратегии инфраструктурной программы предлагаются основные правила их интерпретации.

**Ключевые слова:** инфраструктурные программы; нелинейные стратегии развития; точки бифуркации; заинтересованные стороны; риски и возможности.

## NONLINEAR STRATEGIC MANAGEMENT OF INFRASTRUCTURE PROGRAMS

The **subject** of the study is models and methods of construction and implementation of non-linear strategies for managing infrastructure programs. The **purpose** of the research is to analyse the current state of goal setting and to identify effective strategies for implementing programs with changes in developmental directions at bifurcation points in the environment, challenges, risks and opportunities. The resilience of program development in the face of rapid and critical changes in the external and internal environment can be ensured by effective models and methods of targeting and achieving infrastructure programs in the conditions of critical changes in the external and internal environment. The **objectives** of research on infrastructure program management are to build non-linear models and methods of strategic management, taking into account the dynamics and adequate response and ensuring compensation for changes in the environment. The **methods** used by the infrastructure manager forecasts the development trends of the environment in the short and long term. The **result** of the study is the formulation of the mission and the definition of a non-linear strategy for the infrastructure program, which is based on the concept of evaluating its value in the way it is presented by the customer. This allows interested parties to communicate as efficiently as possible and, where necessary, to agree with the customer on changes and additions to the infrastructure program. **Conclusions.** The context analysis is considered as a methodology for comprehending and presenting a holistic picture of the infrastructure program. This analysis is used to interpret the mission and strategy if the interoperable multiple values of the infrastructure program are expressed in abstract terms. Uncertainty of this type causes numerous losses and additional costs. Misunderstandings arise from the fact that the mission context and nonlinear strategy cannot be fully disclosed due to the underdevelopment of relevant models and methods. Therefore, basic rules for their interpretation are offered to describe the mission and strategy of the infrastructure program.

**Keywords:** program infrastructure; non-linear development strategies; bifurcation points; stakeholders; risks and opportunities.

### *Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions*

Бушуев С. Д., Козыр Б. Ю., Запривода А. А. Нелінійні стратегії в управлінні інфраструктурними програмами. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2019. № 4 (10). С. 14–23. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.014>.

Bushuyev, S., Kozyr, B., Zapryvoda, A. (2019), "Nonlinear strategic management of infrastructure programs", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 14–23. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.014>.

V. BESKOROVAINYI, O. KUROPATENKO, D. GOBOV

**OPTIMIZATION OF TRANSPORTATION ROUTES IN A CLOSED LOGISTICS SYSTEM**

The **subject** of research in the article is the network of closed logistics. The **goal** of the work is the creation of mathematical models and methods for solving problems of optimizing transportation routes in closed-loop logistics systems, taking into account many topological and functional limitations. The following **tasks** are solved in the article: the development of a systemological model for the problem of optimizing transportation routes in a closed logistics system; development of a mathematical model of the problem of structural and topological optimization of a three-level centralized network of closed micro-logistics routes for global transportation; development of a mathematical model for the optimization of ring transportation routes in a closed logistics system for local transportation; development of methods for optimizing ring transport routes in a closed logistics system. The following **methods** are used: methods of system theory, graph theory, methods of the theory of utility, optimization and research of operations. The following **results** were obtained: the decomposition of the problem of optimizing transportation routes in closed-loop logistics systems at the macro and micro levels was performed; a systemological model of the problem has been developed, which reflects the whole complex of tasks that are solved at various stages of the life cycle of logistics systems. To improve the efficiency of closed-loop logistics systems, a joint solution to the problems of network optimization for the transportation of direct product flows and return flows has been proposed. A mathematical model of the problem of structural and topological optimization of a three-level centralized network of closed micro-logistics routes for global transportation has been developed. To solve such problems, methods using directed enumeration of options are recognized effective; a mathematical model of the optimization problem of the network of closed micro-logistics routes for local transportation with the simultaneous transportation of the contents of the forward and reverse flows was developed; To solve the problem of optimizing closed-loop micro-logistics route networks at the local transportation level while simultaneously transporting the contents of the forward and reverse flows, modifications of the Clark-Wright methods are proposed, as well as a method based on coordinate-wise optimization and insertion schemes; experimental studies of the proposed modifications of the methods made it possible to obtain estimates of their temporal complexity. **Conclusions:** Practical use of the proposed mathematical models and modifications of methods for optimizing closed-loop logistics systems by jointly solving problems for direct and reverse flows will reduce the cost of implementing transport companies. The obtained estimates of the time complexity of the optimization methods will make it possible to predict the costs of computing and time resources in their practical use for solving optimization problems of closed-loop logistics networks.

**Keywords:** logistics network; direct and reverse flow networks; closed logistics; network optimization; systemological model.

**Introduction**

Profitability and environmental friendliness of business processes and other anthropogenic processes is largely determined by the quality of the corresponding logistics. Traditionally, the logistics processes covered the main stages of economic activity, starting from the development of sources of raw materials and ending with the delivery of products and services to the final consumer [1]. Traditionally, the logistics processes covered the main stages of economic activity, starting from the development of sources of raw materials and ending with the delivery of products and services to the final consumer. One of the most important planning problems in supply chain management (SCM) is supply chain network design (SCND) [2]. A solution to optimize the supply chain of SC (supply chain) needs to be sustainable and viable in complex and uncertain external environment. In the light of current trends in environmental safety, environmental (green) logistics has emerged and is developing rapidly in recent decades. [3–4]. It covers management activities in the logistics cycle from the rational use of natural raw materials to waste management activities. The methodology of environmental logistics is aimed at reducing the level of risks of economic losses caused by environmental degradation, as well as improving the environmental and economic efficiency of enterprises [5]. One of the directions of ecological logistics is reverse logistics, in which the ordering and systematization of reverse commodity-material,

information, cash flows is carried out [6-7]. Traditionally, direct and reverse logistics tasks are regarded as conditionally independent, which does not allow obtaining globally effective solutions to the logistics problem as a whole. The joint solution of direct and reverse logistics problems gives rise to many new tasks that require formalization and development of effective methods for solving them.

**Analysis of the problem and existing methods for solving it**

Macro- and micro-logistic systems are distinguished in logistics [8]. Macrological systems form flows and processes within the framework of the interaction of several independent property objects, usually not related to territorial distribution. Macro logistics tasks are solved for international, transcontinental companies or intermediary organizations. Micrologistics solve the issues of interaction of elements of one or several enterprises assembled into a group of common economic interests or an individual enterprise [9]. Transport micro-logistics of a relatively large enterprise is divided into two conventional systems: global and local transportation. In the general case, the task of global transportation is the task of optimal placement of intermediate cargo points (warehouses, hubs, etc.) to minimize the cost of cargo transportation [10].

A typical example of the global transportation problem can be the structural and topological synthesis of

a three-level centralized transport and storage system at the regional level in the following statement [11]. Given the location of the supply center, a set of consumers of products  $I = \{i : i = \overline{1, n}\}$ , for each of which a location on the transport network of the region is determined, the volume of products ordered by each of them and the transport tariff for its delivery. It is necessary to determine the optimal number and location of distribution centers (DC), as well as a subset of consumers served by each DC  $I_j = \{i\}$ ,  $j = \overline{1, l}$ . In practice, there are two main varieties of the problem: if there are restrictions on the places of possible placement of the DC and without restrictions on the places of their possible placement. An example of restrictions is the requirement for the location of the DC only at the base or in close proximity to consumers.

The objective function of this task is the reduced costs of delivering products to consumers.

$$C = \sum_{j=1}^l c_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l q_i r_i d_{ij} v_{ij} \rightarrow \min_{r, d, v} \quad (1)$$

where  $n$  – number of product consumers;  $l$  – number of DC;  $q_i$  – volume of freight traffic to the  $i$ -th consumer;  $r_i$  – transport tariff for the  $i$ -th consumer;  $d_{ij}$  – distance between the  $i$ -th consumer and the  $j$ -th DC;  $c_j$  – the costs given for the  $j$ -th DC;  $v_{ij}$  – boolean variable:  $v_{ij} = 1$ , if the  $i$ -th customer is served by the  $j$ -th DC,  $v_{ij} = 0$  – otherwise.

To solve such problems with objective functions of the form (1) – (3), methods for the synthesis of geographically distributed objects with radial-node structures that use the idea of directional enumeration in the direction of increasing the number of nodes are quite effective. [11–13]. Their temporal complexity is of order  $O[n^2]$ , and the error in solving problems with the number of consumers  $n \leq 50$  is less than 5%.

The vast majority of practical problems of optimizing local transportation are formulated as variants of the traveling salesman task (ST) in terms of graph theory, and among the methods for solving them, exact, heuristic and metaheuristic are distinguished [14]. The most effective accurate algorithms for solving the problem of one or several salesmen without additional restrictions are based on the branch and bound method [15–16]. Heuristic methods make it possible to find approximate solutions of ST taking into account many practically important limitations. They use various search schemes in the vicinity of some basic solution. Among them, the iterative two-phase method (algorithm) is one of the most effective, including the steps of clustering and building routes using, for example, the Clark-Wright algorithm. Metaheuristic methods (algorithms) are based on modeling self-organization processes and, thanks to the use of special procedures (mutation, multi-start); allow finding approximations of optimal solutions in an acceptable time.

In the process of optimizing logistics structures, environmental requirements for production, storage, transportation and processing of waste products are increasingly being taken into account. This requires solving, together with traditional tasks, the problems of optimizing the return flows from consumers to the places of production or disposal of waste. Such tasks are solved within the framework of green (reverse) logistics [17, 18].

Competition conditions orient modern companies towards the rapid development of new types of products, which leads to changes in flows in all supply chains. With relatively insignificant changes in flows, the problems of adapting existing structures are solved, which requires decision-making under conditions of uncertainty, changing demand and other data [2, 19]. With significant changes in flows, a decrease in the efficiency of existing structures is observed, leading to the need for their reengineering. With this in mind, technologies for reengineering logistics structures should provide for a joint solution to the problems of optimizing closed (direct and reverse) route networks in terms of a variety of functional, cost, environmental indicators and restrictions. This determines the urgency of the tasks of optimizing transportation routes in closed logistics systems, taking into account the restrictions arising from the interaction of oncoming flows.

The purpose of this article is to develop methods for solving the problems of optimizing transportation routes in a closed logistics system, taking into account many topological and functional limitations. To achieve the goal, the article solves the following tasks:

- development of a systemological model for the problem of optimizing transportation routes in a closed logistics system;
- development of a mathematical model of the structural and topological optimization problem for a three-level centralized network of closed micro-logistics routes for global transportation;
- development of a mathematical model for the optimization of ring transportation routes in a closed logistics system for local transportation;
- development of methods for optimizing ring transport routes in a closed logistics system.

## Results of the study

Closed logistics systems are objects consisting of many geographically distributed elements (suppliers, processors, terminals, consumers), interconnected by route networks. The structure of each of these systems can be represented as a tuple  $\langle E, R \rangle$  (where  $E$  – a set of elements;  $R$  – a set of connections (routes) between elements). Based on the set of acceptable locations for the terminals of the system, each of the structure  $\langle E, R \rangle$  options can have different topologies  $G^*$ . Given this, each of the topological implementations of the system  $s = \langle E, R, G \rangle$ ,  $G = \langle G_E, G_R, G_A \rangle$  (where  $G \in G^*$  – topological

implementation of the structure  $\langle E, R \rangle$ ;  $G_E$  – elements' topology;  $G_R$  – connections' topology;  $G_A$  – routes' topology) will correspond its own set of functional and cost properties defined by some mapping [20, 21]:  $\varphi: (E, R, G) \rightarrow P$ .

Subsets of elements  $E'$ , relationships between elements  $R'$  and topologies  $G'$  on which it can be implemented can be determined as a result of the analysis of the purpose of creating the system, the conditions of its functioning and its desired properties  $P'$ . On this basis, subsets of elements, links, and topologies  $E^o \subseteq E', R^o \subseteq R', G^o \subseteq G'$ , are determined that ensure the obtaining of required properties  $P'$  (allowable cost values, flow delivery time, etc.) with minimal costs when meeting technological  $R_T \subseteq R_T^*$  and ecological  $R_E \subseteq R_E^*$  restrictions

$$s^o = \arg \max_{s \in S^*} Q(s), R_T(s) \subseteq R_T^*, R_E(s) \subseteq R_E^*, \quad (2)$$

where  $s$  – system building option;  $S^*$  – a set of acceptable options for building a system;  $Q(s)$  – evaluation of the effectiveness of the  $s$ -th system design option.

According to the incomplete certainty of the requirements for the properties of the logistic system, it is proposed to use the membership function of the fuzzy set "the best option for building the system" as an assessment of efficiency  $P(s)$  (function of general utility) (2) [22, 23]. In this case, the fuzzy set "the best option for constructing a technological system" can be represented as a set of ordered pairs:

$$\langle \text{The\_best\_option\_for\_building\_a\_system} \rangle = \{ \langle s, P(s) \rangle \}, \quad (3)$$

where  $s \in S$  – system building option;  $P(s)$  – degree of affiliation of the option  $s \in S$  to a fuzzy set "the best option for building the logistic system".

To quantify the effectiveness, we use the most universal additive-multiplicative model based on the Kolmogorov-Gabor polynomial:

$$P(s) = \sum_{i=1}^m \lambda_i \xi_i(s) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} \xi_i(s) \xi_j(s) + \dots + \sum_{i=1}^m \sum_{j=i}^m \sum_{k=j}^m \lambda_{ijk} \xi_i(s) \xi_j(s) \xi_k(s) \dots, \quad (4)$$

where  $m$  – the number of particular criteria characterizing the properties of the system;  $\lambda_i, \lambda_{ij}, \lambda_{ijk}$  – weighting factors of particular criteria and their products;  $\lambda_i \geq 0, \lambda_{ij} \geq 0, \lambda_{ijk} \geq 0, \xi_l(s)$  – utility function of particular criterion  $k_l(x), l = i, j, k$ .

It is proposed to use a modified gluing function as a utility function of particular criteria, which has advantages in the accuracy of approximation of expert estimates and computation time in comparison with the Gauss, Harrington and logistic functions [22]:

$$\xi(s) = \begin{cases} \bar{a}(b_1 + 1) \left( 1 - \frac{b_1}{b_1 + \frac{k(s)}{\bar{k}_a}} \right), & 0 \leq \bar{k}(s) \leq \bar{k}_a; \\ \bar{a} + (1 - \bar{a})(b_2 + 1) \left( 1 - \frac{b_2}{b_2 + \frac{\bar{k}(s) - \bar{k}_a}{1 - \bar{k}_a}} \right), & \bar{k}_a < \bar{k}(s) \leq 1, \end{cases} \quad (5)$$

where  $\bar{k}_a, \bar{a}$  – normalized coordinates of the gluing point,  $0 \leq \bar{k}_a \leq 1, 0 \leq \bar{a} \leq 1$ ;  $b_1, b_2$  – coefficients that determine the form of the dependence on the initial and final segments of the function.

The problem of optimizing transportation routes in closed logistics systems as a meta-task consists of a set of tasks that require the development of new mathematical models and methods for solving them. The two-level scheme of its decomposition includes complexes of tasks at the macro and micro levels, and each of the tasks can be considered as a converter of input data to output [21]:

$$Task_i^l : In_i^l \rightarrow Out_i^l, MetaTask = \{ Task^l \},$$

$$Task^l = \{ Task_i^l \}, l = \overline{1, 2}, i = \overline{1, 6}, \quad (6)$$

where  $In_i^l, Out_i^l$  – input and output data of the  $i$ -th task of the  $l$ -th level.

Most of the macro-level tasks are optimization tasks and are characterized by limitations reflecting the specifics of the main stages of the system life cycle:  $Task_1^l$  – formation of requirements for the system and statement of its optimization problem;  $Task_2^l$  – system design;  $Task_3^l$  – system development planning;  $Task_4^l$  – modernization of the system;  $Task_5^l$  – system reengineering. At the micro level, the tasks of optimizing the logistics system that arise at the stages of its pre-project research, design and operation are solved:  $Task_1^2$  – selection of construction principles;  $Task_2^2$  – structure optimization;  $Task_3^2$  – topology optimization;  $Task_4^2$  – optimization of the functioning technology;  $Task_5^2$  – optimization of parameters of elements and relationships;  $Task_6^2$  – performance evaluation and choice of solutions.

The task of structural and topological synthesis of a centralized three-level system of closed logistics is characterized by the requirement to take into account the reverse flows from customers to production or processing centers (utilization). Let  $n$  be the number of points in the closed logistics system for which location coordinates are given, as well as their types (end-user, production, processing or terminal). It is necessary to synthesize an effective three-tier structure, in which the production and processing centers are located on the first level, the terminals on the second and the final consumers on the third. The costs of the network with direct and reverse

flows consist of the amount of the reduced costs for the delivery of the direct stream from the production center to the terminals  $C_{PT}$ , for processing in the terminals to the centers  $C_{T1}, C_{T2}$ , for the delivery of the direct stream from the terminals to the final consumers  $C_{TS}$ , for the delivery of the reverse stream from the final consumers to the terminals  $C_{ST}$ , reverse flow delivery from terminals to the processing center  $C_{TP}$  in the form of [20]:

$$C = C_{PT} + C_{T1} + C_{TS} + C_{ST} + C_{T2} + C_{TP}. \quad (7)$$

The mathematical model of this problem with the objective function (7) for the case of territorial combination of production and processing points can be represented as:

$$C = \sum_{i=1}^n c_i x_{ii} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min_x, \quad (8)$$

$$X = [x_{ij}] = \begin{cases} x_{ij} \in \{0, 1\}, i, j = \overline{1, n}; \\ \sum_{i=j}^n x_{ij} \geq 1, \forall j = \overline{1, n}; \\ \sum_{j=1}^n \sum_{i=j}^n x_{ij} = 2(n-1) + \sum_{i=1}^n x_{ii}, \end{cases} \quad (9)$$

where  $c_i$  – the given costs for a terminal located on the basis of the  $i$ -th structural element;  $x_{ij}$  – element of a matrix describing the relationships of network elements;  $c_{ij}$  – the cost of delivering the flow from point  $i$  to point  $j$ .

The constraint system in task (8) – (9) describes the entire set of admissible three-level centralized structures with forward and reverse flows.

The basic task of local transportation in a closed micro-logistics system is the optimization of ring routes. Various formulations of such a problem are variants of the TS problem. Their characteristic feature is that the direct flow (of goods, materials, components) can be delivered to the points of the logistics network and the reverse flow (containers, defective goods, waste) can be collected from the points of the network by the same vehicle. This feature requires changes in mathematical models and methods for solving problems of optimizing ring route networks.

The basic problem of optimizing a single ring route in a closed micro-logistics system is considered in the following statement. Asked: a lot of system elements dispersed throughout the territory (delivery and pick-up points)  $I = \{i, i = \overline{1, n}$ , their characteristics (matrix of distances or fares  $C = [c_{ij}]$ ,  $i, j = \overline{1, n+1}$ , correspondence matrix  $W = [w_{ij}]$ ,  $i, j = \overline{1, n+1}$ , where  $n+1$  – the number of the point in which the base is located) and the characteristics of the vehicle used (speed, cost of operation, carrying capacity, transported volume). It is necessary to determine the route of detour

points  $R = [r_{ij}]$ , satisfying constraints and extremizing selected performance criteria. The criteria used are indicators of minimum financial costs, mileage, and time to deliver the contents of the streams. The restrictions are weight, volume of transported cargo, carrying capacity, vehicle capacity.

Taking this into account, the mathematical model of the basic task of optimizing the ring route in a closed-loop logistics system by the criterion of minimum costs can be represented as:

$$\sum_{i=1}^{n+1} \sum_{j=1}^{n+1} c_{ij} r_{ij} \rightarrow \min_R \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^{n+1} r_{ij} = 1, j = \overline{1, n}, \quad \sum_{j=1}^{n+1} r_{ij} = 1, i = \overline{1, n}, \quad (11)$$

$$u_i - u_j + n r_{ij} \leq n - 1, \quad i, j = \overline{2, n+1}, i \neq j, \quad (12)$$

$$z_0 = \sum_{j=1}^n w_{n+1,j}, \quad z_k = z_{k-1} + \Delta z_k,$$

$$\Delta z_k = w_{n+1,k} - w_{k,n+1}, \quad z_k \leq z^* \quad \forall k = \overline{1, n}, \quad (13)$$

where  $c_{ij}$  – cost of delivery of goods from point  $i$  to point  $j$ ;  $r_{ij}$  – boolean variable ( $r_{ij} = 1$ , if the route passes directly from point  $i$  to point  $j$ ;  $r_{ij} = 0$ , otherwise);  $u_i$  – auxiliary variables,  $u_i \geq 0$ ,  $i = \overline{1, n+1}$ ;  $z_0$  – loading (filling) a vehicle at the base;  $z_k$  – loading (filling) of the vehicle at the point  $k$ ,  $k = \overline{1, n}$ ;  $w_{n+1,k}$  – weight (volume) of cargo delivered from the base to the point  $k$ ,  $k = \overline{1, n}$ ;  $w_{k,n+1}$  – weight (volume) of cargo delivered from the point  $k$  to the base,  $k = \overline{1, n}$ ;  $\Delta z_k$  – changing the loading of the vehicle at the point  $k$ ,  $k = \overline{1, n}$ ;  $z^*$  – carrying capacity (capacity) of the vehicle.

Constraints (11) – (12) correspond to the constraints of the classical TS. They provide the connection of each route point with only two other route points, the requirement to start and end the route at the point  $n+1$  and ensure its isolation. New restrictions  $z_k \leq z^* \quad \forall k = \overline{1, n}$  introduced in (13) exclude overloading of the vehicle delivering the contents of the direct and reverse flows. For the classic transportation task, loading a vehicle in the database with the contents of the direct stream is  $z^{(P)} = \sum_{j=1}^n w_{n+1,j}$ ,  $z^{(P)} \leq z^*$ . There is no reverse

flow  $z^{(O)} = \sum_{j=1}^n w_{j,n+1} = 0$ . For the task of collecting reverse

flow content  $z^{(P)} = \sum_{j=1}^n w_{n+1,j} = 0$ , and the weight (volume)

of the reverse flow is  $z^{(O)} = \sum_{j=1}^n w_{j,n+1} \leq z^*$ .

In the task of optimizing the set of ring transportation routes in a closed micro-logistics system, it is necessary to determine the required number of vehicles

$p$  and detour routes  $R = [r_{ij}]$  that satisfy the restrictions and extremize the selected performance criteria. As a criterion, indicators of minimum financial costs, mileage, time and the required number of vehicles for the delivery of the contents of the streams are used. The restrictions are weight, volume of transported cargo, length, time of the route.

It is proposed to use an estimate of the delivery time of the contents of a stream along routes  $\tau$  as an indicator of the system's responsiveness. Depending on the specific formulation of the problem, the maximum  $\tau = \max_{1 \leq l \leq p} \tau_l$  or

weighted average time  $\tau = \sum_{l=1}^p \tau_l w_l$ , where  $\tau_l$  – maximum delivery time of cargo along the  $l$ -th route;  $p$  – number of routes;  $w_l$ ,  $l = \overline{1, p}$  – specific gravity of the  $l$ -th route.

With this in mind, the mathematical model of one route (10) – (13) is supplemented by a restriction for the formation of  $P$  subsets of points, on the basis of each of which a minimum cost route will be formed:

$$\sum_{i=1}^n r_{i, n+1} = \sum_{j=1}^n r_{n+1, j} = p. \quad (14)$$

The problem to be solved with a fixed location of the base can be considered as one of the TS modifications - the task of an undetermined number of salesmen. For a fixed location of the base and a given number of substructures (depending on the type and detail of restrictions), the formulated problem can be considered, for example, as the task  $p$  of a salesman with a central base.

When determining the search strategy for the optimal number of routes, we will take into account that increasing their number increases their total length and reduces the load on the vehicles used. Thus, increasing the number of routes increases the cost of delivering the contents of the forward and reverse streams. When solving the problem, it is necessary to determine the minimum number of routes  $p$  that ensure the fulfillment of restrictions of the form (11)–(14).

Taking this into account, the scheme of the proposed method for solving the problem can be represented as follows. To determine the minimum number of nodes  $p = p_{min}$ , enforcing restrictions (13):  $p_{min} = \lceil z_0 / z^* \rceil$ . To synthesize a radial-ring structure by solving the problem  $p = p_{min}$  salesmen with a central base.

To determine the characteristics of the resulting option, verify that all system restrictions are met (11)–

(13). To increase the number of routes, if necessary  $p := p+1$ . To optimize the network of  $p$  routes, to verify compliance with restrictions, to compare with the option for  $p-1$  routes and to choose the best option. Continue the decision until all restrictions are met.

The solution of the salesmen  $p$  task with a central base, depending on available resources, can be obtained using two main approaches: by reducing it to the TS and by forming  $p$  subsets of points with the subsequent solution of the TS for each of them.

The essence of the first approach is to split a single-ring structure into a multi-ring. For this purpose, it is necessary to build a network for one salesman. To do this, we introduce a fictitious item  $p-1$  with numbers  $n+2, n+3, n+p$ . We expand the matrix by adding a row  $p-1$  and a column  $p-1$  to it. Unlike [24], we will make the cost of transportation  $C = [c_{ij}]$  between the points entered in this network equal:

$$\begin{aligned} c_{i, n+j} &= c_{i, n+1}, \quad i = \overline{1, n+1}, \quad j = \overline{2, p}, \\ c_{n+i, j} &= c_{n+1, j}, \quad i = \overline{2, p}, \quad j = \overline{1, n+1}, \quad c_{n+i, n+j} = \infty, \\ & i, j = \overline{2, p}. \end{aligned} \quad (15)$$

After solving the TS with an extended cost matrix  $C = [c_{ij}]$  to obtain  $p$  routes, we combine all items with numbers large than  $n$ , in one item with a number  $n+1$  (13).

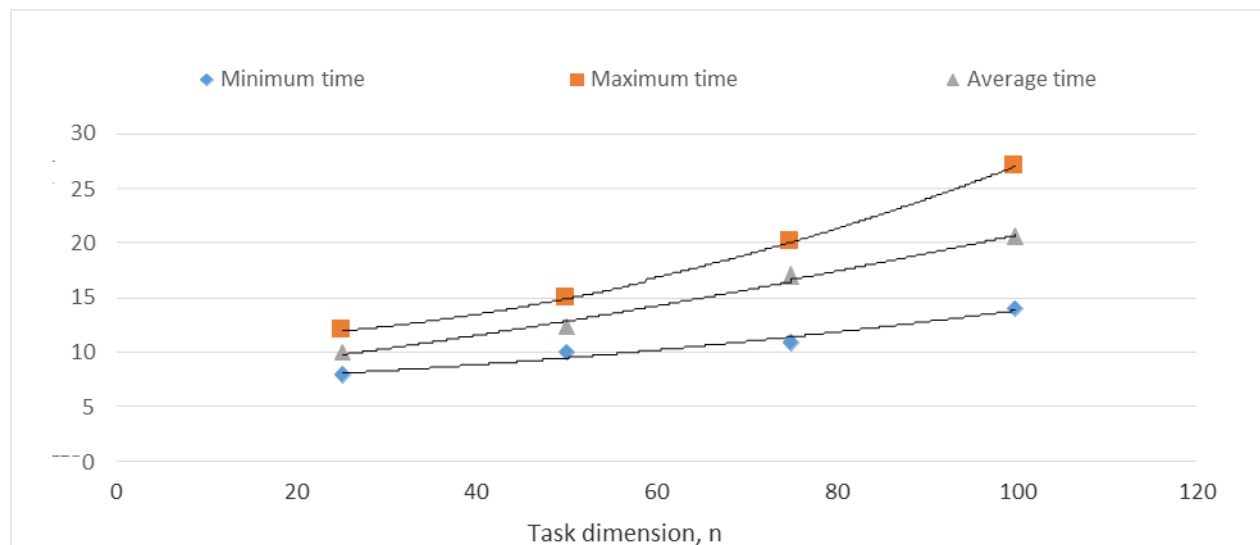
In the framework of the second approach, modifications of the Clark-Wright method [14–15] and a method using the idea of coordinate-wise optimization are proposed.

The essence of the modification of the Clark-Wright method consists in additional verification for each of the points of the obtained ring routes of restrictions (13) on vehicle loading. The proposed modification of the method has a relatively low time complexity; however, taking into account the constraints of the form (13) in it increases the error of the obtained solutions. Table 1 shows the results of an experimental study of the modification of the Clark-Wright method for solving sets of 10 problems with dimensions from 4 to 100 points (fig. 1).

Based on the results of the study, a polynomial time complexity estimate is obtained for a modification of the Clark-Wright method  $t[n] = 0,0004n^2 + 0,094n + 7,25$ .

**Table 1.** The results of an experimental study of the time complexity of the modification of the Clark-Wright method

Task dimension, $n$	Minimal decision time $t(n)$ , ms	Maximum decision time $t(n)$ , ms	Most frequent decision times $t(n)$ , ms	Average decision time $t(n)$ , ms
4	5	7	5	6,0
9	7	11	8	9,0
10	7	12	8	9,5
25	8	12	11	10,0
50	10	15	12	12,5
75	11	20	15	17,0
100	14	27	16	20,5



**Fig. 1.** Dependences of the time for solving the problem by the modified Clark-Wright method on its dimension

The essence of modifying the method based on coordinate-wise optimization is as follows. Fictitious points  $p$  which play the role of auxiliary points are located on the territory of the transportation. Subsets of elements included in one route are formed according to these points. The separation of points along the routes is carried out on a territorial basis within the  $p$  sectors relative to the base. As a criterion for assigning an object to a  $k$ -th route, it is proposed to use the minimum of the

function, which for a symmetric matrix of costs has the form:

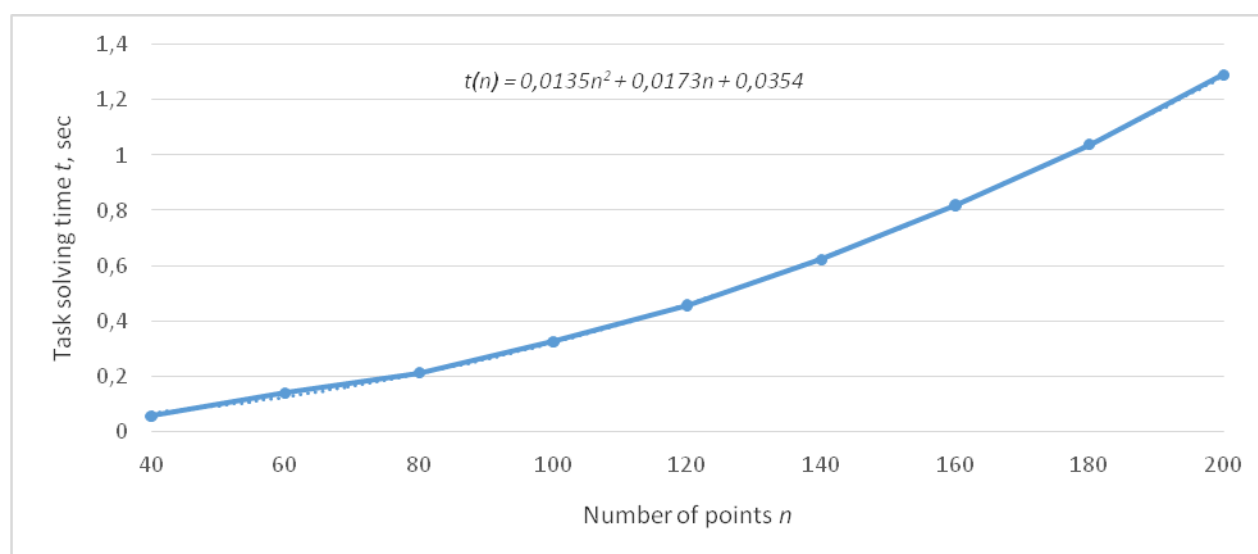
$$k^o = \arg \min_{1 \leq k \leq p} \{c_{n+1,k} + c_{k,i} + c_{i,n+1}\}. \quad (16)$$

Criterion (16) allows minimizing the cost of the cycle "base - route point - base" for the point included in the route.

The results of an experimental study of the modification of the method based on coordinate wise optimization are given in table 2 (fig. 2).

**Table 2.** Results of an experimental study of the time complexity of modifying a method based on a coordinate-wise optimization scheme

$n$	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$t(n), c$	0,055	0,138	0,211	0,324	0,456	0,621	0,818	1,038	1,291



**Fig. 2.** Dependences of the time for solving the problem modified on the basis of the coordinate-wise optimization scheme on its dimension

According to the results of solving 100 tasks, the average value of the relative error of the method using the

insertion scheme was  $\varepsilon = 0,024$ , and its maximum value was  $\varepsilon_{\max} = 0,168$ . Moreover, the relative error of 84% of

the solutions did not exceed 5%. The method has polynomial time complexity  $O[n^2]$ . The accuracy of the method can be improved by applying the multistart procedure, which involves multiple solutions to the problem with the choice of different places for the initial placement of fictitious auxiliary points.

### Conclusions

In the process of analyzing the problem of optimizing transportation routes in the closed logistics system, it was decomposed at the macro and micro levels. A systemological model of the problem has been developed, which reflects the whole complex of tasks that are solved at various stages of the life cycle of logistics systems. To improve the efficiency of closed logistics systems, a joint solution to the problems of network optimization for the transportation of direct product flows and return flows of containers, waste, defective products has been proposed. A mathematical model of the problem of structural and topological optimization of a three-level centralized network of closed micro-logistics routes for

global transportation has been developed. To solve such problems, methods using directed enumeration of options are recognized as effective. A mathematical model of the optimization problem for the network of closed micro-logistics routes for local transportation with the simultaneous transportation of the contents of the forward and reverse flows has been developed. To solve it, modifications of the Clark-Wright methods are proposed, as well as a method based on coordinate-wise optimization and insertion schemes. Based on the results of experimental studies of the proposed modifications of the methods, estimates of their time complexity are obtained. The obtained estimates will make it possible to predict the costs of computing and time resources in the practical use of methods for solving optimization problems of closed logistics networks.

The practical use of the proposed mathematical models and modifications of optimization methods for closed-loop logistics systems through the joint solution of problems for direct and reverse flows will reduce the cost of implementing transport activities of companies.

### References

1. Bowersox, D., Closs, D. (2017), *Logistical Management: The integrated supply chain process*, Trans. from Eng. 2nd ed. [Logistika: Integrirovannaya tsep' postavok, Per. s angl., 2-e izd.], Olimp-Biznes, Moscow, 640 p.
2. Govindan K., Fattahi M., Keyvanshokoh, E. (2017), "Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions", *European Journal of Operational Research*, Vol. 263, P. 108–141.
3. Pascual, C. P., Faustino, A. V. (2018), "Identification of Reverse Logistics Decision Types from Mathematical Models", *Journal of Industrial Engineering and Management*, No. 11 (2), P. 239–249.
4. Hurch, L., Khmara, L. (2014), "Development of "green logistics" in Ukraine" ["Rozvytok "zelenoyi lohistyky" v Ukrayini", *Bulletin of Lviv Polytechnic National University. Logistics*, No. 811, P. 86–91.
5. Chortok, Y. (2007), "Directions to reduce the negative ecological and economic impact of the logistics system" ["Napryamky znyzhennya nehatyvnoho ekoloho-ekonomichnoho vplyvu lohistychnoyi systemy"], *The mechanism of regulation of the economy*, No. 3, P. 165–172.
6. Lazarev, V., Kul'kova, Y. (2014), "Reverse logistics – the logistics of return and reverse flows" ["Reversivnaya logistika – logistika vozvratnykh i obratnykh potokov"], *Manager*, No. 5 (51), P. 48–51.
7. Pavlova, E., Mamedova, I. (2015), "Return commodity flows in logistics: causal relationships" ["Vozvratnye tovaropotoki v logistike: prichinnye svyazi"], *World of transport*, Vol. 13, No. 5, P. 124–131.
8. Smyrnov, I., Kosareva, T. (2013), *Transport logistics* [*Transportna lohistyka*], CUL, Kyiv, 224 p.
9. Iastremska, O. (2018), "Logistics at an enterprise: the peculiarities of procurement activities", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (5), P. 141–148. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.5.141>
10. Morozov, O. (2018), "Methods of forming of a hierarchical system of warehouses for servicing geographically dispersed consumers", *Control, navigation and communication systems*, No. 5 (51), P. 98–101. DOI: <https://10.26906/SUNZ.2018.5.09>
11. Beskorovaynyy, V., Imangulova, Z., Petrova, A. (2012), "Optimization of the number and location of distribution centers of the transport and storage system" ["Optimizatsiya kolichestva i mestopolozheniya raspredelitel'nykh tsentrov transportno-skladskoy sistemy"], *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 5/3 (59), P. 24–28.
12. Beskorovaynyy, V., Imangulova, Z. (2000), "Algorithms for optimizing the topology of ICS on a set of radial-node structures" ["Algoritmy optimizatsii topologii IVS na mnozhestve radial'no-uzlovykh struktur"], *Electronics and Informatics*, No. 2, P. 100–104.
13. Beskorovainyi, V., Podoliaka, K. (2015), "Reengineering the topological structure of large-scale monitoring systems", *ECONTECHMOD*, Vol. 4 (3), P. 13–18.
14. Prokopenkov, V., Kozhin, Y., Malykh, O. (2019), "Determination of the optimal ring route passing through a given set of points on the map" ["Opredelenie optimal'nogo kol'tsevogo marshruta, prokhodyashchego cherez zadannoe mnozhestvo punktov na karte"], *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No. 1 (7), P. 102–112.
15. Rogatkin, A., Zakharkina, M. (2016), "Optimization of motor transport routes: heuristic algorithms and the practice of logistics management" ["Optimizatsiya avtotransportnykh marshrutov: evristicheskie algoritmy i praktika logisticheskogo menedzhmenta"], *Moscow University Bulletin*, No. 1, P. 124–135.
16. Kostyuk, Y. (2013), "Effective implementation of the algorithm for solving the traveling salesman problem using the branch and bound method" ["Effektivnaya realizatsiya algoritma resheniya zadachi kommivoyazhera metodom vetvey i granits"], *Discrete applied mathematics*, No. 2 (20), P. 78–90.
17. Kosenko, V., Gopejenko, V., Persiyanova, E. (2019), "Models and applied information technology for supply logistics in the context of demand swings", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (7), P. 60–68. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.7.059>

18. Bezkorovaynyy, V., Mal'tseva, S., Kolodyazhnyy, O. (2018), "Optimization of supply chain networks in environmental logistics systems], *"Informatsiyni systemy ta tekhnolohiyi" IST-2018 : Materialy 7-yi Mizhnar. nauk.-tekhn. konf.*, Kobleve-Kharkiv, P. 163–166.
19. Beskorovaynyy, V. (2002), "Systemological analysis of the problem of structural synthesis of geographically distributed systems" ["Sistemologicheskyy analiz problemy strukturnogo sinteza territorial'no raspredelennykh system"], *Automated control systems and automation devices*, No. 120, P. 29–37.
20. Beskorovainyi, V., Berezovskyi, G. (2017), "Estimating the properties of technological systems based on fuzzy sets", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (1), P. 14–20. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.014>
21. Beskorovainyi, V. (2017), "Parametric synthesis of models for multicriterial estimation of technological systems", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No. 2 (2), P. 5–11. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.005>
22. Melamed, I., Sergeev, S., Sigal, I. (1989), "Travelling salesman problem. Theory basis" ["Zadacha kommivoyazhera. Voprosy teorii"], *Automation and telemechanics*, No. 9, P. 3–33.

Received 28.11.2019

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Безкоровайний Володимир Валентинович** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри системотехніки, Харків, Україна; email: [vladimir.beskorovainyi@nure.ua](mailto:vladimir.beskorovainyi@nure.ua); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7930-3984>.

**Бескоровайный Владимир Валентинович** – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры системотехники, Харьков, Украина.

**Beskorovainyi Vladimir** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor of the Department of System Engineering, Kharkiv, Ukraine.

**Куропатенко Олексій Вадимович** – Харківський національний університет радіоелектроніки, магістрант кафедри системотехніки, Харків, Україна; email: [cipher.kiddo@gmail.com](mailto:cipher.kiddo@gmail.com); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7765-2785>.

**Куропатенко Алексей Вадимович** – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, магистрант кафедры системотехники, Харьков, Украина.

**Kuropatenko Olexij** – Kharkiv National University of Radio Electronics, Master's Degree Candidate of the Department of System Engineering, Kharkiv, Ukraine.

**Гобов Денис Андрійович** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", старший викладач кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління факультету інформатики та обчислювальної техніки, Київ, Україна; e-mail: [gda1980@ukr.net](mailto:gda1980@ukr.net); ORCID: 0000-0001-9964-0339.

**Гобов Денис Андреевич** – кандидат технических наук, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", старший преподаватель кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления факультета информатики и вычислительной техники, Киев, Украина.

**Gobov Denys** – PhD (Engineering), National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Senior lecturer of the Department of Computer-Aided Management and Data Processing Systems of the Faculty of Informatics and Computer Science, Kyiv, Ukraine.

## ОПТИМІЗАЦІЯ МАРШРУТІВ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У СИСТЕМІ ЗАМКНЕНОЇ ЛОГІСТИКИ

**Предметом** дослідження в статті є мережі замкнутої логістики. **Мета** роботи – створення математичних моделей і методів вирішення завдань оптимізації маршрутів перевезень у системах замкнутої логістики з урахуванням множини топологічних і функціональних обмежень. У статті вирішуються наступні **завдання**: розробка системологічної моделі проблеми оптимізації маршрутів перевезень у системі замкнутої логістики; розробка математичної моделі задачі структурно-топологічної оптимізації тривірневої централізованої мережі маршрутів замкнутої мікрологістики для глобальних перевезень; розробка математичної моделі задачі оптимізації кільцевих маршрутів перевезень у системі замкнутої логістики для локальних перевезень; розробка методів оптимізації кільцевих маршрутів перевезень у системі замкнутої логістики. Використовуються такі **методи**: методи теорії систем, теорія графів, методи теорії корисності, оптимізації та дослідження операцій. Отримані такі **результати**: виконана декомпозиція проблеми оптимізації маршрутів перевезень у системах замкнутої логістики на макро- і мікрорівні; розроблена системологічна модель проблеми, що відображає весь комплекс завдань, що вирішуються на різних етапах життєвого циклу логістичних систем; для підвищення ефективності систем замкнутої логістики запропоновано спільне розв'язання задач оптимізації мереж для транспортування прямих потоків продукції та зворотних потоків; розроблена математична модель задачі структурно-топологічної оптимізації тривірневої централізованої мережі маршрутів замкнутої мікрологістики для глобальних перевезень. Для вирішення таких завдань ефективними визнані методи, які використовують спрямований перебір варіантів; розроблена математична модель задачі оптимізації мережі маршрутів замкнутої мікрологістики для локальних перевезень з одночасним транспортуванням вмісту прямого та зворотного потоків; для розв'язання задачі оптимізації мереж маршрутів замкнутої мікрологістики на рівні локальних перевезень з одночасним транспортуванням вмісту прямого та зворотного потоків запропоновані модифікації методів Кларка-Райта, а також методу на основі схем покоординатної оптимізації та вставки; експериментальні дослідження запропонованих модифікацій методів дозволили отримати оцінки їх часової складності. **Висновки**: Практичне використання запропонованих математичних моделей і модифікацій методів оптимізації систем замкнутої логістики за рахунок спільного розв'язання задач для прямих і зворотних потоків дозволить скорочувати витрати на реалізацію транспортної діяльності компанії. Отримані оцінки часової

складності методів оптимізації дозволять прогнозувати витрати обчислювальних і часових ресурсів при їх практичному використанні для розв'язання задач оптимізації мереж замкненої логістики.

**Ключові слова:** логістична мережа; мережі прямих і зворотних потоків; замкнена логістика; оптимізація мереж; системологічна модель.

## ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ ПЕРЕВОЗОК В СИСТЕМЕ ЗАМКНУТОЙ ЛОГИСТИКИ

**Предметом** исследования в статье являются сети замкнутой логистики. **Цель** работы – создание математических моделей и методов решения задач оптимизации маршрутов перевозок в системах замкнутой логистики с учетом множества топологических и функциональных ограничений. В статье решаются следующие **задачи**: разработка системологической модели проблемы оптимизации маршрутов перевозок в системе замкнутой логистики; разработка математической модели задачи структурно-топологической оптимизации трехуровневой централизованной сети маршрутов замкнутой микрологистики для глобальных перевозок; разработка математической модели задачи оптимизации кольцевых маршрутов перевозок в системе замкнутой логистики для локальных перевозок; разработка методов оптимизации кольцевых маршрутов перевозок в системе замкнутой логистики. Используются следующие **методы**: методы теории систем, теория графов, методы теории полезности, оптимизации и исследования операций. Получены следующие **результаты**: выполнена декомпозиция проблемы оптимизации маршрутов перевозок в системах замкнутой логистики на макро- и микроуровне; разработана системологическая модель проблемы, отражающая весь комплекс задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла логистических систем; для повышения эффективности систем замкнутой логистики предложено совместное решение задач оптимизации сетей для транспортировки прямых потоков продукции и обратных потоков; разработана математическая модель задачи структурно-топологической оптимизации трехуровневой централизованной сети маршрутов замкнутой микрологистики для глобальных перевозок. Для решения таких задач эффективными признаны методы, использующие направленный перебор вариантов; разработана математическая модель задачи оптимизации сети маршрутов замкнутой микрологистики для локальных перевозок с одновременной транспортировкой содержимого прямого и обратного потоков; для решения задачи оптимизации сетей маршрутов замкнутой микрологистики на уровне локальных перевозок с одновременной транспортировкой содержимого прямого и обратного потоков предложены модификации методов Кларка-Райта, а также метода на основе схем покоординатной оптимизации и вставки; экспериментальные исследования предложенных модификаций методов позволили получить оценки их временной сложности. **Выводы**: Практическое использование предложенных математических моделей и модификаций методов оптимизации систем замкнутой логистики за счет совместного решения задач для прямых и обратных потоков позволит сокращать затраты на реализацию транспортной деятельности компаний. Полученные оценки временной сложности методов оптимизации позволят прогнозировать затраты вычислительных и временных ресурсов при их практическом использовании для решения задач оптимизации сетей замкнутой логистики.

**Ключевые слова:** логистическая сеть; сети прямых и обратных потоков; замкнутая логистика; оптимизация сетей; системологическая модель.

### Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Безкорвайний В. В., Куропатенко О. В., Гобов Д. А. Оптимізація маршрутів перевезень у системі замкненої логістики. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2019. № 4 (10). С. 24–32. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.024>.

Beskorovainyi, V., Kuropatenko, O., Gobov, D. (2019), "Optimization of transportation routes in a closed logistics system", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 24–32. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.024>.

K. VASYUTA, F. ZOTS, I. ZAKHARCHENKO

## BUILDING THE AIR DEFENSE COVERT INFORMATION AND MEASURING SYSTEM BASED ON ORTHOGONAL CHAOTIC SIGNALS

The **subject matter** of the paper is a covert information and measuring system based on orthogonal chaotic signals. The **goal** of the work is to synthesize a covert information measuring system built on the basis of orthogonal chaotic signals. The **tasks** to be solved included assessing the potential for organizing multi-channel capacity using chaotic carriers; studying the ways of application of chaotic signals in the wireless systems of data transmission; synthesizing the general structure of MIMO radar system based on the orthogonality of chaotic signals. General scientific and special research **methods** were used while conducting the research, in particular, the system analysis and mathematic modelling. The following **results** were obtained. The concept of building a net-centric multi-radar information measuring system (MIMS) on the basis of the specific properties of chaotic signals (processes) is proposed in the paper. It is shown that the use of orthogonal chaotic signals for detecting air targets and transmitting information about them increases noise immunity, resolution characteristics and transmission capacity; enables providing electromagnetic compatibility and separating information-detecting and transmitting channels. MIMS block diagram is synthesized. **Conclusions.** Specific properties of chaotic signals make it possible to apply them to build data transmissions systems according to the MIMO principle and multichannel radars. Based on chaotic signals, a multiradar information measuring system can be built. The above techniques can be implemented to build a network of unattended radars as well as in multichannel communication systems. They can be applied to control air traffic and can be used in the air defence net-centered systems to create common covert information and telecommunication space.

**Keywords:** chaotic signals; signal-code sequence; MIMO-technology; information-measuring system.

### Introduction

The transition from a top-down vertical control system to global net-centric control systems on the basis of information measuring systems enable comprising the networks of control, reconnaissance and telecommunication, the combat networks of high-precision weapons, that operate on a real time, which allows the troops to act much faster and more efficiently [1].

Such nets can be built using new types of complex signals [2, 3], on the basis of new technologies of signal and data digital processing [4] as well as on unconventional ways of coordinate-time support and synchronization while interchanging among these nets at the signal and information levels.

Signals applied in such nets should ensure high noise immunity and resolution characteristics, sufficient transmission capacity, the capability of organizing multiple data transmitting channels and electromagnetic compatibility. The shape of these signals determines the operational security of the information measuring system.

### The analysis of recent studies and publications

The discovery on the possibility of synchronizing two sources of chaotic oscillations made by L.Pecora and T. Carrol resulted in the use of chaotic signals for telecommunication systems. The possibility of synchronizing irregular oscillations became the basis for the assumption that chaotic oscillations can be used as carriers of information messages (chaotic carriers). The properties of chaotic carriers are rather well described in the literature [5-19], etc., where the authors show that chaotic oscillations can be found in various nonlinear

dynamic systems since chaotic signals, as information carriers, have a number of unique properties that distinguish them from traditional information carriers, and offer various approaches to the transmission of information on a chaotic carrier. The possibility of organizing covert (confidential) communications is of particular interest in systems with a chaotic carrier. However, the use of chaotic signals to build a covert information-measuring system for air defense purposes has a number of specific features.

Thorough attention to the specified issues has determined the goal of this paper that is to synthesize a covert information measuring system built on the basis of orthogonal chaotic signals.

### The discussion of the results of the study

Assessing the multi-channel potentiality using chaotic signals

The quantitative assessment of the multi-channel potentiality using chaotic signals will be carried out by mathematical modelling of the correlation reception of a chaotic signal that is in the group signal which includes  $N$  chaotic implementations:

$$S(t) = \sum_{i=1}^N x_i(t), \quad (1)$$

where  $S$  is a mixture of chaotic oscillations being observed;  $x_i$  is the implementation of a chaotic signal that corresponds to the  $i$ -th channel of data transmission from  $N$  probable ones.

To generate chaotic processes, Chebyshev mapping of the 1<sup>st</sup> type of 3<sup>rd</sup> order is used:

$$x_{n+1} = 4(x_n)^3 - 3x_n \tag{2}$$

Initial conditions  $x_0$  y in mapping (2) were given within the interval  $x_0 \in (0;1)$ . The initial conditions were selected sequentially by the following expressions:

$$x_i = 0.1 \cdot i \quad i = 1 \dots 9; \tag{3}$$

$$x_i = 0.01 \cdot i \quad i = 1 \dots 99; \tag{4}$$

$$x_i = 0.001 \cdot i \quad i = 1 \dots 999 \tag{5}$$

For the quantitative comparison of the correlation functions obtained under different initial conditions, the concept of the coefficient is introduced

$$K_{CF} = \frac{\max\{CF_{\tau \neq 0}\}}{CF_{\tau=0}}, \tag{6}$$

where  $CF_{\tau=0}$  is the readout of the correlation function of chaotic processes that are compared when one implementation is shifted relative to the other one at  $\tau = 0$ ;  $\max\{CF_{\tau \neq 0}\}$  is the maximum value of the readout of the correlation function at  $\tau \neq 0$  (fig. 1).

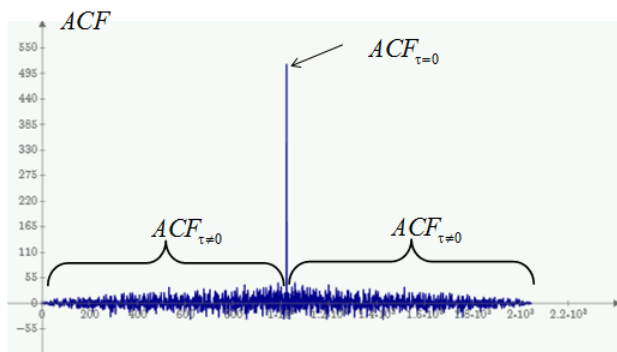


Fig. 1. Autocorrelation function of chaotic oscillations for Chebyshev mapping of the 1<sup>st</sup> type of 3<sup>rd</sup> order

The correlation function given in fig. 1 can be presented as follows (fig. 2).

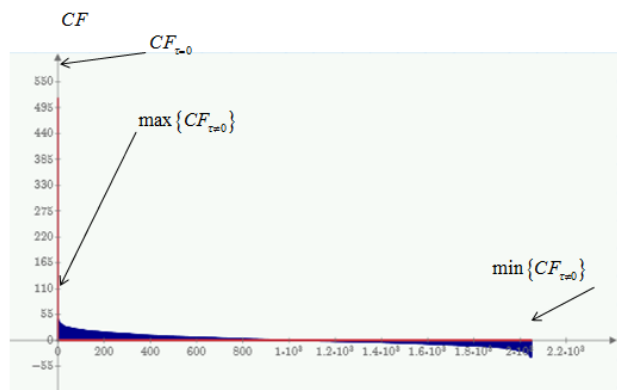


Fig. 2. The correlation function of two chaotic oscillations after conversion

It looks like this after all readouts  $CF_{\tau \neq 0}$  have been ranked in the descending order from  $\max\{CF_{\tau \neq 0}\}$  to  $\min\{CF_{\tau \neq 0}\}$ . The coefficient  $K_{CF}$  will lie within the interval  $K_{CF} \in (-\infty; \infty)$  is  $\max\{CF_{\tau \neq 0}\} \neq 0$ . The correlation function is considered as satisfactory if  $K_{CF} < 0.5$ , that is if the value  $\max\{CF_{\tau \neq 0}\}$  is not greater than half of the value  $CF_{\tau=0}$ .

Then, a group chaotic signal consisting of a mixture of chaotic implementations was modelled according to the expression (1) where there was no additive noise. A number of chaotic implementations  $N$  in the mixture changed from 1 to 179.

		j																																																																																																																																						
		0.087	0.143	0.156	0.186	0.219	0.233	0.222	0.246	0.265	0.323	0.342	0	0.131	0.175	0.199	0.175	0.216	0.264	0.272	0.245	0.269	0.291	0	0	0.138	0.154	0.175	0.212	0.227	0.238	0.262	0.342	0.398	0	0	0	0.182	0.215	0.232	0.253	0.276	0.244	0.24	0.253	0	0	0	0	0.241	0.236	0.258	0.304	0.338	0.347	0.399	0	0	0	0	0	0.243	0.275	0.262	0.315	0.281	0.282	0	0	0	0	0	0	0.278	0.301	0.312	0.273	0.321	0	0	0	0	0	0	0	0.229	0.288	0.309	0.337	0	0	0	0	0	0	0	0	0.28	0.312	0.291	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.293	0.289	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.278	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
res2 =																i																																																																																																																								

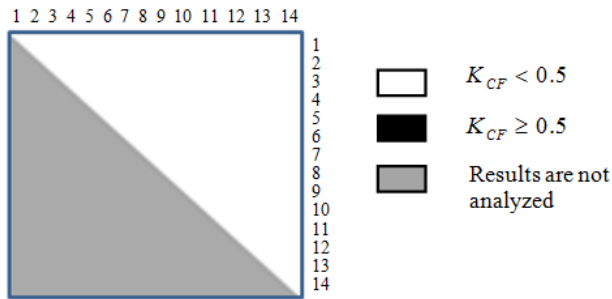
Fig. 3. A fragment of the matrix of correlation reception coefficients

The elements of the matrix are the values of correlation reception coefficients  $K_{CF(i,j)}$ , where  $i$  is the reference value of the chaotic implementation,  $j$  is a number of chaotic implementations in a group signal ( $j = 1 \dots N$ ).

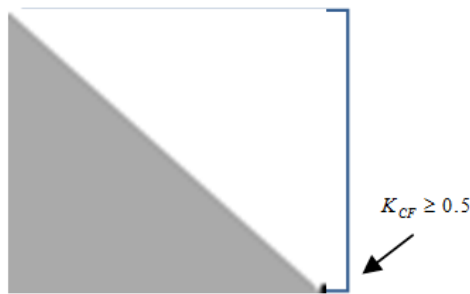
The results of the correlation reception of the separate chaotic process  $n$  in a group signal that consists of  $N$  chaotic implementations ( $N$  channels) with a fixed number of discrete readouts of a signal are represented as a matrix of correlation reception coefficients  $K_{CF}$  (fig. 3). Since the order of the chaotic implementations in a group signal does not matter, the matrix has a triangular shape. To make the visual analysis of the coefficient matrix  $K_{CF(i,j)}$  easier in general, especially when the dimension of the matrix is large, it should be presented graphically, where the elements of the matrix whose values are greater than 0.5 are presented in black, if the values are less than 0.5 – in white, zero elements (which are not analyzed) are presented in grey.

When a number of implementations in a group signal ( $N=15$ ) but a number of readouts remain the same (1024), there appear black colour in the matrix (fig. 5), that means that satisfactory correlation reception, in this case, becomes impossible.

Fig. 4 shows the results of correlation reception of separate chaotic oscillations in the group signal with 14 chaotic implementations with 1024 discrete readouts ( $N=14$ ).

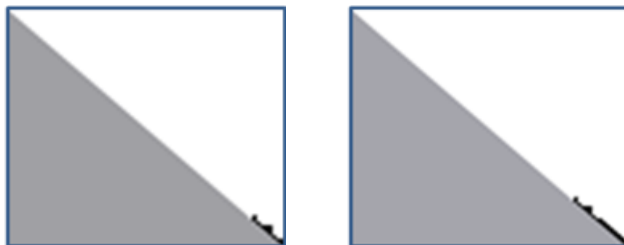


**Fig. 4.** The graphical matrix of the quality of the correlation reception of separate chaotic oscillations in the group signal with 14 chaotic implementations with 1024 discrete readouts



**Fig. 5.** The graphical matrix of the quality of the correlation reception of individual chaotic implementations from the group signal ( $N = 15$ ) for 1024 discrete readouts

When a number of implementations  $j$  in a group signal continues to increase, the quality of the matrix becomes worse. Fig. 5 shows such a matrix when  $N = 21$  and  $N = 26$ .



**Fig. 6.** The graphical matrix of the quality of the correlation reception of separate chaotic implementations from the group signal at  $N = 21$ ,  $N = 26$  for 1024 discrete readouts

For further increasing a number of implementations  $N > 14$  in a group signal and a number of channels respectively, a number of discrete readouts of chaotic implementations should be increased (greater than 1024).

It should be noted that the increase of a number of readouts of chaotic implementations is limited by the capabilities of digital analogue transducers. Therefore, additional methods for increasing a number of data transmission channels should be found. For this purpose, the orthogonal properties of chaotic realizations in vector space are considered in details. Two vectors in multidimensional space are known to be orthogonal if scalar product is zero [20].

$$\mathbf{X}_i \bullet \mathbf{X}_{i+1} = 0 \quad (7)$$

Let the orthogonality of the obtained group of chaotic realizations be checked. To do this, the scalar products among all probable combinations of pairs of vectors (chaotic realizations) are calculated. The obtained results are presented graphically in fig. 7, where the scalar product  $\mathbf{X}_i \bullet \mathbf{X}_{i+1} \neq 0$  is presented in black,  $\mathbf{X}_i \bullet \mathbf{X}_{i+1} = 0$  – in white, сірим – results that are not analyzed are presented in grey.



**Fig. 7.** The graphical matrix of scalar products between pairs of vectors of chaotic implementations

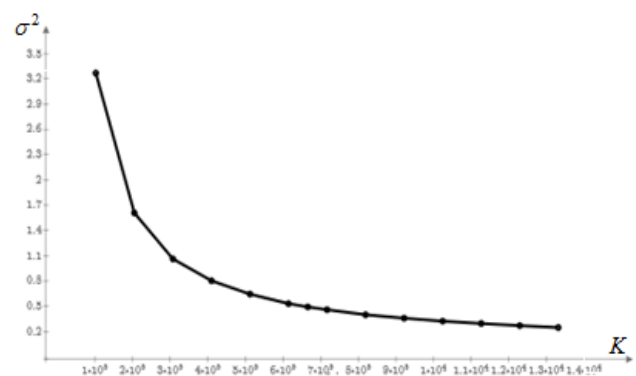
The analysis of fig. 7 shows that chaotic signals are not orthogonal, that is, the value of angles between the pairs of vectors (chaotic implementations) is not 900.

The values of angles among all probable pairs of vectors (chaotic implementations) for a group signal ( $N = 179$ ) was calculated by the expression:

$$\phi = \arccos \left( \frac{\bar{a} \cdot \bar{b}}{|\bar{a}| \cdot |\bar{b}|} \right) \quad (8)$$

where  $b$  is vector  $\mathbf{X}_i$ ,  $a$  is vector  $\mathbf{X}_{i+1}$ ,

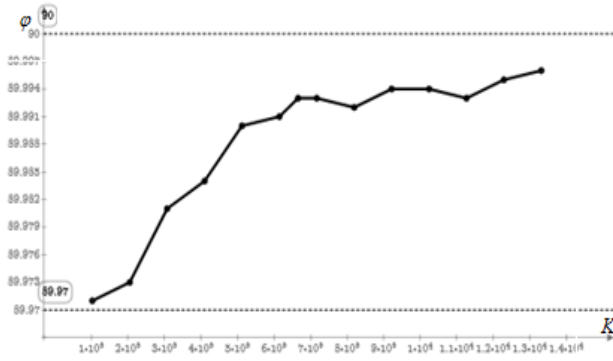
Fig. 8 shows the angle dispersion graph  $\sigma^2$  among all pairs of vectors for various numbers of readouts of chaotic implementations ( $K$ ).



**Fig. 8.** The dispersion of angles between pairs of chaotic realizations for different numbers of readouts  $K$

The graph shows that when a number of discrete readouts of chaotic implementations increases, the dispersion decreases.

Fig. 9 shows the average values of angles between the pairs of vectors for various numbers of discrete readouts.



**Fig. 9.** The value of the average value of the angles between pairs of chaotic implementations for various numbers of readouts  $K$

It is seen that the angles between vectors are not  $90^0$  although are close to this value. That means that chaotic implementations are quaziorthogonal.

To increase a number of chaotic implementations in a group signal, they should be orthogonalized by one of the known methods. Work [20] suggests using Gram-Schmidt algorithm, which points that on the basis of a set of linear independent vectors  $a_1...a_N$ , a set of orthogonal vectors  $b_1...b_N$  is built, where each vector  $b_j$  can be represented by the linear combinations of vectors  $a_1...a_j$ . To perform this operation, the project operator is introduced:

$$Pr\ og_b a = \frac{\langle a, b \rangle}{\langle b, b \rangle} \cdot b, \tag{9}$$

where  $\langle a, b \rangle$  is the scalar product of vectors  $a$  and  $b$ . The procedure of orthogonalization is as follows:

$$a_1 = b_1; \tag{10}$$

$$b_N = a_N - \sum_{j=1}^{N-1} Pr\ og_{b_j} a_N. \tag{11}$$

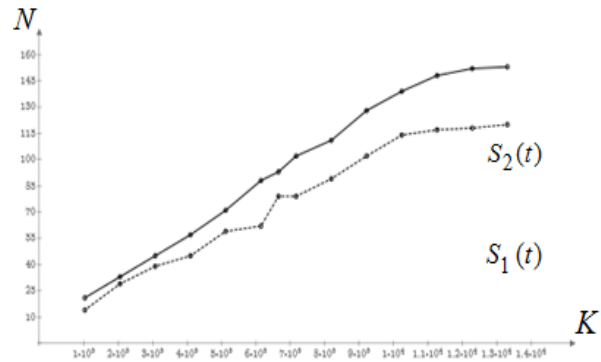
Fig. 10 shows the results of the use of the Gram-Schmidt orthogonalization of a group of chaotic implementations obtained by the expression (4) at  $N = 179$ .



**Fig. 10.** The graphical matrix of scalar products between pairs of vectors of chaotic implementations after orthogonalization

After that, the correlation reception of the separate chaotic process  $n$  from the mixture  $N$  of orthogonal chaotic implementations was modelled. ортогональних хаотичних реалізацій. The correlation reception of 14

chaotic implementations in a group signal, where there are 1024 readouts, was modelled at first. It was found that satisfactory reception of 15 chaotic implementations without increasing a number of readouts is impossible. After that, the procedure of orthogonalization was performed, which enabled increasing a number of received chaotic implementations up to 21. Later, discrete readouts increased up to 1024 every time when the procedure of orthogonalization became inefficient. The maximal number of discrete readouts when modelling was limited by PC computing capabilities was 13312; this enabled the correlation reception of 120 chaotic implementations in a group signal without orthogonalization.



**Fig. 11.** The dependence of a number of chaotic implementations in a group signal on a number of discrete readouts to  $S_1(t)$  and after  $S_2(t)$  orthogonalization

Orthogonalization enabled ensuring the satisfactory correlation reception of 153 chaotic implementations.

Fig. 11 shows the curves that represent the changes of the maximal number of chaotic implementations in a group signal to  $(S_1(t))$  and after  $(S_2(t))$  orthogonalization for the various number of signal discrete readouts. Graphs show that orthogonalization enables increasing a number of chaotic implementations in a group signal, in other words – increasing a number of data transmission channels.

Further studies should be carried out to increase the bandwidth capacity of data transmission systems by creating chaotic signal constellations.

### The formation of chaotic signal-code constructions

In particular, their quaziorthogonal properties enable organizing the code division of chaotic sequences in a group signal. But the task of designing signal constellations and signal – code constructions, using chaotic signals, is not sufficiently investigated [21]. The traditional approach to the transmission of chaotic signals involves the formation of two chaotic sequences  $x_1(t) - "0"$ ,  $x_2(t) - "1"$  for the sequential transfer of bit streams. The property of the quaziorthogonality of chaotic signals enables making a transition from sequential transmission to parallel transmission. This enables reducing the time of the message transmission in  $m$  times.

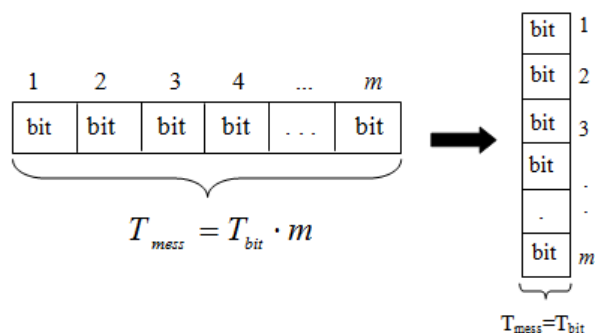


Fig. 12. Transition from sequential to parallel bit transmission

To do this, each bit is transmitted by a separate sequence of the chaotic process, orthogonal to one from the set  $m$ . Thanks to the parallel transmission, all bits are received at the same time, therefore the order of their follow-up cannot be distinguished. To eliminate this disadvantage, it is proposed to generate separate chaotic sequences specific to "0" and "1" in the corresponding position in the message. The initial value  $x_{ij}$  of the formation of the chaotic sequences (fig. 13) is a code that uniquely indicates the direct value of the bit ("0" or "1") and simultaneously indicates the "location" of each bit in the sequence (its serial number).

The informational message, formed in this way, is a superposition of chaotic sequences, duration  $T_{bit}(1)$ .

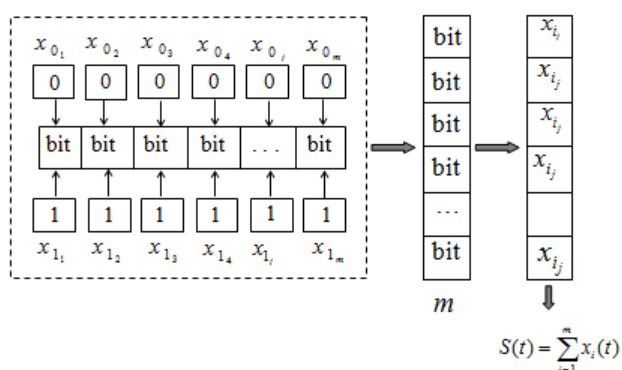


Fig. 13. The coding scheme of bit sequence using the initial values of chaotic sequences

The rule for selecting the initial values for generating chaotic sequences is given in table 1.

Table 1. The rule for selecting the initial values

Bit	Initial values $x_{ij}$ (code) to generate chaotic sequences in accordance with the order of binary symbols						
	1	2	3	4	5	...	m
"0"	$x_{01}$	$x_{02}$	$x_{03}$	$x_{04}$	$x_{05}$	$x_{0i}$	$x_{0m}$
"1"	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$x_{1i}$	$x_{1m}$

where  $x_{ij}$  is the initial value,  $i$  is the value of a binary symbol ("0" or "1"),  $j$  is a serial number in the sequence.

In the receiving side, to make a decision about the value of the bit for each position of the received message

two hypotheses should be checked:  $H_{0j}$  – the presence of "0" and  $H_{1j}$  – the presence of "1" on the position in the message. The presence of other  $m-1$  bits in the message leads to errors in making a decision in the general case of non-orthogonality of chaotic sequences.

To separate each of the  $m$  signals on the receiving side,  $m$  decision devices (fig. 14) are necessary.

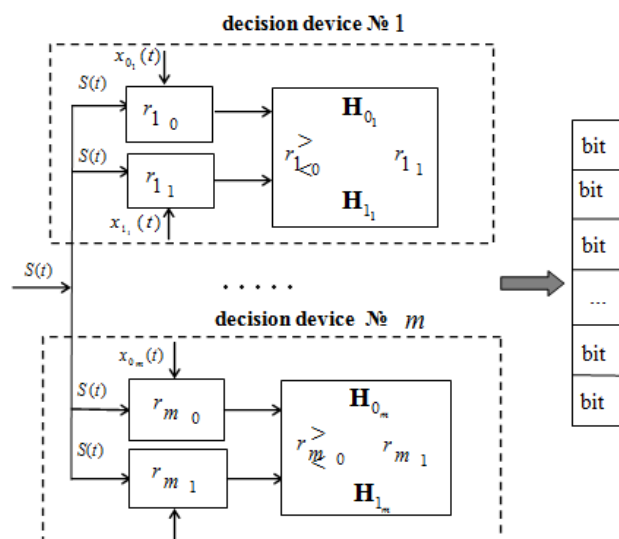


Fig. 14. The scheme of signal separation on the receiving side

The decision is made by calculating the Pearson correlation coefficient between the sequence from the receiver input  $S(t)$  (1) and each of the standard chaotic sequences with the code  $x_{0j}$  and  $x_{1j}$  for the  $m$ -s decision device. The Pearson correlation criterion is a statistical parametric method for determining the degree of correlation between two variables.

The obtained correlation coefficients are compared with each other. Depending on which value the coefficient is greater, the hypothesis  $H_{0j}$  is accepted – the presence of "0" on the  $j$ -s position or  $H_{1j}$  – the presence of "1" on the  $j$ -s position. As a result of the selected hypotheses, the parallel sequence of bits of the received message in the  $m$  outputs of the decision devices is obtained.

Mathematical modeling of the data transmission system using the proposed method was carried out in the work. As a carrier, chaotic sequences, obtained by the modified Chebyshev mapping (2) is considered.

The chaotic mode for the modified Chebyshev mapping is observed at an alpha value:

$$-1.00 < \alpha < -0.78 \quad (14)$$

$$0.78 < \alpha < 1.00 \quad (15)$$

and at the initial value

$$0.78 < \alpha < 1.00 \quad (16)$$

It should be noted that the general disadvantage of chaotic signals obtained with any kind of mappings is their low structural secrecy. The reason for this is

structured phase portraits or attractors that are images of chaotic signals in the pseudophase space. Traditional methods for determining energy and structural secrecy usually do not use the specific properties of attractors.

The messages transmission in a parallel way enables providing the structural secrecy of the chaotic signals that are used for transmission. A group chaotic signal, represented by a sum of 5 or more chaotic signals, has a phase portrait similar to the white noise portrait. Nonparametric methods (BDS-statistics) [19-22] do not determine the ordering and regularities between the points of the attractor of such signal.

The specific values of the control parameter and the initial values for generating chaotic sequences are conveniently graphically represented as the points of the signal constellation (fig. 15), where the axis of the abscissa denotes  $x_0$ , the axis of the ordinate denotes  $\alpha$ .

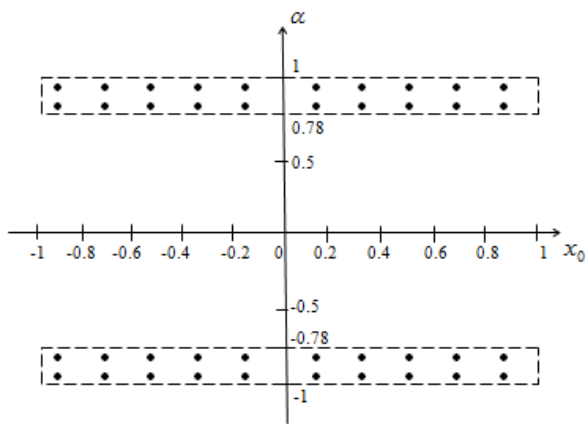


Fig. 15. Chaotic signal constellation

The group chaotic signal  $m$  bits long corresponds to a code combination of  $m$  points of a chaotic signal constellation, in accordance with Table 1 of the initial values.

Fig. 16 shows bit error ratio for the parallel transmission of messages using a chaotic sequences obtained by a modified Chebyshev mapping, at  $K = 50, 100, 150$  discrete signal samples.

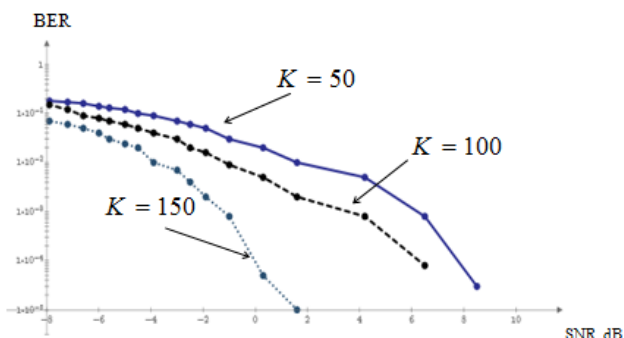


Fig. 16. Bit error ratio for the parallel transmission of messages using chaotic sequences obtained by a modified Chebyshev mapping at  $K = 50, 100, 150$  discrete signal samples

In order to increase bit error ratio, an orthogonalization of chaotic sequences that were part of a group signal was carried out. For these purposes, the

Gram-Schmidt orthogonalization procedure [23] was carried out.

Fig. 17 shows bit error ratio for the parallel transmission of messages for orthogonal chaotic sequences based on the modified Chebyshev mapping at  $K = 50, 100, 150$  discrete samples.

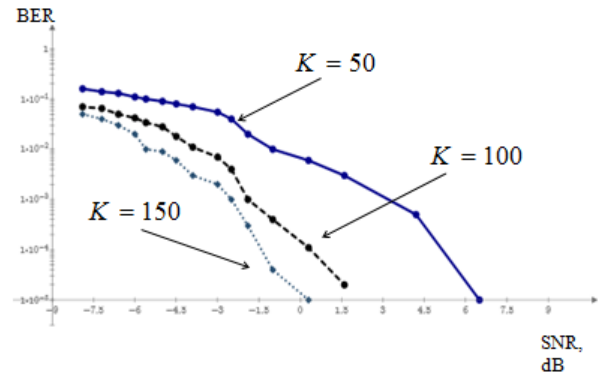


Fig. 17. Bit error ratio for the parallel transmission of messages using orthogonal chaotic sequences obtained by a modified Chebyshev mapping and the Gram-Schmidt orthogonalization procedure at  $K = 50, 100, 150$  discrete signal samples

The use of noiseless coding is one of the most efficient ways to increase the reliability of receiving messages and reduce the probability of errors to some acceptable level. To do this, it is proposed to add control bits to the parallel bit packet. Additional orthogonal chaotic sequences are formed for their transmission in accordance with table 1.

Applied the Gram-Schmidt orthogonalization procedure can increase the reliability of receiving messages and provide a gain of about 1.5–2 dB for  $P_{er} = 10^{-5}$ , compared to the use of chaotic sequences without the orthogonalization procedure. In order to increase the structural secrecy of the formed group chaotic signal, which consists of more than 5 chaotic sequences, it is impractical to apply the methods of destroying the phase portrait, since the phase portrait of such a signal looks like a phase portrait of the white noise. The rejection of these methods will simplify algorithms for processing the group chaotic signal

### Chaotic signals in wireless data transmission systems

At the moment, a large number of ways to use chaotic signals for data transmission have been proposed. However, chaotic signals (processes) used in such systems have structured (ordered) attractors (phase portraits) that distinguish them from noise.

In turn, the degree of the structuring of the attractor of a chaotic process determines its covertness.

When a third-party observer applies modern methods of nonlinear analysis [19], the probability of correct classification of observation (white noise or chaotic process) increases and the potential covertness of a chaotic signal decreases to the level caused by the noise of its observation. Therefore, to increase the covertness of a chaotic process, its attractor should be complicated, i.e. the degree of its structuring should be reduced.

Among the various possibilities of complicating the attractor of a chaotic process, the method of signal complexity by frequency filtering the chaotic carrier proposed in [24] can be distinguished. The analysis of the work shows that the attractor of a filtered chaotic signal is similar to the white noise attractor, which increases its covertness.

It should also be noted that the use of chaotic signals (processes) leads to the expansion of the spectrum of a transmitted signal and, as a result, to a decrease in the speed of information transfer when the bandwidth of the communication signal is limited. However, this problem is solved by applying the MIMO technology to a chaotic carrier [25] due to the implementation of a set of chaotic signals with various initial formation values.

### Chaotic signals in radar systems

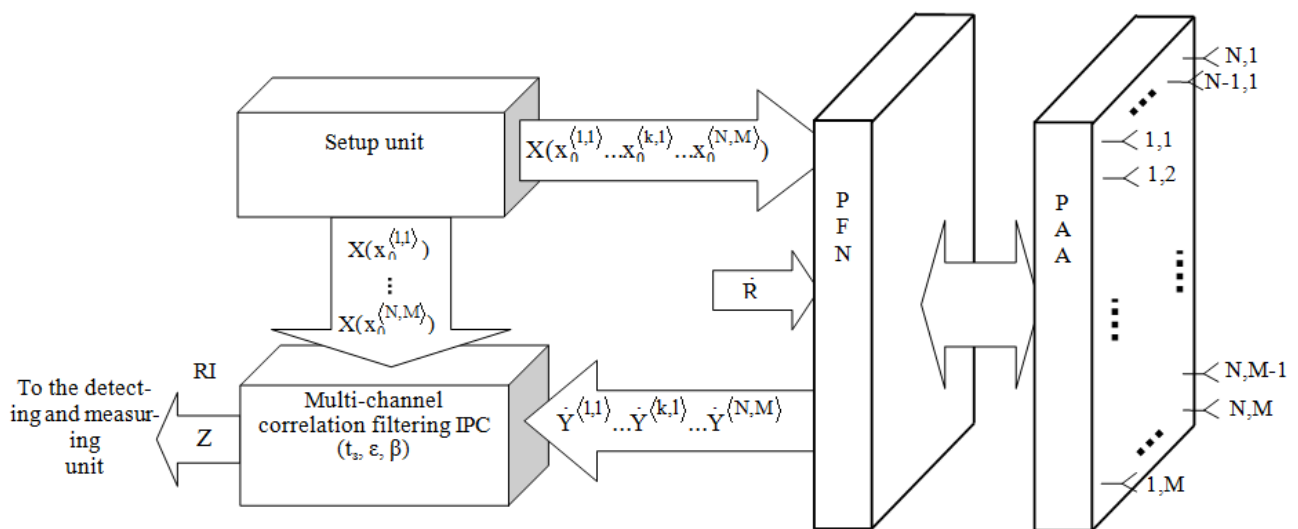
One of the promising ways of radar systems (RS) development is RS MIMO that have a number of advantages [26–28]. However, one of the problematic issues in building RS MIMO is channel division. Nowadays in RS MIMO, like in communication systems, frequency code and phase-shift signals. It is known that the diversity of code signals is limited, which, in the nearest future, will not enable ensuring the channel division of numerous radio electronic means (REM) within the limited frequency range. The above studies

show that chaotic signals are high sensitive to initial values while being formed; this feature enables forming a set of orthogonal chaotic signals in measuring systems. Due to this, when building an RS MIMO for channel division, orthogonal chaotic signals can be used, which also enables ensuring the electromagnetic compatibility (EMC) of different REMs on neighboring positions.

Based on the above feature of the orthogonality of chaotic signals, the general structure of such an RS MIMO is synthesized below; its diagram is given in fig. 18.

A setup unit (signal processor) is designed to form a set of chaotic radio pulses  $X(x_0^{(k,l)})$  with various initial values  $x_0^{(k,l)}$ . Signals formed by the set up unit are amplified to the required power and fed to the pattern-forming circuit (PFC) as sounding signal and to the multi-channel information processing circuit (IPC) as expected signals. PFS implements the necessary variant of the space scanning. Signals in each beam are processed by multi-channel correlation filtering IPC.

The algorithm of radar information processing is synthesized in one channel, which corresponds to the given direction either in azimuth or elevation. In general, signals will be considered at the  $NM$  input, that is, elemental, flat, equally spaced phased array antenna (PAA) ( $N$  is a number of elementary emitters horizontally,  $M$  is a number of elementary emitters vertically (fig. 18).



**Fig. 18.** The block diagram of the radar MIMO with the use of orthogonal chaotic carriers

Let signal  $y_{n,m}$  received by the elemental emitter ( $n \in 1 \dots N$  is the number of the emitter in the line,  $m \in 1 \dots M$  is the number of the emitter in the column) be represented as discrete values of a continuous signal taken through the sampling period  $\Delta t = \frac{1}{2f_{\max}}$ , where  $f_{\max}$  is the maximum frequency in the signal spectrum. Complex oscillation amplitudes  $\dot{y}_{n,m}$  received by  $n, m$  elements of PAA are subject to weighted summation in PFS, where at the output complex oscillation amplitudes  $\dot{Y}^{(k,l)}$  are formed in  $k, l$  st spatial channel (partial beam) in the

general case  $k \in 1 \dots N, l \in 1 \dots M$ .

$$\dot{Y}^{(k,l)} = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \dot{y}_{n,m} \dot{R}^{(k,l)} \quad (12)$$

where  $\dot{R}^{(k,l)}$  is the  $k, l$  elements of the weight matrix  $\dot{R}$ . The specific values of the weight matrix are determined on the basis of a given width of the directional pattern of partial rays and their orientation in space with an acceptable level of side lobes. Thus, spatial signal processing is carried out in PFC, which is built on the basis of the known orthogonal Hadamard, Fourier

transformations, and so on. There is a set of time readouts  $\dot{Y}^{(k,l)}$  at the output of every beam (12).

Later, the processing in each receiving channel is the same, only the expected signal  $\dot{X}(x_0^{(k,l)}, t_s, F_D)$  differs. That meant that a bidirectional PAA emits and receives an orthogonal chaotic signal with its initial value  $x_0^{(k,l)}$  in the given direction.

The indicators  $k, l$  that determine the number of a spatial channel ( $\dot{Y}^{(k,l)} \rightarrow \dot{Y}$ ) are omitted for the sake of simplicity. Thus, further processing is not different from the traditional correlation processing of a chaotic signal, which is considered in [3] amid the reception under the white noise.

$$Z(t_s, F_D) = \frac{1}{2} \left| \int_{-\infty}^{\infty} \dot{Y}(t) \dot{X}^*(x_0, t-t_s, F_D) dt \right| \quad (13).$$

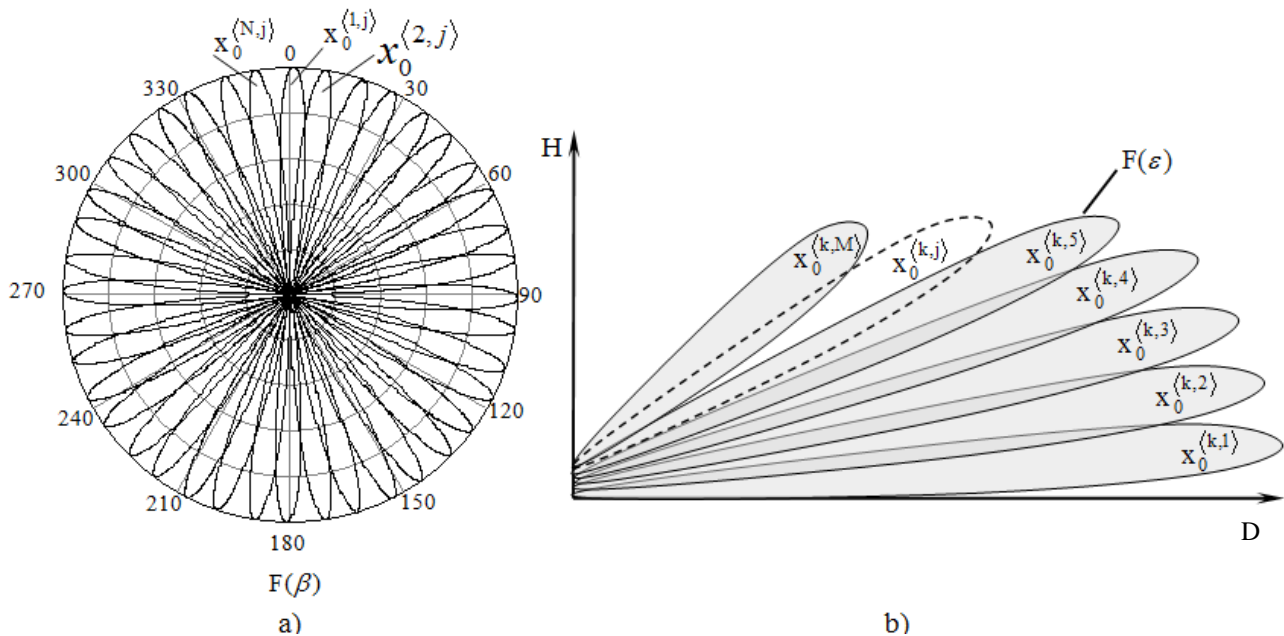
For the discrete values of complex oscillation amplitudes  $\dot{Y}$  at the PFS output, when a discrete values is  $l$ ,  $t = i\Delta t$ ,  $t_s = j\Delta t$  and when the integral is changed for the sum in (2), the below expression is obtained:

$$Z_j(F_D) = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^l \dot{Y}_i \dot{X}_{i-j}^*(x_0, F_D) \right| \quad (14).$$

The formed values of the module of the weighted sum (14) on the detection device (comparison with the threshold) and measurement are presented in fig. 18.

Since the flat PAA enables proving parallel scanning of the space only in the specified sector in azimuth, several such PAA or a cylindrical one should be applied to scan the space simultaneously in all azimuth directions.

The variant of scanning the space with the use of a cylindrical PAA is given in fig. 19.



**Fig. 19.** The directional pattern of the cylindrical phased array antenna a) in the azimuth plane; b) in the elevation plane

Fig. 19 a) shows the antenna directional pattern (ADP)  $F(\beta)$  in the azimuth plane ( $\beta$ ) and fig. 19 b) shows the ADP  $F(\varepsilon)$  in the elevation plane ( $\varepsilon$ ), where a chaotic signal with its  $x_0^{(k,l)}$  is emitted in corresponding directions. This approach enables implementing simultaneous multichannel scanning of space.

Thus, the above analysis enables synthesizing a multiradar information-measuring system (MIMS) (fig. 20).

MIMS consists of RS MIMO positions that generate chaotic signals with various initial values  $x_0, y_0, z_0, \xi_0, s_0$ . This enables developing the necessary number of measuring and information channels. The RS MIMO creates detection areas by multi-channel space scanning (fig. 20). The radar information received from radar positions is fed to the server through wireless channels of communication using data transmitting equipment at a set

of chaotic carriers  $x_0^k, y_0^k, z_0^k, \xi_0^k, s_0^k$ . The radar information is processed with the help of the server which is a part of a more global information network. Users can obtain information using both wireless and wire communication channel.

## Conclusions

Thus, the above properties of chaotic signals enable applying them to build data transmissions systems on the MIMO principle and multichannel radars. This enables building a multiradar information measuring system based on chaotic signals. The above techniques can be implemented to build a network of unattended radars, can be used in multichannel communication systems and to control air traffic, can be used in the air defence net-centered systems to create the common covert information and telecommunication space.

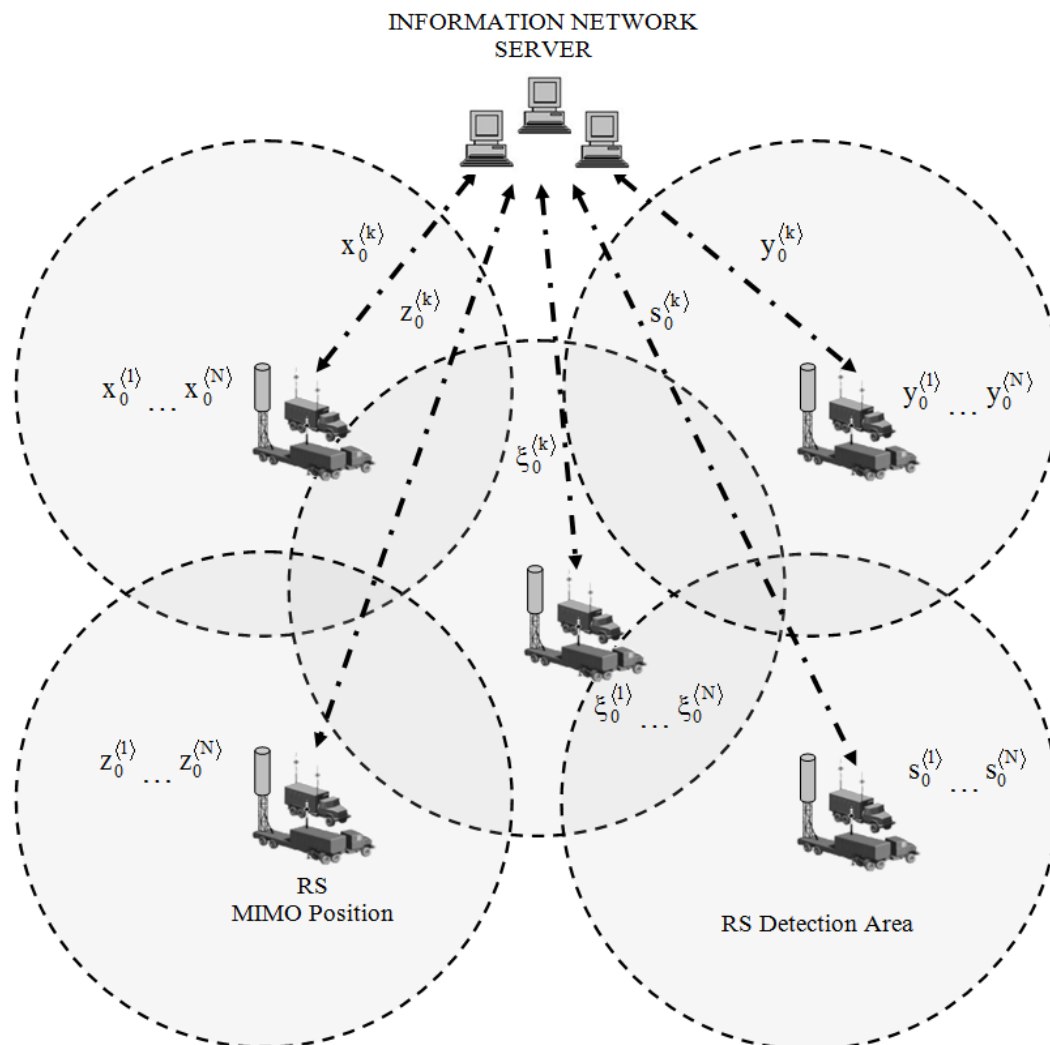


Fig. 20. Multiradar information measuring network (a variant of deployment)

#### References

1. Kotov, O. B., Pyevtsov, H. V. (2012), "Pohlyady shchodo pobudovy maybutn'oyi systemy protypovitryanoyi oborony krajiny na osnovi merezhetsentrychnykh tekhnolohiy", *Nauka i tekhnika Povitryanykh Syl Zbroynykh Syl Ukrainy*, No. 2 (8), P. 7–14.
2. Pace, P. E. (2009), *Detecting and Classifying Low Probability of Intercept Radar* : Second Edition, London : Artech house, 862 p.
3. Li, H., Wang, F., Chen, J., Zhou, J. (2015), "An effective evaluation metric of LPI radar waveform", *Information Technology: Proceedings of the 2014 International Symposium on Information Technology (ISIT 2014)*, Dalian, China, 14-16 October 2014, P. 125.
4. Kostenko, P. Yu, Vasyuta, K. S., Barsukov, A. N. (2010), "Ispol'zovaniye BDS-statistiki dlya otsenki skrytnosti signala, poluchennogo peremeshivaniyem khaoticheskoy nesushchey", *Izvestiya vuzov. Radioelektronika*, No. 5 (53), P. 41-45.
5. Amin, Salih M. and Potrus, M. Y. (2015), "A Method for Compensation of Tcp Throughput Degrading During Movement Of Mobile Node", *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*, Vol. 27, No. 6, P. 59–68.
6. Davydovskyi, Yu., Reva, O., Artiukh, O., Kosenko, V. (2019), "Simulation of computer network load parameters over a given period of time", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (9), P. 72–80. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.9.072>
7. Kosenko, V. (2017), "Mathematical model of optimal distribution of applied problems of safety-critical systems over the nodes of the information and telecommunication network", *Advanced Information Systems*, Vol. 1, No. 2, P. 4–9. DOI: <http://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.01>
8. Davydovsky, Yu., Reva, O., Maleeva, O. (2018), "Method of modelling the parameters of data communication network for its upgrading", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (6), P. 15–22. DOI: <http://dx.doi.org/10.30837/2522-9818.2018.6.015>
9. Kuchuk, G., Kovalenko, A., Kharchenko, V., Shamraev, A. (2017), "Resource-oriented approaches to implementation of traffic control technologies in safety-critical I&C systems", *Green IT Engineering: Components Network and Systems Implementation*, Springer International Publishing, Vol. 105, P. 313–338.
10. Lemeshko, O., Yevdokymenko, M., Yeremenko, O. (2019), "Model of data traffic qos fast rerouting in infocommunication networks", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (9), P. 127–134. DOI: <http://dx.doi.org/10.30837/2522-9818.2019.9.127>

11. Kuchuk, H. A., Mozhayev, O. O., Vorobyov, O. V. (2006), "Metod ahrehuvannya fraktal'noho trafika", *Radioelektronni ta komp'yuterni systemy*, No. 6 (18), P. 181–188.
12. Kuchuk, G. A. (2004), "Fraktal'nyy gaussovskiy shum v trafikovykh trassakh", *Sistemi obrobki informatsii*, No. 3 (31). P. 91–100.
13. Ruban, I., Kuchuk, H., Kovalenko, A. (2017), "Redistribution of base stations load in mobile communication networks", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (1), P. 75–81. DOI : <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>
14. Svyrydov, A., Kuchuk, H., Tsiapa, O. (2018), "Improving efficiency of image recognition process: Approach and case study", *Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2018*, P. 593–597, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409201>
15. Kuchuk, G., Kovalenko, A., Komari, I. E., Svyrydov, A., Kharchenko, V. (2019), "Improving big data centers energy efficiency: Traffic based model and method", *Studies in Systems, Decision and Control*, Vol. 171. Springer Nature Switzerland AG, P. 161–183. DOI: [http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4\\_8](http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8)
16. Kuchuk, H. A. (2007), "Upravlinnya trafikom mul'tyservisnoyi rozpodilenoii telekomunikatsiynoyi merezhi", *Systemy upravlinnya, navihatsiyyi ta zv'yazku*, Kyiv : TSNDI NiU, Vol. 2, P. 18–27.
17. Svyrydov, A. C., Kovalenko, A. A., Kuchuk, H. A. (2018), "Metod pererozpodilu propusknoyi zdatnosti krytychnoyi dilyanky merezhi na osnovi udoskonalennya ON/OFF-modeli trafiku", *Suchasni informatsiyni systemy*, Vol. 2, No. 2, P. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
18. Kovalenko, A. A., Kuchuk, H. A. (2018), "Metody syntezu informatsiynoyi ta tekhnichnoyi struktur systemy upravlinnya ob'yektom krytychnoho zastosuvannya", *Suchasni informatsiyni systemy*, Vol. 2, No. 1, P. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
19. Kostenko, P. Yu., Vasyuta, K. S., Barsukov, A. N. (2010), "Ispolzovaniye BDS-statistiki dlya otsenki skrytnosti signala, poluchennogo peremeshivaniyem khaoticheskoy nesushchey", *Izvestiya vuzov. Radioelektronika*, No. 5 (53), P. 41–45.
20. Umnov, A. E. *Analitychna heometriya ta lineyna alhebra*, available at : <http://mat.net.ua>
21. Vasyuta, K. S., Zakharchenko, I. V. (2017), "Method of Message Coding, Using Orthogonal Chaotic Signals in Secure Information Telecommunication Networks", *Fouth International Scientific-Practical Conference ["Problems of Infocommunications. Science and Technology, PICS&T'2017"]*, (Kharkiv, Ukraine, October 3-6, 2017), Kharkiv, P. 274–277.
22. Akintunde, M. O., Oyekunle, J. O., Olalude, G. A. (2015), "Detection of Non-Linearity in the Time Series Using BDS Test", *Science Journal of Applied Mathematics and Statistics*, Vol. 3, No. 4, P. 184–187. DOI: <http://doi.org/10.11648/j.sjams.20150304.13>
23. Vasyuta, K., Zakharchenko, I. (2016), "Evaluation of the potential possibility of organizing multi-channel in chaotic information transmission systems", *Weapons systems and military equipment*, Vol. 2 (46), P. 70–73.
24. Vasyuta, K. S., Ozerov, S. V., Malyshev, A. A. (2013), "Povysheniye skrytnosti peredachi binarnogo soobshcheniya v pryamokhaoticheskoy sisteme radiosvyazi za schet fil'tratsii khaoticheskoy nesushchey", *Zbirnyk naukovykh prats' Kharkivs'koho universytetu Povitryanykh Syl*, Kharkiv : KHUPS, No. 2 (35), P. 78–81.
25. Vasyuta, K. S., Ozerov, S. V., Zots, F. F. (2012), "Hlu-shchenko N.A. Metod povysheniya propusknoyi sposobnosti i skrytnosti systemy radiosvyazi putem primeneniya MIMO-tekhnologii na khaoticheskikh nesushchikh", *Sistemi upravlinnya, navigatsii i zv'yazku*, Kyiv : "DP" TSNDI NiU, No. 3 (23), P. 223–227.
26. Chernyak, V. S. (2009), "O novom napravlenii v radiolokatsii: MIMO RLS", *Prikladnaya radioelektronika*, Vol. 8, No. 4, P. 477–489.
27. Li, J., Stoica, P. (2008), *MIMO Radar Signal Processing*, Wiley-IEEE Press, 448 p.
28. Vasyuta, K. S., Zots, F. F., Kovalevs'kyi, S. N. (2013), "MIMO RLS, osnovannaya na primenenii ortogonal'nykh khaoticheskikh signalov v setetsentricheskoy sisteme PVO", *Sistemi obrobki informatsii*, Kharkiv : KHUPS, No. 1(108), P. 21–24.

Received 20.11.2019

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Васюта Костянтин Станіславович** – доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, заступник начальника з навчальної роботи, Харків, Україна; email: ko-hafish@ukr.net; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1978-3717>.

**Васюта Константин Станиславович** – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины, Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, заместитель начальника по учебной работе, Харьков, Украина.

**Vasyuta Kostantiv** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Honoured Worker of Science and Technology of Ukraine, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Deputy Head for Academic Affairs, Kharkiv, Ukraine.

**Зоц Федір Федорович** – кандидат технічних наук, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, старший викладач кафедри озброєння радіотехнічних військ, Харків, Україна; email: fedorzots@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6070-2862>.

**Зоц Федор Федорович** – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, старший преподаватель кафедры вооружения радиотехнических войск, Харьков, Украина.

**Zots Fedor** – PhD (Engineering Sciences), Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Senior Lecture of the Department of Radar Armament, Kharkiv, Ukraine.

**Захарченко Ірина Вікторівна** – кандидат технічних наук, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, викладач кафедри математичного і програмного забезпечення автоматизованих систем управління, Харків, Україна; email: irishka310379@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8534-1888>.

**Захарченко Ирина Викторовна** – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, преподаватель кафедры математического и программного обеспечения автоматизированных систем управления, Харьков, Украина.

**Zakharchenko Irina** – PhD (Engineering Sciences), Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Lecture of the Department of Mathematical and Software of Automated Control Systems, Kharkiv, Ukraine.

## КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ ПРИХОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ ОРТОГОНАЛЬНИХ ХАОТИЧНИХ СИГНАЛІВ

**Предметом** дослідження в статті є прихована інформаційно-вимірювальна система, заснована на ортогональних хаотичних сигналах. **Мета** роботи – синтезувати приховану інформаційно-вимірювальну систему, побудовану на основі ортогональних хаотичних сигналів. **Завдання**, вирішені в ході дослідження, – оцінено потенційні можливості організації багатоканальності з використанням хаотичних несучих; вивчені способи застосування хаотичних сигналів в бездротових системах передачі даних; синтезована загальна структура радіолокаційної системи МІМО на основі ортогональності хаотичних сигналів. При проведенні досліджень було використано загальнонаукові та спеціальні **методи** дослідження, зокрема, системний аналіз і математичне моделювання. Були отримані такі **результати**: запропоновано концепцію побудови мережецетричної багаторадарної інформаційно-вимірювальної системи (MIMS). Показано, що застосування ортогональних хаотичних сигналів для виявлення повітряних цілей та передачі інформації про них, підвищує перешкодозахищеність, роздільну і пропускну здатність; дозволяє забезпечити електромагнітну сумісність і поділ каналів виявлення й передачі інформації. Синтезовано структурну схему MIMS. **Висновки**. Специфічні властивості хаотичних сигналів дозволяють застосовувати їх для побудови систем передачі даних за принципом МІМО та багатоканальних радарів. На основі хаотичних сигналів може бути побудовано багаторадарну систему вимірювання інформації. Вищевказані методи можуть бути реалізовані для побудови мережі необслуговуваних радарів, а також в багатоканальних системах зв'язку. Вони можуть застосовуватися для управління повітряним рухом і можуть використовуватися в системах, орієнтованих на мережу ППО для створення загального прихованого інформаційного і телекомунікаційного простору.

**Ключові слова:** хаотичні сигнали; сигнально-кодові конструкції; МІМО-технологія; інформаційно-вимірювальна система.

## КОНЦЕПЦІЯ ПОСТРОЕНИЯ СКРЫТОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ХАОТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

**Предметом** исследования в статье является скрытая информационно-измерительная система, основанная на ортогональных хаотических сигналах. **Цель** работы – синтезировать скрытую информационно-измерительную систему, построенную на основе ортогональных хаотических сигналов. **Задачи**, решенные в ходе исследования, – оценена потенциальные возможностей организации многоканальности с использованием хаотических несущих; изучены способы применения хаотических сигналов в беспроводных системах передачи данных; синтезирована общая структура радиолокационной системы МІМО на основе ортогональности хаотических сигналов. При проведении исследований использовались общенаучные и специальные **методы** исследования, в частности, системный анализ и математическое моделирование. Были получены следующие **результаты** предложена концепция построения сетецетрической мультирадарной информационно-измерительной системы (MIMS). Показано, что применение ортогональных хаотических сигналов для обнаружения воздушных целей и передачи информации о них, повышает помехозащищенность, разрешающую и пропускную способность; позволяет обеспечить электромагнитную совместимость и разделение каналов обнаружения и передачи информации. Синтезирована структурная схема MIMS. **Выводы**. Специфические свойства хаотических сигналов позволяют применять их для построения систем передачи данных по принципу МІМО и многоканальных радаров. На основе хаотических сигналов может быть построена мультирадарная система измерения информации. Вышеуказанные методы могут быть реализованы для построения сети необслуживаемых радаров, а также в многоканальных системах связи. Они могут применяться для управления воздушным движением и могут использоваться в системах, ориентированных на сеть ПВО для создания общего скрытого информационного и телекоммуникационного пространства.

**Ключевые слова:** хаотические сигналы; сигнально-кодовые конструкции; МІМО-технология; информационно-измерительная система.

### Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Васюта К. С., Зоц Ф. Ф., Захарченко І. В. Концепція побудови прихованої інформаційно-вимірювальної системи протиповітряної оборони на основі застосування ортогональних хаотичних сигналів. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2019. № 4 (10). С. 33–43. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.033>.

Vasyuta, K., Zots, F., Zakharchenko, I. (2019), "Building the air defense covert information and measuring system based on orthogonal chaotic signals", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 33–43. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.033>.

С. І. Владов, Ю. М. Шмельов, Л. М. Пилипенко, К. Г. Котляров, С. А. Грибанова,  
О. В. Гусарова

## РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТА ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛЕЙ КОНТРОЛЮ І ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА ТВ3-117

**Предметом** дослідження в статті є авіаційний двигун ТВ3-117 та методи контролю і діагностики його технічного стану. **Мета** роботи – розробка інформаційної та динамічної моделей контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 задля визначення основних вимог до експертної системи. В статті вирішуються наступні **завдання**: розробки інформаційної та динамічної моделей контролю і діагностики авіаційного двигуна ТВ3-117 з використанням методології системного аналізу. Використовуються такі методи: методи системного аналізу, методи системного програмування, методи побудови інформаційних моделей. Отримано наступні **результати**: Розроблено інформаційну модель, що визначає логічну структуру баз даних і знань, а також способи та механізми управління ними та взаємодії (обґрунтування змісту, наповнення, управління інформаційними потоками). Розроблено динамічну модель, що визначає правила роботи з експертною системою, які є основою для створення інтерфейсу (сценаріїв) з користувачем і визначають динаміку взаємодії експертної системи з базами даних і знань, моделі контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117. **Висновки**: Розроблено комплекс інформаційних моделей процесу контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117, на основі технології IDEF/IX, що дозволило визначити логічну структуру і механізми взаємодії баз даних і баз знань в складі розроблюваної експертної системи контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117. Побудована динамічна модель процесів контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 на основі IDEF / CPN, що дозволило визначити вимоги до механізму логічного висновку в процесі виконання функцій контролю та діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 експертною системою. Перспективи дослідження – завершальним етапом системного моделювання є системний проєкт, який формує контури дослідницького прототипу експертної системи і перелік вимог, що реалізують його.

**Ключові слова**: інформаційна модель; динамічна модель; експертна система; авіаційний двигун; база даних; база знань.

### Вступ

Безпека функціонування авіаційного газотурбінного двигуна ТВ3-117 в процесі його експлуатації вимагає безперервного контролю і діагностики його параметрів, що вимагає безперервного вдосконалення апаратури діагностування і контролю, обумовленого збільшенням числа контрольованих параметрів, ускладненням конструкції, зростанням числа датчиків і виконавчих механізмів. У цих умовах найбільш актуальною проблемою є розробка і впровадження інтелектуальних технологій [1–3], серед яких є технології системного аналізу, експертні системи, нейромережеві технології тощо, здатних якісно і ефективно вирішувати поставлені задачі (на рівні спеціаліста-експерта). Це особливо важливо зараз, оскільки своєчасне виявлення і локалізація відмов дозволить виключити численні аварійні і катастрофічні ситуації, що почастішали останнім часом.

Роль людського фактору зі зростанням числа контрольованих і діагностованих параметрів падає [1–3], оскільки пов'язана з численними помилками контролю та прийняття рішень (особливо в умовах НІ-факторів: невизначеності ситуації; численні перешкоди і неточності вимірювань; неповнота і недостовірність контролю тощо).

При використанні методології безпечної експлуатації авіаційних двигунів за технічним станом однією з основних проблем є розробка і впровадження ефективної діагностики, що дозволяє своєчасно виявляти дефекти, що виникають в основних деталях

при вичерпанні їх ресурсів [4, 5]. З огляду на важливість надійної роботи двигуна для забезпечення безпеки польоту повітряного судна, існуючі норми льотної придатності вимагають проведення великого обсягу різних перевірок в ході як стендових, так і льотних випробувань. При цьому в двигунах є деталі і вузли, по відношенню до яких діагностика в повній мірі не може бути застосованою. Зокрема, це стосується лопаток і дисків компресорів і турбін, руйнування яких призводить до тяжких наслідків, у тому числі до руйнування двигуна і повітряного судна. Щоб уникнути подібних наслідків, при оцінюванні ресурсу двигуна проводяться розрахунки міцності, які дають можливість виявити найбільш пошкоджені деталі і найбільш ушкоджують режими експлуатації.

Однак для того щоб такі розрахунки були об'єктивними й ефективними, необхідна наявність повного обсягу характеристик циклічного деформування матеріалів, характеристик циклічної повзучості, циклічної пластичності, характеристик циклічної міцності з урахуванням спільної дії вібраційних напружень, а також наявність повного обсягу характеристик, що визначають розвиток тріщин до граничного стану. У даний час такі характеристики у повному обсязі відсутні, що значно знижує ефективність розрахункових методів. У низці випадків в якості таких характеристик використовуються результати лабораторних ресурсних або прискорених еквівалентно-циклічних випробувань лопаток турбіни, а також дисків компресорів і турбін при їх циклічному навантаженні температурної навантаженням з одночасним

накладенням вібраційного навантаження. Але й при лабораторних випробуваннях не завжди вдається досягти відповідності навантажень на установках навантажень на двигуні, оскільки це навантаження істотно залежить від виконаного в експлуатації профілю польоту.

Усе це призводить до того, що під час випробувань не вдається відтворити в повному обсязі такі дефекти, як розтріскування зсередини на входних кромках лопаток турбіни високого тиску, тріщини на галтелях титанових дисків турбокомпресора, тріщини на зварних корпусах камери згоряння тощо.

Ефективним засобом підвищення достовірності оцінюванні технічного стану авіаційних двигунів може служити експертна інформація, яка формується в результаті інтуїтивно-логічного аналізу вихідних даних із залученням відповідного математичного апарату групою експертів, що дозволяє виявити об'єктивну природу параметрів технічного стану досліджуваного об'єкта і розширити на цій основі можливості в достовірній оцінці технічного стану останнього. У даний час наявність вбудованих CASE засобів у сучасних базах даних (Oracle, Informix, R-Base тощо), а також в більшості експертних систем визначає основну роль системного моделювання при створенні складних інформаційних систем [6–8].

Формалізація інформаційного портрета авіаційного двигуна в рамках методології системного моделювання є окремою проблемою, оскільки системна модель в кінцевому рахунку збирає всю інформацію про процес контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна в інформаційну "купу". Тому основною задачею, що розв'язується на даному етапі, є "прозорість" представлення двигуна і його підсистем в процесі контролю і діагностики (виділення основних функцій і розв'язуваних задач), зв'язок інформаційних потоків з визначеними раніше структурами баз даних і знань, а також його взаємозв'язок в рамках сценаріїв роботи з експертною системою і зовнішніх інтерфейсів зі SCADA-системами, PDM і STEP-стандартами, CALS-технологією, іншими CASE засобами [6–8].

Таким чином, на основі системної моделі, на етапі проектування інформаційної системи контролю та діагностики технічного стану авіаційного двигуна, з використанням SADT-методології і IDEF-технології необхідно виконати наступну послідовність кроків:

- розробити множину функціональних моделей з метою виділення повної множини функцій і задач, що розв'язуються експертною системою;

- розробити множину інформаційних моделей, що визначають логічну структуру баз даних і знань, а також способи та механізми управління ними та взаємодії (обґрунтування змісту, наповнення, управління інформаційними потоками);

- розробити динамічну модель, яка визначає правила роботи з експертною системою, які є основою для створення інтерфейсу (сценаріїв) з користувачем і визначають динаміку взаємодії експертної системи з базами даних і знань.

У даній роботі розв'язується задача розробки інформаційних і динамічної моделі авіаційного двигуна ТВ3-117, який призначений для вертольотів цивільної авіації. За паливною економічністю й ваговими характеристиками авіаційний двигун ТВ3-117 стоїть в ряду кращих світових зразків.

### Розробка інформаційної моделі

Комплекс інформаційних моделей для динамічних баз даних і знань спільно з вирішувачем і планувальником утворюють ядро майбутньої експертної системи і, перш за все, показує інформаційно-логічну взаємодію файлів даних в базах даних і знань експертної системи. Інформаційна модель процесу контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 у загальному вигляді може бути представлена як [9]:

$$M = \langle F, A, V, P, Q, O, R \rangle; \quad (1)$$

де  $F = \{f_i, i = \overline{1, I}\}$  – множина функцій процесу контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117;  $A = \{a_j, j = \overline{1, J}\}$  – множина задач (процедур), що реалізуються в процесі контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117;  $V = \{v_l, l = \overline{1, L}\}$  – множина вимірних параметрів авіаційного двигуна ТВ3-117;  $Q = \{q_k, k = \overline{1, K}\}$  – множина результатів процесу контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117;  $P = \{p_m, m = \overline{1, M}\}$  – персонал, який відповідає за процес контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117;  $O = \{o_n, n = \overline{1, N}\}$  – множина об'єктів і процесів контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117;  $VQ = V \cup Q$  – повна множина інформаційних елементів процесу контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117;  $R = \{r_s, s = \overline{1, S}\}$  – множина взаємозв'язків між компонентами  $\{F, A, V, Q, P, O\}$ .

Інформація, що описує процес контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117, представляється у вигляді сукупності множин. Реальні показники можуть відрізнитися і результатів оцінки його технічного стану.

Інформаційна модель процесу контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 приведена на рис. 1. Вона показує послідовність (логіку) виконуваних дій при маніпулюванні з окремими файлами в базі даних експертної системи. Кожен з розглянутих інформаційних об'єктів визначається значенням відповідних атрибутів. Всі вони взаємодіють з різномірною базою знань, що містить концептуальні та експертні знання, а також прецеденти.

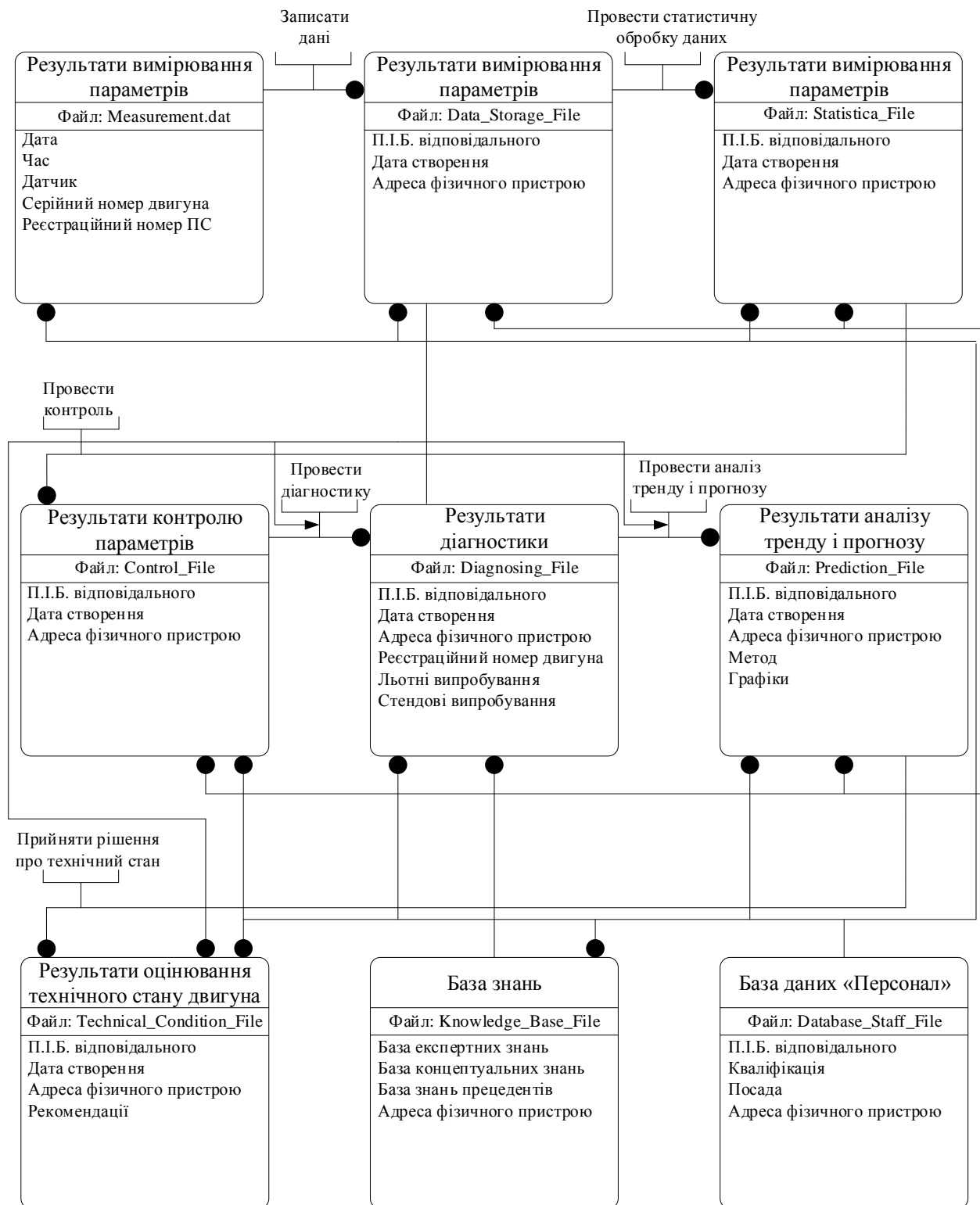


Рис. 1. Інформаційна модель процесу контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 експертною системою

Процес взаємодії різномірних баз знань експертної системи контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 показаний на рис. 2, де основною сполучним, координаційним і обчислювальним елементом є вирішувач, який здійснює спільно з планувальником управління процесом взаємодії між системами управління базами даних і знань [9, 10].

Змістовним компонентом розглянутих вище баз знань є:

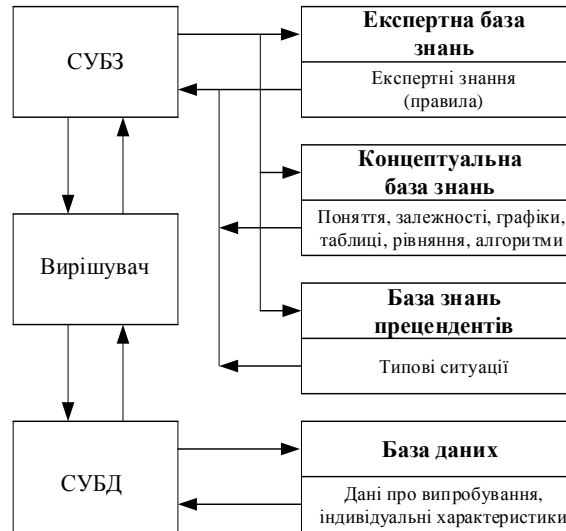
- для експертної бази знань (формалізовані знання експертів у вигляді правил продукцій), розширених елементами нечіткої логіки (лінгвістичними змінними, що відображають якість процесу контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117);

- для концептуальної бази знань (знання експертів у вигляді окремих понять предметної області, описуваних рівняннями, таблицями, графіками, а також розширеним банком алгоритмів тощо);

- для бази знань прецедентів – типові, раніше розглянуті ситуації, формалізовані у вигляді дерева причинно-наслідкових зв'язків, типових алгоритмів, стандартних утиліт, процедур виведення тощо).

Змістовним компонентом баз даних є:

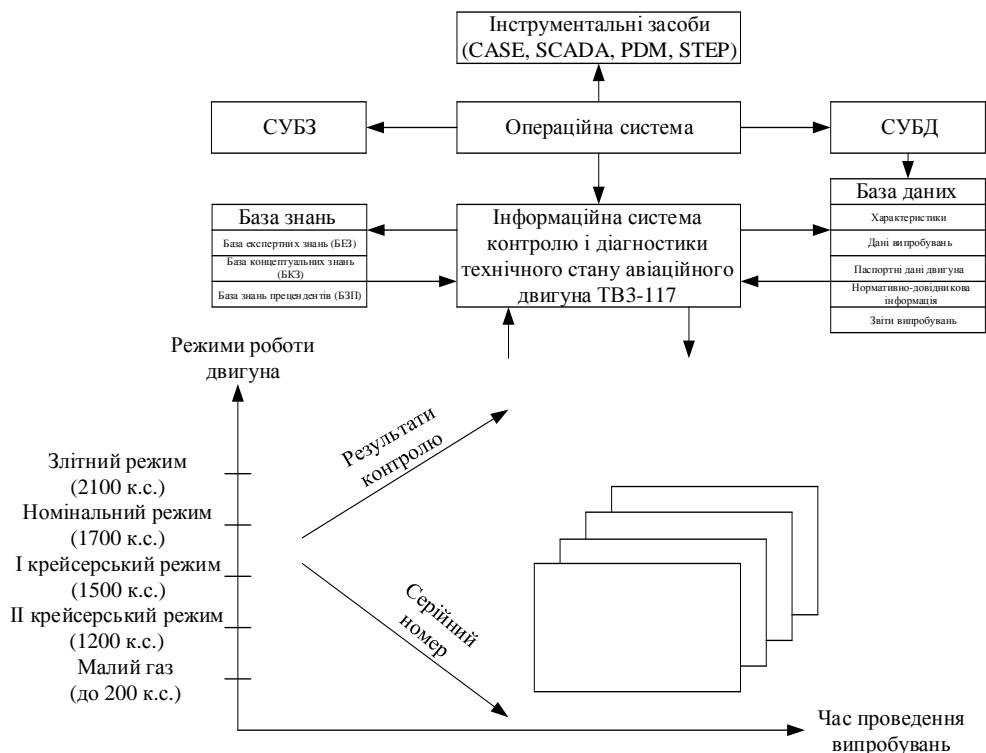
- дані про випробування серійних авіаційних двигунів;
- індивідуальні характеристики і паспортні дані окремих двигунів;
- нормативні галузеві документи;
- протоколи (звіти) про випробування тощо.



**Рис. 2.** Взаємодія різних баз знань і бази даних у процесі контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 експертною системою

На рис. 3. показана хронологічна (реляційна, багатовимірна, часова) база даних контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117, яка зберігає результати контролю і

діагностики, отримані в ході як стендових, так і льотних випробувань серійних або індивідуальних двигунів.



**Рис. 3.** Хронологічна база даних контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117

Користувач на основі меню-орієнтованого інтерфейсу може здійснювати різні запити до бази даних як для окремих двигунів та їх параметрів, так і для групи серійних двигунів. Для цього йому необхідно вказати наступну інформацію: тип двигуна, серійний номер, номер випробувального стенду (у випадку стендових випробувань), режим випробувань, дату проведення випробувань, які системи і параметри цих систем контролюються тощо. На підставі введених даних буде здійснено пошук інформації як за окремими полями бази даних, так і за групою полів. Для розробки такої бази даних необхідно сформулювати низку вимог, реалізація яких дозволить правильно вибрати СУБД і на її основі здійснити формування системного проєкту та експертної системи контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 [9–15].

Серед основних вимог, що пред'являються до розроблюваної бази даних (БД), можна виділити

наступні: розподілений (мережевий) характер БД, віддалений доступ, багатовимірність, обробка поряд з класичними і нечіткими запитами, виняток інформаційної надмірності БД, забезпечення цілісності БД, забезпечення функцій інформаційно-пошукової системи, меню-орієнтований інтерфейс [12, 13].

### Розробка динамічної моделі

Метою розробки динамічної моделі є відпрацювання логіки функціонування і взаємодії планувальника, вирішувача і баз знань експертної системи у процесі контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117. Сценарій функціонування розроблюваної експертної системи показаний на рис. 4.

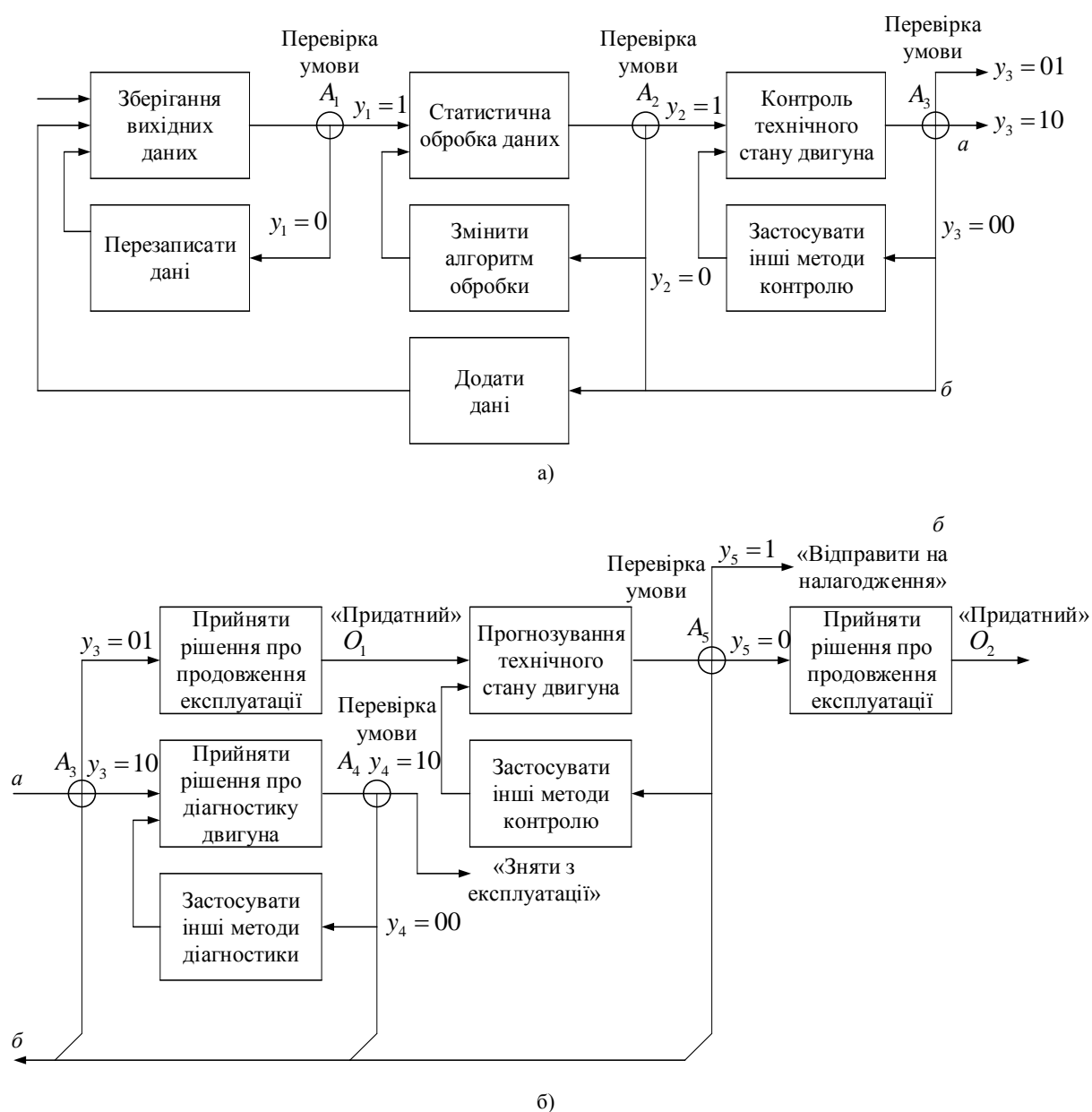


Рис. 4. Сценарій контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117

На рис. 4. позначено:  $A_1$  – дані записані вірно, продубльовані, мають доступ і захищені від несанкціонованого доступу;  $A_2$  – результати статистичної обробки виконані відповідно до заданих вимог;  $A_3$  – можна зробити однозначний висновок про технічний стан двигуна:  $y_3 = 01$  – двигун справний,  $y_3 = 10$  – двигун несправний,  $y_3 = 00$  – не можна зробити висновки;  $A_4$  – можна зробити висновок про технічний стан двигуна:  $y_4 = 01$  – двигун справний,  $y_4 = 10$  – двигун несправний з локалізацією місця відмови,  $y_4 = 00$  – не можна зробити висновки;  $A_5$  – можна зробити висновок про результати прогнозу технічного стану двигуна:  $y_5 = 0$  – двигун справний у майбутні моменти часу його функціонування;  $y_5 = 1$  – двигун несправний у майбутні моменти часу його функціонування.

Розглянемо процес функціонування розробленої експертної системи контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117. Виміряні у процесі льотної експлуатації (або стендових випробувань) параметри авіаційного двигуна ТВ3-117 нормуються, калібруються, масштабуються і записуються в тимчасову базу даних "Випробування двигуна" у вигляді окремого файлу. У разі виникнення нештатної ситуації (втрата всієї або частини вимірної інформації внаслідок перешкод, шумів, збоїв тощо) у проєктованій експертній системі передбачена можливість перезапису даних. Для цього процес вимірювань дублюється і дані вимірювань одночасно записуються у кілька файлів. Далі здійснюється покомпонентне порівняння всіх записів файлу у базі даних і тимчасового файлу, що зберігається, наприклад, на сервері бригади "Надійності", що проводить випробування двигуна. У разі повного збігу тимчасовий файл знищується, в іншому випадку дані з цього файлу копіюються у базу даних "Випробування двигуна".

Наступним етапом процесу контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117, виконуваних експертною системою, є статистична обробка даних вимірювань, з метою виявлення аномальних даних.

Відповідно до логіки роботи проєктованої експертної системи (умова  $A_2$ ): якщо в процесі статистичної обробки даних, застосований метод не задовольняє заданим вимогам, наприклад метод найменших квадратів, то він може бути замінений будь-яким альтернативним або новим методом (включеним до середі експертної системи за бажанням користувача), додаткових даних з бази даних "Випробування двигуна".

Якщо вимоги статистичної обробки даних повністю виконані, то експертна система здійснює контроль технічного стану двигуна відповідно до умови  $A_2$ . Слід зазначити, що найбільш поширеним методом контролю є метод допускового контролю [16–19]. Якщо в процесі контролю експертна система не може зробити однозначний висновок про стан

двигуна, то, як і в разі статистичної обробки даних, вона переходить до використання альтернативного методу контролю, наприклад, контролю за змінними допусками або нечіткими правилами із застосуванням нейромережових методів тощо, тобто плавний перехід від кількісних моделей до якісних з використанням методів штучного інтелекту, а вони як і на попередньому етапі можуть потребувати додаткові дані з бази даних "Випробування двигуна". Якщо у процесі контролю авіаційного двигуна експертна система робить висновок про його справності, то останньою приймається рішення про подальшу експлуатацію двигуна з подальшим розв'язком задачі прогнозу його технічного стану. Якщо у процесі контролю технічного стану двигуна експертна система може зробити однозначний висновок про несправності його технічного стану, то наступним логічним кроком є локалізація місця прояви відмови. Для цього експертною системою розв'язується задача діагностики. У процесі розв'язку даної задачі експертною системою можливі наступні рішення [9, 15]:

- двигун справний і приймається рішення про продовження його експлуатації;
- двигун несправний і приймається рішення про зняття його з експлуатації;
- неможливо зробити однозначний висновок про стан двигуна і тоді в цьому випадку експертна система буде використовувати інші діагностичні методи, наприклад, метод діагностичних матриць, метод порівняння, будь-який інший альтернативний метод або методи, які враховують якісну зміну характеристик двигуна (методи штучного інтелекту), а вони, як і в процесі контролю, можуть потребувати додаткові дані з бази даних "Випробування двигуна".

Якщо у процесі контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 експертна система приймає рішення "Придатний", то у подальшому вона здійснює прогноз його технічного стану, за результатами якого перевіряється умова  $A_5$  (рис. 4, б).

Якщо в процесі прогнозу експертна система приймає рішення "Придатний" в майбутні моменти часу його функціонування, то приймається остаточне рішення про придатність двигуна і його подальшої експлуатації. В іншому випадку, авіаційний двигун ТВ3-117 відправляється на налагодження. Якщо в процесі прогнозу технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 експертна система не може зробити однозначний висновок про результати прогнозу, то вона як і на попередніх кроках (статистичної обробки, контролю, діагностики) використовує інші методи прогнозу, наприклад, змінного середнього, експоненціального згладжування або методи штучного інтелекту, де, як уже зазначалося вище, можуть бути з атребувані додаткові дані з бази даних "Випробування двигуна".

До інтерфейсу експертної системи пред'являються наступні вимоги:

- меню-орієнтований інтерфейс, який визначає послідовність розв'язуваних експертною системою задач контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117;

- автономний режим роботи (призначений для користувача режим);

- режим роботи з експертом (робота з базою знань).

Основними вимогами до бази знань є:

- різнорідний (гібридний) характер оброблюваних знань (семантичні мережі, фрейми, продукції);

- реалізація нечітких правил;

- гібридний характер представлення знань (концептуальні, експертні, база знань прецедентів; нейромережіві бази знань);

- виключення інформаційної надмірності знань в базі знань;

- динамізм поповнення знань в базі знань (нейромережі за необхідністю можуть донавчатися в режимі реального часу);

- можливість взаємодії з іншими базами знань;

- узагальнення знань і формування пояснень на основі обчислювальної моделі.

#### Вимоги до експертної системи контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117

Сукупність функціональної [9], інформаційної, динамічної моделей, а також глосарію процесу контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 утворюють системний проєкт. Глосарій (словник баз даних і знань) автоматично формується у процесі створення експертної системи та її підсистем у вигляді динамічного файлу. Зокрема, при розробці баз даних і знань, а також при реалізації відповідних запитів, на основі яких і формується цей файл. Він є сполучною ланкою всіх компонент експертної системи і на його основі в подальшому реалізується логіка взаємодії інформаційної і динамічної моделей з базами даних і знань.

Задачі обробки результатів вимірювань пов'язані з обчисленням непрямих значень фізичних параметрів, які визначаються набором вихідних даних (вимірювань) і конкретної процедурної обробки.

Задачі реєстрації та відображення полягають в реєстрації у базі даних експертної системи відліків, даних вимірювань, прямих і непрямих параметрів.

Задачі контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 припускають формування інформації про правильність функціонування двигуна, локалізація можливої відмови, прогнозу зміни його основних характеристик у процесі експлуатації.

Розв'язок цих задач визначається набором вихідних даних (результатами вимірювань, прямими і непрямими параметрами тощо), конкретними методами, методиками та алгоритмами контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117.

Задачі прийняття рішення про технічний стан авіаційного двигуна ТВ3-117 здійснюються персоналом, який проводить його експлуатацію (випробування), на основі інформації, отриманої експертною системою на попередніх етапах.

Таким чином, основні вимоги до розроблюваної експертної системи контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117, структура якої наведена на рис. 5, наступні:

- реалізація функцій контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 в експертній системі на основі функціональної моделі;

- розробка баз даних і знань на основі інформаційних і динамічної моделей контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117;

- можливість роботи не тільки з кількісною, але і з якісною інформацією (нечіткі дані, шуми вимірювань, збої тощо);

- гібридність баз знань (бази концептуальних та експертних знань, бази знань прецедентів; нейромережіві бази знань);

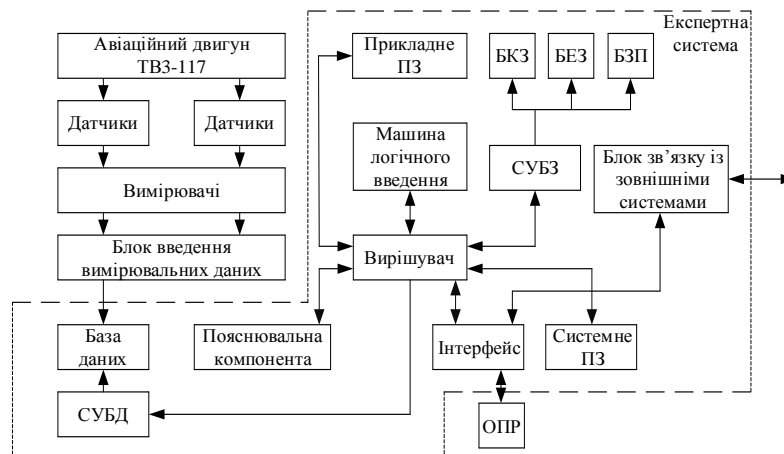


Рис. 5. Структура експертної системи контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117: БД – база даних; СУБД – система управління базою даних; БКЗ – база концептуальних знань; БЕЗ – база експертних знань; БЗП – база знань прецедентів; СУБЗ – система управління базами знань; ПЗ – програмне забезпечення; ОПР – особа, яка приймає рішення

- меню-орієнтований інтерфейс;
- протоколювання роботи користувача (збір статистики);
- модифікація баз знань (режим експерта);
- реалізація FDI-методу [9], що дозволяє на основі вектору відхилень, між вимірюваними параметрами індивідуального двигуна і його розрахунковими значеннями по адекватній математичній моделі, в основі концептуальних знань, локалізувати місце відмови в процесі контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117;
- можливість функціонального розширення експертної системи програмами-утилітами користувача;
- клієнт-серверна архітектура, віддалений доступ до мережі розподілених експертних систем;
- відкритість і розширюваність експертної системи);
- підтримка об'єктно-орієнтованої парадигми і нових інформаційних технологій (CASE, CALS, SCADA, PDM, STEP тощо) [4–8].

Основні рівні ієрархії типових задач в базі знань експертної системи, наведеної на рис. 5, можуть бути з точки зору контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 представлені як: обробка результатів вимірювань; реєстрація і відображення результатів; контроль, діагностика, прогноз

технічного стану двигуна; прийняття рішення про технічний стан двигуна.

### Висновки

Таким чином, на підставі отриманих результатів досліджень можна зробити наступні висновки:

Розроблено комплекс інформаційних моделей процесу контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117, на основі технології IDEF/1X, що дозволило визначити логічну структуру і механізми взаємодії баз даних і баз знань в складі розробленої експертної системи контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117.

Розроблено динамічну модель процесів контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 на основі IDEF / CPN, що дозволило визначити вимоги до механізму логічного висновку в процесі виконання функцій контролю та діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 експертною системою.

Перспективи дослідження – завершальним етапом системного моделювання є системний проект, який формує контури дослідницького прототипу експертної системи і перелік вимог, що реалізують його.

### Список літератури

1. Shmelov Yu., Vladov S., Derevyanko I., Dieriabina I., Chyzhova L. Identification of rear model of TV3-117 aircraft engine based on the basis of neuro-multi-functional technologies. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2019. No. 1 (7). P. 43–49. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.7.043>
2. Жернаков С. В., Равилов Р. Ф. Контроль и диагностика технического состояния авиационного двигателя на основе экспертной системы С-PRIZ. *Вестник УГАТУ*. 2012. Т. 16. № 6 (51). С. 3–11.
3. Снчев С. В., Товкач С. С. Діагностування технічного стану авіаційних двигунів на основі нечіткої логіки. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2013. № 1 (8). С. 216–224.
4. Chachurski R., Glowacki P., Czecinski S. Methods of counting aircraft turbine engines operating cycles. *Transactions of the institute of aviation*. 2011. No. 207. P. 5–13.
5. Fedorchenko D., Novikov D. Cycle counting methods of the aircraft engine. *International journal of environmental and science education*. 2016. Vol. 11. No. 4. P. 3832–3846.
6. Imam A. T., Alnsour A. J., Al-Hroob A. The definition of intelligent computer aided software engineering (I-CASE) tools. *Journal of information engineering and applications*. 2015. Vol. 5. No. 1. P. 47–56.
7. Dias G. Evolution of computer aided software engineering (CASE) Tools: A user experience. *International journal of computer science and software engineering*. 2017. Vol. 6. Issue 3. P. 55–60.
8. Idoudi N., Louati N., Duvallet C., Bouaziz R., Sadeg B., Gargouri F. A framework to model real-time databases. *International journal of computing & information sciences*. 2008. Vol. 6. No. 1. P. 19–29.
9. Жернаков С. В. Методология системного анализа для решения проблемы информационного мониторинга состояния авиационного двигателя. *Вестник УГАТУ*. 2010. Т. 14. № 3 (38). С. 71–81.
10. Жернаков С. В., Васильев В. И. Контроль и диагностика технического состояния авиационных двигателей на основе интеллектуального анализа данных. *Вестник УГАТУ*. 2006. Т. 7. № 2 (15). С. 84–100.
11. Shmelov Y., Vladov S., Klimova Y., Kirukhina M. Expert system for identification of the technical state of the aircraft engine TV3-117 in flight modes. *System Analysis & Intelligent Computing: IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC)*, 08–12 October 2018. P. 77–82.
12. Angeli C. Diagnostic expert systems: from expert's knowledge to real-time systems. *Advanced knowledge based systems: Model, applications & research*. 2010. Vol. 1. P. 50–73.
13. Andoga R., Fozo L., Madarasz L., Karol T. A digital diagnostic system for a small turbojet engine. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2013. Vol. 10. No. 4. P. 45–58.
14. Golanski P., Madrzycki P. Use of the expert methods in computer based maintenance support of the M-28 aircraft. *Scientific journal of polish naval academy*. 2015. No. 2 (201). P. 5–12.
15. Li G., Ba Z., Zhang H. Expert system of fault diagnosis for flight simulator based on fault tree analysis. *Advanced materials research*. 2015. Vol. 1055. P. 371–374.
16. Бармин И. В., Юсупов Р. М., Прохорович В. Е., Птушкин А. И. Концепция управления состоянием сложных технических комплексов за пределами плановых сроков эксплуатации. *Информационные технологии*. 2000. № 5. С. 2–7.

17. Lingfei X., Yanbin D., Jixiang H., Bin J. Sliding mode fault tolerant control with adaptive diagnosis for aircraft engines. *International journal of turbo & jet-engines*. 2018. Vol. 35. Issue 1. P. 49–57. DOI: <https://doi.org/10.1515/tjj-2016-0023>
18. Nyulaszi L., Andoga R., Butka P., Fozo L., Kovacs R., Moravec T. Fault detection and isolation of an aircraft turbojet Engine using a multi-sensor network and multiple model approach. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2018. Vol. 15. No. 2. P. 189–209. DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.15.1.2018.2.10>
19. Feng L., Jinquan H., Yaodong X. Fault diagnostics for turbo-shaft engine sensors based on a simplified on-board model. *Sensors*. 2012. Vol. 12. No. 8. P. 11061–11076. DOI: <https://doi.org/10.3390/s120811061>

## References

- Shmelov, Yu., Vladov, S., Derevyanko, I., Dieriabina, I., Chyzhova, L. (2019), "Identification of rear model of TV3-117 aircraft engine based on the basis of neuro-multi-functional technologies", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. No. 1 (7). P. 43–49. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.7.043>
- Zhernakov, S. V., Ravilov, R. F. (2012), "Monitoring and diagnostics of the technical condition of the aircraft engine based on the expert system C-PRIZ" ["Kontrol i diagnostika tehničeskogo sostoyaniya aviatcionnogo dvigatelya na osnove ekspertnoy sistemyi C-PRIZ"], *Bulletin of USATU*, Vol. 16, No. 6 (51), P. 3–11.
- Enchev, S. V., Tovkach, S. S. (2013), "Diagnostic of the technical condition aviation engines is based on fuzzy logic" ["Diahnostuvannia tehničnogo stanu aviatciynnykh dvyhuniv na osnovi nechitkoi lohiky"], *The scientific bulletin of Kherson state maritime academy*, No. 1 (8), P. 216–224.
- Chachurski, R., Glowacki, P., Czacinski, S. (2011), "Methods of counting aircraft turbine engines operating cycles", *Transactions of the institute of aviation*, No. 207, P. 5–13.
- Fedorchenko, D., Novikov, D. (2016), "Cycle counting methods of the aircraft engine", *International journal of environmental and science education*, Vol. 11, No. 4, P. 3832–3846.
- Imam, A. T., Alnsour, A. J., Al-Hroob, A. (2015), "The definition of intelligent computer aided software engineering (I-CASE) tools", *Journal of information engineering and applications*, Vol. 5, No. 1, P. 47–56.
- Dias, G. (2017), "Evolution of computer aided software engineering (CASE) Tools: A user experience", *International journal of computer science and software engineering*, Vol. 6, Issue 3, P. 55–60.
- Idoudi, N., Louati, N., Duvallet, C., Bouaziz, R., Sadeg, B., Gargouri, F. (2008), "A framework to model real-time databases", *International journal of computing & information sciences*, Vol. 6, No. 1, P. 19–29.
- Zhernakov, S. V. (2010), "System analysis methodology for solving the problem of information monitoring of the aircraft engine state" ["Metodologiya sistemnogo analiza dlya resheniya problemy informacionnogo monitoringa sostoyaniya aviaczionnogo dvigatelya"], *Bulletin of USATU*, Vol. 14, No. 3 (38), P. 71–81.
- Zhernakov, S. V., Vasiliev, V. I. (2006), "Monitoring and diagnostics of the aircraft engines technical condition based on data mining" ["Kontrol i diagnostika tehničeskogo sostoyaniya aviaczionnykh dvigatelej na osnove intellektualnogo analiza dannykh"], *Bulletin of USATU*, Vol. 7, No. 2 (15), P. 84–100.
- Shmelov, Y., Vladov, S., Klimova, Y., Kirukhina, M. (2018), "Expert system for identification of the technical state of the aircraft engine TV3-117 in flight modes", *System Analysis & Intelligent Computing: IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC), 08–12 October 2018*, P. 77–82.
- Angeli, C. (2010), "Diagnostic expert systems: from expert's knowledge to real-time systems", *Advanced knowledge based systems: Model, applications & research*, Vol. 1, P. 50–73.
- Andoga, R., Fozo, L., Madarasz, L., Karol, T. (2013), "A digital diagnostic system for a small turbojet engine", *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 10, No. 4, P. 45–58.
- Golanski, P., Madrzycki, P. (2015), "Use of the expert methods in computer based maintenance support of the M-28 aircraft", *Scientific journal of polish naval academy*, No. 2 (201), P. 5–12.
- Li, G., Ba, Z., Zhang, H. (2015), "Expert system of fault diagnosis for flight simulator based on fault tree analysis", *Advanced materials research*, Vol. 1055, P. 371–374.
- Barmin, I. V., Yusupov, R. M., Prokhorovich, V. E., Ptushkin, A. I. (2000), "Concept of managing the state of complex technical complexes beyond the planned lifetime" ["Konceptziya upravleniya sostoyaniem slozhnykh tehničeskikh kompleksov za predelami planovykh srokov e'kspluataczii"], *Information technology*, No. 5, P. 2–7.
- Lingfei X., Yanbin D., Jixiang H., Bin J. (2018), "Sliding mode fault tolerant control with adaptive diagnosis for aircraft engines", *International journal of turbo & jet-engines*, Vol. 35, Issue 1, P. 49–57. DOI: <https://doi.org/10.1515/tjj-2016-0023>
- Nyulaszi, L., Andoga, R., Butka, P., Fozo, L., Kovacs, R., Moravec, T. (2018), "Fault detection and isolation of an aircraft turbojet Engine using a multi-sensor network and multiple model approach", *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 15, No. 2, P. 189–209. DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.15.1.2018.2.10>
- Feng, L., Jinquan, H., Yaodong, X. (2012), "Fault diagnostics for turbo-shaft engine sensors based on a simplified on-board model", *Sensors*, Vol. 12, No. 8, P. 11061–11076. DOI: <https://doi.org/10.3390/s120811061>

Надійшла (Received) 01.10.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Владов Сергій Ігорович** – кандидат технічних наук, Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, викладач циклової комісії фізико-математичних дисциплін та інформатики, Кременчук, Україна; e-mail: [ser26101968@gmail.com](mailto:ser26101968@gmail.com); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8009-5254>.

**Владов Сергей Игоревич** – кандидат технических наук, Кременчугский летный колледж Харьковского национального университета внутренних дел, преподаватель цикловой комиссии физико-математических дисциплин и информатики, Кременчуг, Украина.

**Vladov Serhii** – PhD (Engineering Sciences), Kremenchuk Flight College of Kharkiv National University of Internal Affairs, Teacher of the Department of Physical and Mathematical Disciplines and Informatics, Kremenchuk, Ukraine.

**Шмельов Юрій Миколайович** – кандидат технічних наук, Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, заступник директора коледжу з навчальної роботи, викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, Кременчук, Україна; e-mail: nv.klk@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7344-3924>.

**Шмелев Юрий Николаевич** – кандидат технических наук, Кременчугский летный колледж Харьковского национального университета внутренних дел, заместитель директора колледжа по учебной работе, преподаватель цикловой комиссии авиационного и радиоэлектронного оборудования, Кременчуг, Украина.

**Shmelov Yurii** – PhD (Engineering Sciences), Kremenchuk Flight College of Kharkiv National University, Deputy College Chief for Curriculum, Teacher of the Department of Aviation and Radio Electronic Equipment, Kremenchuk, Ukraine.

**Пилипенко Людмила Миколаївна** – Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, голова циклової комісії фізико-математичних дисциплін та інформатики, Кременчук, Україна; e-mail: lypdil1965@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5221-0921>.

**Пилипенко Людмила Николаевна** – Кременчугский летный колледж Харьковского национального университета внутренних дел, председатель цикловой комиссии физико-математических дисциплин и информатики, Кременчуг, Украина.

**Pylypenko Liudmyla** – Kremenchuk Flight College of Kharkiv National University of Internal Affairs, Head of the Department of Physical and Mathematical Disciplines and Informatics, Kremenchuk, Ukraine.

**Котляров Кирило Геннадійович** – Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, викладач циклової комісії фізико-математичних дисциплін та інформатики, Кременчук, Україна; e-mail: fmi.nv.klk@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6097-9084>.

**Котляров Кирилл Геннадиевич** – Кременчугский летный колледж Харьковского национального университета внутренних дел, преподаватель цикловой комиссии физико-математических дисциплин и информатики, Кременчуг, Украина.

**Kotliarov Kyrylo** – Kremenchuk Flight College of Kharkiv National University of Internal Affairs, teacher of department of physical and mathematical disciplines and informatics, Kremenchuk, Ukraine.

**Грибанова Світлана Анатоліївна** – Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, викладач циклової комісії фізико-математичних дисциплін та інформатики, Кременчук, Україна; e-mail: fmi.nv.klk@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5831-2363>.

**Грибанова Светлана Анатольевна** – Кременчугский летный колледж Харьковского национального университета внутренних дел, преподаватель цикловой комиссии физико-математических дисциплин и информатики, Кременчуг, Украина.

**Hrybanova Svitlana** – Kremenchuk Flight College of Kharkiv National University of Internal Affairs, Teacher of the Department of Physical and Mathematical Disciplines and Informatics, Kremenchuk, Ukraine.

**Гусарова Оксана Василівна** – Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, викладач циклової комісії фізико-математичних дисциплін та інформатики, Кременчук, Україна; e-mail: fmi.nv.klk@gmail.com; ORCID: [orcid.org/0000-0002-9823-0044](https://orcid.org/0000-0002-9823-0044).

**Гусарова Оксана Васильевна** – Кременчугский летный колледж Харьковского национального университета внутренних дел, преподаватель цикловой комиссии физико-математических дисциплин и информатики, Кременчуг, Украина.

**Husarova Oksana** – Kremenchuk Flight College of Kharkiv National University of Internal Affairs, Teacher of the Department of Physical and Mathematical Disciplines and Informatics, Kremenchuk, Ukraine.

## РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛЕЙ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ТВ3-117

**Предметом** исследования в статье является авиационный двигатель ТВ3-117 и методы контроля и диагностики его технического состояния. **Цель** работы – разработка информационной и динамической моделей контроля и диагностики технического состояния авиационного двигателя ТВ3-117 для определения основных требований к экспертной системе. В статье решаются следующие **задачи**: разработки информационной и динамической моделей контроля и диагностики авиационного двигателя ТВ3-117 с использованием методологии системного анализа. Используются следующие **методы**: методы системного анализа, методы системного программирования, методы построения информационных моделей. Получены следующие **результаты**: Разработано информационную модель, которая определяет логическую структуру баз данных и знаний, а также способы и механизмы управления ими и взаимодействия (обоснование содержания, наполнения, управление информационными потоками). Разработано динамическую модель, которая определяет правила работы с экспертной системой, что является основой для создания интерфейса (сценариев) с пользователем и определяют динамику взаимодействия экспертной системы с базами данных и знаний, модели контроля и диагностики технического состояния авиационного двигателя ТВ3-117. **Выводы**: Разработан комплекс информационных моделей процесса контроля и диагностики технического состояния авиационного двигателя ТВ3-117, на основе технологии IDEF / 1X, что позволило определить логическую структуру и механизмы взаимодействия баз данных и баз знаний в составе разрабатываемой экспертной системы контроля и диагностики технического состояния авиационного двигателя ТВ3-117. Построена

динамическая модель процессов контроля и диагностики технического состояния авиационного двигателя ТВ3-117 на основе IDEF / CPN, что позволило определить требования к механизму логического вывода в процессе выполнения функций контроля и диагностики технического состояния авиационного двигателя ТВ3-117 экспертной системой. Перспективы исследования – завершающим этапом системного моделирования является системный проект, который формирует контуры исследовательского прототипа экспертной системы и перечень требований, реализующих его.

**Ключевые слова:** информационная модель; динамическая модель; экспертная система; авиационный двигатель; база данных; база знаний.

## RESEARCH OF INFORMATION AND DYNAMIC MODELS OF CONTROL AND DIAGNOSTICS OF TV3-117 AIRCRAFT ENGINE TECHNICAL STATE

The **subject** matter of the article is TV3-117 aircraft engine and methods for monitoring and diagnosing its technical condition. The goal of the work is development of information and dynamic models for monitoring and diagnosing the technical condition of TV3-117 aircraft engine to determine the basic requirements for an expert system. The following tasks were solved in the **article**: development of information and dynamic models for monitoring and diagnostics of TV3-117 aircraft engine using the methodology of system analysis. The following **methods** used are – methods of system analysis, methods of system programming, methods of constructing information models. The following **results** were obtained – An information model has been developed that defines the logical structure of databases and knowledge, as well as methods and mechanisms for managing and interacting with them (substantiation of content, content, management of information flows). A dynamic model has been developed that defines the rules for working with an expert system, which is the basis for creating an interface (scenarios) with a user and determines the dynamics of the interaction of an expert system with databases and knowledge, a model for monitoring and diagnosing of TV3-117 aircraft engine technical condition. **Conclusions:** A set of information models was developed for the process of monitoring and diagnosing the technical condition of the TV3-117 aircraft engine, based on IDEF / IX technology, which made it possible to determine the logical structure and mechanisms of interaction between databases and knowledge bases as part of an expert system for monitoring and diagnosing the technical condition of TV3-117 aircraft engine. A dynamic model of the processes for monitoring and diagnosing the technical condition of TV3-117 aircraft engine based on IDEF / CPN was developed, which made it possible to determine the requirements for the inference mechanism in the process of performing the functions of monitoring and diagnosing the technical condition of TV3-117 aircraft engine by an expert system. Research prospects – the final stage of system modeling is a system project that forms the contours of a research prototype of an expert system and a list of requirements that implement it.

**Keywords:** information model; dynamic model; expert system; aircraft engine; database; knowledge base.

### *Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions*

Владов С. І., Шмельов Ю. М., Пилипенко Л. М., Котляров К. Г., Грибанова С. А., Гусарова О. В. Розробка інформаційної та динамічної моделей контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2019. № 4 (40). С. 44–54. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.9.044>.

Vladov, S., Shmelov, Y., Pylypenko, L., Kotliarov, K., Hrybanova, S., Husarova, O. (2019), "Research of information and dynamic models of control and diagnostics of TV3-117 aircraft engine technical state", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 44–54. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.044>.

УДК 004.932

DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.055>

О. М. МАКОВЕЙЧУК

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ТА ВИКОРИСТАННЯ ВІЗУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СТРУКТУР ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

**Предметом** дослідження в статті є інформаційна технологія побудови та використання візуальних інформаційних структур доповненої реальності. **Мета** роботи – розробка інформаційної технології побудови та використання візуальних інформаційних структур доповненої реальності. В статті вирішуються наступні **завдання**: аналіз основних типів візуальних маркерів доповненої реальності (AR-маркерів); формулювання основних вимог до візуальних інформаційних структур доповненої реальності; розробка моделі візуальної інформаційної структури доповненої реальності; розробка моделі стійкого мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності; розробка інформаційної технології побудови і використання візуальних інформаційних структур доповненої реальності; аналіз результатів застосування мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності; оцінка ефективності застосування основних типів візуальних маркерів доповненої реальності. Використовуються такі **методи**: методи цифрової обробки зображень, теорії ймовірності, математичної статистики, криптографії та захисту інформації, математичний апарат теорії матриць. Отримано наступні **результати**: проведено аналіз основних типів візуальних маркерів доповненої реальності; сформульовано основні вимоги до візуальних інформаційних структур доповненої реальності; розроблена модель візуальної інформаційної структури доповненої реальності, яка є результатом послідовного виконання таких операцій: введення надлишковості, проведення стохастичного перепорядкування даних, додавання мозаїчного біт-контейнера; розроблена модель стійкого мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності у вигляді таких процедур: оператор введення надлишковості реалізований у вигляді процедури масштабування бінарного зображення-повідомлення у задане число разів методом найближчого сусіда, оператор стохастичного перепорядкування даних реалізований у вигляді процедури перемішування пікселів за допомогою відомої псевдовипадкової перестановки, оператор додавання мозаїчного біт-контейнера реалізований у вигляді процедури кодування кольором клітинок маркера, які розділяються рамкою з проміжним кольором; розроблена інформаційна технологія побудови і використання візуальних інформаційних структур доповненої реальності; проведено аналіз результатів застосування мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності та оцінка ефективності застосування основних типів візуальних маркерів доповненої реальності. **Висновки**: проведено опис інформаційної технології побудови та використання інформаційних структур доповненої реальності на основі систематизації її науково-прикладних основ. Показано її практичне функціонування на прикладі розробленого стійкого мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності. Подальші дослідження рекомендовано продовжити у напрямку узагальнення розроблених моделей і методів побудови і використання мозаїчних стохастичних маркерів, в яких, на відміну від розглянутих бінарних, будуть використовуватися зображення-повідомлення у градаціях сірого та кольорові. Оскільки прототипування запропонованих алгоритмів проводилося в системі програмування MATLAB, то для побудови працюючого прототипу, пропонується у подальшому перейти до мови програмування C++, що дозволить імплементувати запропоновану інформаційну технологію у вигляді бібліотек для використання на мобільних платформах Android та iOS.

**Ключові слова**: інформаційна технологія; візуальна інформаційна структура; мозаїчний маркер; доповнена реальність.

### Вступ

Згідно прогнозів банку Goldman Sachs [1] та інших (див., наприклад, [2]–[3]) щодо розвитку ринку систем віртуальної та доповненої реальності до 2025-го року, за обсягом оборотів і прибутку ринок буде поділений на такі сегменти (в порядку спадання): ігри, медицина, освіта, військова сфера, виробництво і транспорт, кіно і телебачення, онлайн-трансляції, підготовка та навчання співробітників, маркетинг і реклама, роздріб/онлайн-комерція, торгівля нерухомістю.

Для отримання додаткової інформації про довільні об'єкти у переважній більшості випадків будуть використовуватися маркерні системи доповненої реальності.

Існуючі візуальні маркери доповненої реальності (окрім штрих-кодових маркерів) не містять в собі додаткового інформаційного повідомлення і використовуються тільки для визначення просторового положення камери, що суттєво звужує область їх застосування [4]–[5]. Тому є сенс ввести поняття візуальної інформаційної структури (ВІС) доповненої реальності, що узагальнює поняття

AR-маркера і відрізняється від нього наявністю заковданого повідомлення.

### Аналіз проблеми та існуючих методів

Основні типи візуальних маркерів доповненої реальності (AR-маркерів) описано у роботах [4]–[6]:

- шаблонні маркери (template markers) – чорно-білі маркери, які мають просте зображення всередині чорної рамки (рис. 1, а) [7];

- 2D штрих-кодові маркери (barcode markers) – маркери, що складаються з чорно-білих клітинок, які по-бітово кодують дані, і, іноді, рамки або області синхронізації. Найчастіше в якості штрих-кодових AR-маркерів використовують QR-коди (рис. 1, б) [8];

- колові маркери (circular markers) – аналогічно до штрих-кодових маркерів, тільки біти кодуються не прямокутними клітинками, а чорно-білими круговими секторами (рис. 1, в);

- маркери-зображення (image markers) – в якості маркерів використовуються звичайні зображення, як кольорові, так і зображення в градаціях сірого (рис. 1, г). Вони можуть містити рамку або інші орієнтири для виявлення та знаходження положення.

Такі маркери-зображення зазвичай ідентифікуються за допомогою пошуку по шаблону або по особливостях зображення [9]–[11].



Рис. 1. Основні типи AR-маркерів: а) шаблонні маркери; б) штрих-кодові маркери; в) колові маркери; г) маркери-зображення

В роботі [12] запропоновано модель стійкого мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності, що є частковим випадком ВІС і задовольняє всім вказаним вимогам (рис. 2), у [13] подано науково-прикладні основи побудови і використання таких маркерів.



Рис. 2. Стійкий мозаїчний стохастичний маркер доповненої реальності

Тим не менш, на даний момент немає систематизованого викладу інформаційної технології побудови та використання ВІС доповненої реальності.

**Метою** даної статті є розробка інформаційної технології побудови та використання візуальних інформаційних структур доповненої реальності.

### Вирішення завдання

В [13] розроблені науково-прикладні основи побудови та використання візуальних інформаційних структур доповненої реальності на прикладі стійких маркерів доповненої реальності (рис. 3).

Сформулюємо основні вимоги до візуальних інформаційних структур доповненої реальності:

1) помітність: ВІС повинні легко і швидко знаходитися у відео-поточці; дана вимога дозволяє врахувати асинхронну багатозадачність – властивість операційної системи пристрою, на якому інстальовано додаток доповненої реальності, забезпечувати можливість паралельної (або псевдопаралельною) обробки декількох процесів; при цьому процес виявлення кандидатів ВІС виконується постійно, отже він повинен використовувати мінімальну кількість обчислювальних ресурсів і виконуватися з частотою, що співмірна частоті отримання кадрів відео-поточку (а в ідеалі дорівнює їй); вимога помітності мінімізує кількість помилок II роду – у даному випадку пропуск кадра, на якому присутні ВІС;

2) простота: ВІС повинні бути побудовані з використанням мінімальної кількості кольорів (або градацій сірого); дана вимога тісно пов'язана з вимогами помітності та універсальності (див. нижче), оскільки мінімальна кількість кольорів дозволяє спростити і уніфікувати алгоритми виявлення, при виконанні вимоги простоти ВІС буде суттєво відрізнятися від фону; окрім того, при створенні ВІС суттєво зменшуються вимоги по точності відтворення кольорів, що здешевлює процес;

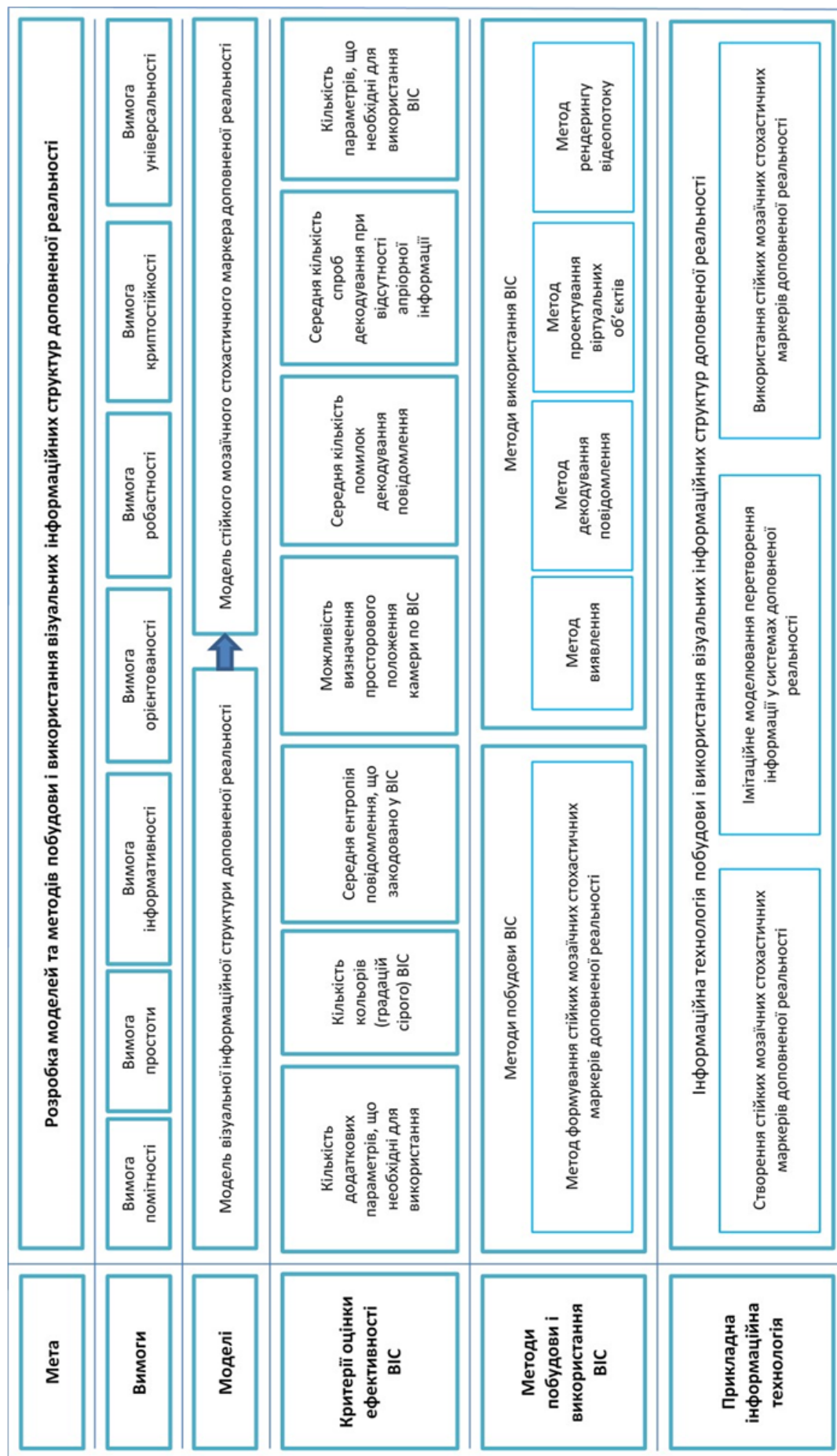


Рис. 3. Науково-прикладні основи побудови та використання візуальних інформаційних структур доповненої реальності на прикладі стійких маркерів доповненої реальності

3) інформативність: ВІС повинні містити додаткову інформацію (повідомлення); дана вимога – основна, яка відрізняє ВІС від існуючих типів візуальних маркерів доповненої реальності; наявність додаткової інформації дозволяє суттєвим чином розширити сферу застосування ВІС, в першу чергу завдяки розширенню інтерактивності і універсальності застосувань; ВІС, будучи узагальненням і візуальних маркерів, і матричних кодів, можуть застосовуватися, як в системах доповненої реальності, так і в системах, де традиційно використовуються матричні коди (двовимірні штрих-коди або QR-коди), що призводить до повної інтеграції цих технологій;

4) орієнтованість: ВІС повинні дозволяти визначати положення камери в момент отримання кожного кадру, де виявлено ВІС; дана вимога є основою для тривимірного представлення об'єктів в процесі комбінування реального та віртуального світу, що є ключовими ознаками доповненої реальності; з урахуванням вимоги універсальності (див. нижче) поняття орієнтованості слід розуміти розширено – ВІС повинні дозволяти проводити внутрішнє калібрування камери по самому зображенню ВІС; таким чином, орієнтованість означає можливість визначення, як зовнішніх, так і внутрішніх параметрів калібрування; дана вимога дозволяє розширити можливу область застосування ВІС для їх використання як калібраційних маркерів; зауважимо, що традиційні візуальні маркери дозволяють визначати тільки матрицю зовнішнього калібрування (розташування камери у просторі), що призводить до використання спрощених алгоритмів тривимірного представлення об'єктів і це представлення не є фізично точним;

5) робастність: ВІС повинні задовольняти вимоги інформативності та робастності при втраті до 50% інформації про ВІС (наприклад, при закритті зображення ВІС завадою чи фізичній відсутності будь-якої частини ВІС); дана вимога дозволяє масово використовувати інформаційні технології на основі ВІС на практично всіх мобільних пристроях, що вийшли на ринок за останні 2-3 роки; дана вимога дозволяє з меншими затратами задовільнити вимогу помітності і проводити обробку ВІС, оскільки дозволяє спростити алгоритми обробки за рахунок втрати частини інформації;

6) криптостійкість: повідомлення, що закодоване у ВІС повинно бути стійким до криптоатак; дана вимога дозволяє ширше використовувати ВІС у військовій, медичній та інших галузях, де необхідно забезпечити конфіденційність даних; зауважимо, що для матричних кодів (двовимірних штрих-кодів або QR-кодів) дана вимога не висувається;

7) універсальність: технології обробки ВІС повинні використовувати мінімум апріорної інформації; дана вимога розуміється перш за все, як незалежність алгоритмів від даних – при переході до кожної конкретної реалізації ВІС (наприклад, у вигляді стійкого мозаїчного візуального маркера), реалізація основних методів виявлення ВІС, декодування повідомлення, тривимірного

представлення об'єктів та інших повинна залишатися без змін (з точністю до заміни набору констант).

*Модель візуальної інформаційної структури* може бути представлена як результат послідовного виконання таких операцій:

1) введення надлишковості:

$$f = \hat{S}f_0, \quad (1)$$

де  $f_0$  – зображення-повідомлення;  $f$  – зображення із надлишковістю;  $\hat{S}$  – оператор введення надлишковості;

2) проведення стохастичного перевпорядкування даних:

$$g = \hat{P}f, \quad (2)$$

де  $g$  – перевпорядковане зображення;  $\hat{P}$  – оператор стохастичного перевпорядкування;

3) додавання мозаїчного біт-контейнера:

$$\gamma = \hat{B}g, \quad (3)$$

де  $\gamma$  – зображення мозаїчного стохастичного маркера;  $\hat{B}$  – оператор контейнеризації даних.

Отже, в операторній формі у загальному вигляді дана модель може бути представлена як

$$\gamma = \hat{B}\hat{P}\hat{S}f_0, \quad (4)$$

де використано позначення, що введені вище.

*Модель стійкого мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності* (див. рис. 2) отримується як конкретна реалізація ВІС доповненої реальності, для чого в роботі [5] запропоновано реалізувати оператори (1)–(3) у вигляді таких процедур:

1. Оператор введення надлишковості  $\hat{S}$  пропонується реалізувати у вигляді процедури масштабування бінарного зображення-повідомлення (рис. 4, а) у задане число разів  $k$  методом найближчого сусіда, що можна формалізувати у вигляді (рис. 4, б):

$$f^{(m,n)}(i,j) = f_0(m,n), \quad (5)$$

де, як і раніше,  $f_0$  – зображення-повідомлення;  $f$  – блочно-збільшене зображення;  $(m,n)$  – координати пікселів у зображенні-повідомленні і, відповідно, блоків у збільшеному зображенні;  $(i,j) = 0..k-1$  – координати пікселів в межах кожного блоку. Теоретична оцінка допустимого розміру блоку  $k$  отримується на основі аналізу умови робастності.

2. Оператор стохастичного перевпорядкування даних  $\hat{P}$  пропонується реалізувати у вигляді процедури перемішування пікселів за допомогою відомої псевдовипадкової перестановки  $p$ , що можна записати у вигляді (рис. 4, в):

$$g^{(m',n')} = f^{(m',n')}[p], \quad (6)$$

де  $g$  – блочно-перматоване зображення; індекси  $(m',n')$ , нумерують блоки.

Зауважимо, що розмір блоку перемішування  $b$  у загальному випадку не співпадає з  $k$ . Теоретична оцінка допустимого розміру блоку перемішування  $b$  отримується на основі аналізу умови криптостійкості.

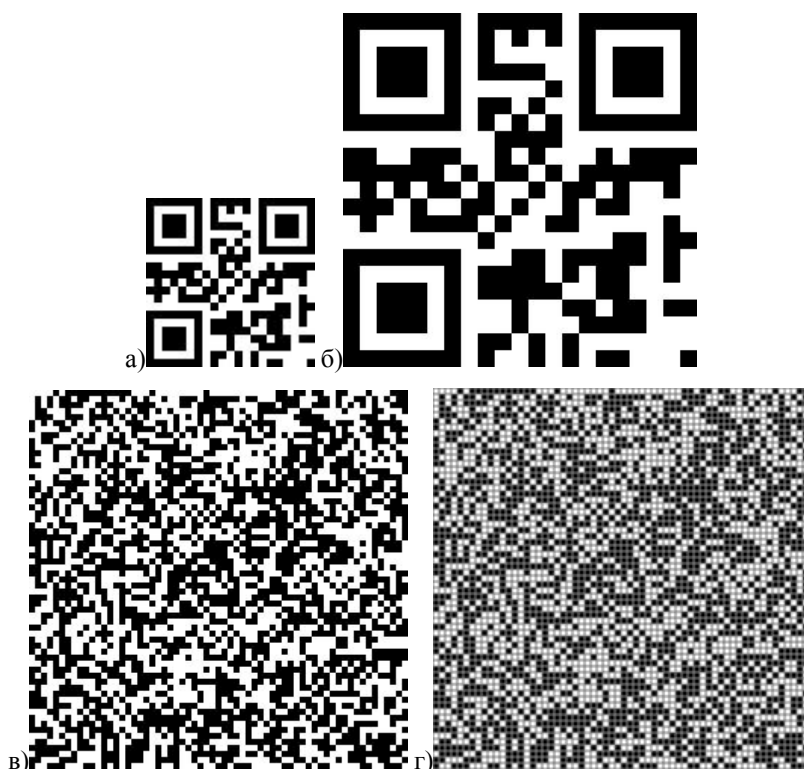
$$\gamma^{(m'',n'')} (i, j) = \begin{cases} c_1 g(m'', n'') + c_0 (1 - g(m'', n'')), & a_1 < (i, j) < a_0 - a_1 \\ c_2, & (i, j) \leq a_1, (i, j) \geq a_0 - a_1 \end{cases}, \quad (7)$$

де  $(m'',n'')$  – координати пікселів у перматованому зображенні  $g$  і, відповідно, блоків у зображенні маркера  $\gamma$ ;  $(i, j) = 0..a_0 - 1$  – координати пікселів в межах кожного блоку;  $a_0$  – розмір клітинки;  $a_1$  –

3. Оператор додавання мозаїчного біт-контейнера  $\hat{B}$  пропонується реалізувати у вигляді процедури кодування кольором клітинок маркера, які розділяються рамкою з проміжним кольором. Зображення  $g$  є бінарним, кожен піксель його піксель приймає значення 0 і 1, які кодуються кольорами клітинок маркера  $c_0$  і  $c_1$  відповідно; клітинки розділяються рамкою з проміжним кольором  $c_2$ , що можна записати у вигляді (рис. 4, г):

розмір рамки. Теоретична оцінка значень кольорів  $c$  отримується на основі аналізу умови простоти.

Основні критерії оцінки ефективності ВІС доповненої реальності наведено у табл. 1.



**Рис. 4.** Результати основних процедур методу формування мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності: а) зображення-повідомлення (QR-код розміром  $N = 21$ , в якому закодовано повідомлення "Hello, world!"); б) попереднє зображення, збільшене в  $k = 3$  рази; в) перматоване зображення; г) зображення AR-маркера

**Таблиця 1.** Критерії оцінки показників ефективності

Показник	Критерій оцінки
Помітність	Середній час детекції тестових ВІС в однакових умовах спостереження, сек
Простота	Кількість кольорів (градацій сірого), число
Інформативність	Середня ентропія повідомлення, що закодовано у ВІС, біт
Орієнтованість	Можливість визначення просторового положення камери, так/ні
Робастність	Середня кількість помилок декодування повідомлення (в залежності від типу і рівня помилок), число
Криптостійкість	Середня кількість спроб, що необхідні для оптимального алгоритму декодування при відсутності додаткової апріорної інформації, число
Універсальність	Кількість додаткових параметрів, що необхідні для використання ВІС, число

В IDEF0-нотації *основний процес методу формування ВІС доповненої реальності* на вході має текстові повідомлення (зазвичай представляє собою url-посилання на інформаційний ресурс); управління представляє собою вимоги помітності, простоти, інформативності, орієнтованості, робастності, криптостійкості та універсальності; механізмами є сам користувач, генератор QR-кодів (або інший кодер, що перетворює повідомлення у зображення), система програмування MATLAB [14], що використовується

для прототипування функцій і процедур методу, а також спеціалізовані модулі MATLAB, такі як Statistics and Machine Learning Toolbox [15], Image Processing Toolbox [16], Computer Vision Toolbox [17]; на виході маємо зображення мозаїчного стохастичного AR-маркера.

Основний процес методу формування ВІС (на прикладі формування мозаїчного стохастичного AR-маркера) наведено на рис. 5, декомпозиція основного процесу – на рис. 6.

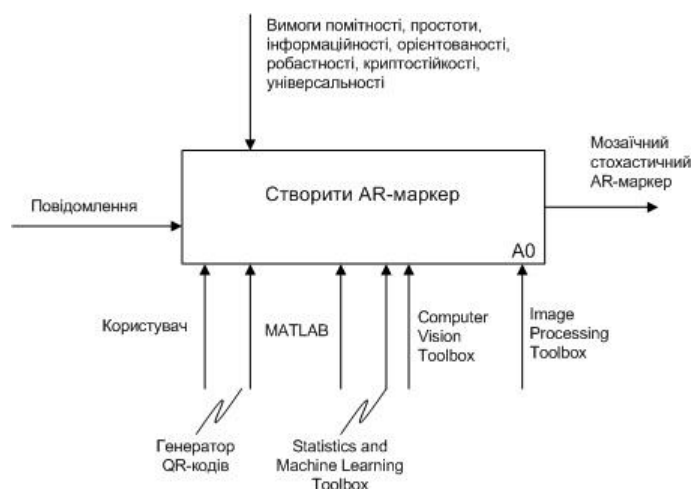


Рис. 5. Основний процес методу формування маркера

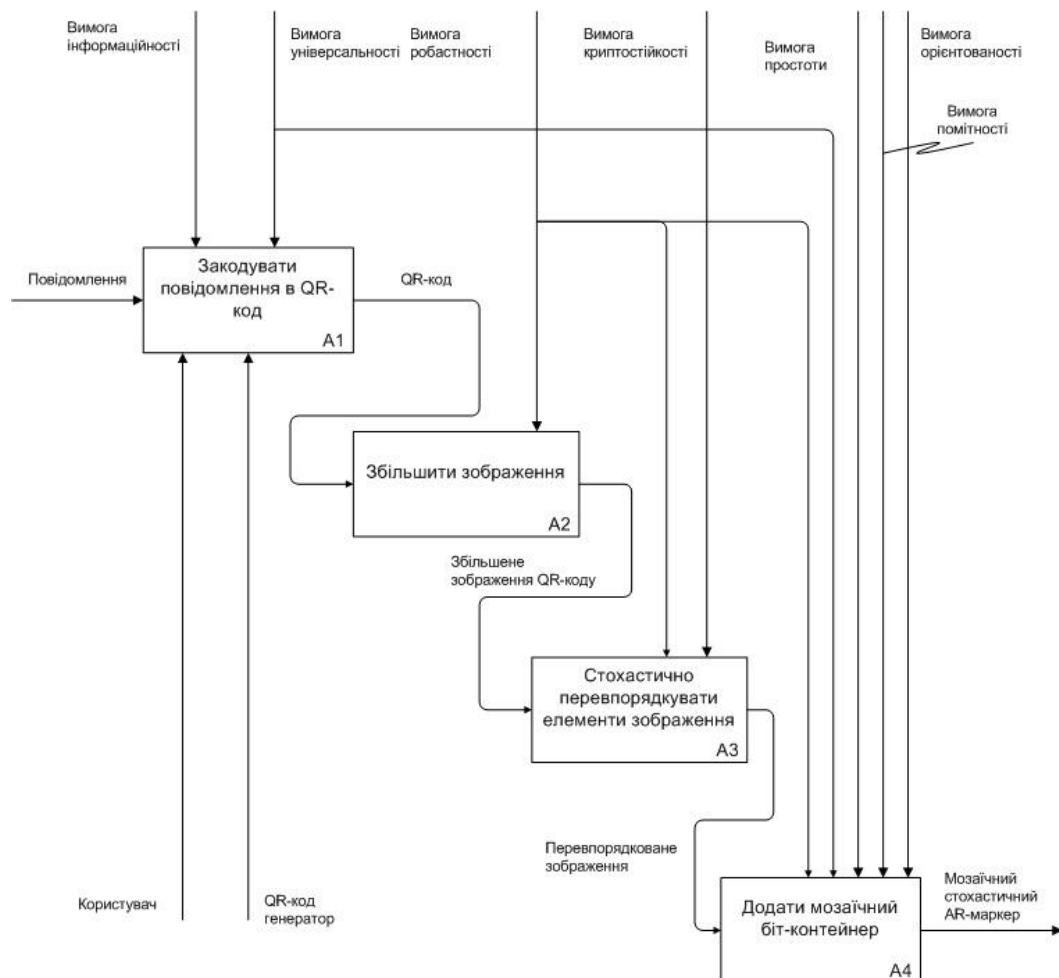


Рис. 6. Декомпозиція основного процесу методу формування маркера

Декомпозиція основного процесу проводиться на 4 підпроцеси:

1) закодувати повідомлення у QR-код:

- вхід – повідомлення;
- вихід – зображення-повідомлення (QR-код у даному випадку);
- управління – вимоги інформативності та робастності;
- механізми – користувач і генератор QR-кодів;

2) збільшити зображення:

- вхід – зображення-повідомлення;
- вихід – збільшене зображення;
- управління – вимога робастності;
- механізми – система програмування MATLAB, спеціалізований модуль Image Processing Toolbox;

3) стохастично перевпорядкувати елементи зображення:

- вхід – збільшене зображення;
- вихід – перевпорядковане зображення;
- управління – вимоги робастності та криптостійкості;

- механізми – система програмування MATLAB, спеціалізований модуль Statistics and Machine Learning Toolbox;

4) додати мозаїчний біт-контейнер:

- вхід – перевпорядковане зображення;

- вихід – зображення мозаїчного стохастичного AR-маркера;

- управління – вимоги помітності, простоти, орієнтованості, робастності та універсальності;

- механізми – система програмування MATLAB, спеціалізовані модулі Image Processing Toolbox та Computer Vision Toolbox.

Розглянемо в IDEF0-нотації основний процес використання ВІС (на прикладі мозаїчного стохастичного візуального маркера) доповненої реальності (рис. 7).

Вхід процесу – сцена доповненої реальності, що представляє собою область реального світу, де знаходиться користувач. Сцена містить в області прямої видимості мозаїчний стохастичний маркер доповненої реальності.



Рис. 7. Основний процес використання мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності

Управління представляє собою набір вимог до ВІС (вимоги помітності, простоти, інформативності, орієнтованості, робастності, криптостійкості та універсальності); специфікації смартфона; математичні і чисельні методи (методи дискретної математики, методи оптимізації, дескриптивна статистика, аналітична геометрія, лінійна алгебра, гомографія, математична морфологія, методи бінарзації, методи сегментації).

Механізмами є сам користувач, смартфон (чи будь-яка інша система, що дозволяє отримати фото), система програмування MATLAB, що використовується для прототипування процесів, а також спеціалізовані модулі MATLAB, такі як Statistics and Machine Learning Toolbox, Image

Processing Toolbox, Computer Vision Toolbox, Optimization Toolbox.

На виході маємо декодоване повідомлення, віртуальний 3d об'єкт, що проєктується на площину AR-маркера, процес рендерингу відео-потoku в області AR-маркера.

Декомпозиція основного процесу використання проводиться на 2 підпроцеси 1 рівня (рис. 8):

1) сфотографувати AR-маркер:

- вхід – AR-сцена;

- вихід – зображення мозаїчного статистичного AR-маркера;

- управління – набір вимог до візуальних AR-маркерів (вимоги помітності, простоти, інформативності, орієнтованості, робастності,

крипостійкості та універсальності); специфікації смартфона;

- механізми – користувач, смартфон;

2) *використати AR-маркер*:

- вхід – зображення мозаїчного статистичного AR-маркера;

- вихід – декодоване повідомлення, віртуальний 3d об'єкт, що проєктується на площину AR-маркера, процес рендерингу відео-потoku в області AR-маркера;

- управління – набір вимог до візуальних AR-маркерів (вимоги помітності, простоти, інформативності, орієнтованості, робастності, криптостійкості та універсальності); специфікації

смартфона; математичні і чисельні методи (методи дискретної математики, методи оптимізації, дескриптивна статистика, аналітична геометрія, лінійна алгебра, гомографія, математична морфологія, методи бінаризації, методи сегментації);

- механізми – система програмування MATLAB, що використовується для прототипування, спеціалізовані модулі MATLAB (Statistics and Machine Learning Toolbox, Image Processing Toolbox, Computer Vision Toolbox, Optimization Toolbox).

Результати застосування мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності наведено на рис. 9.

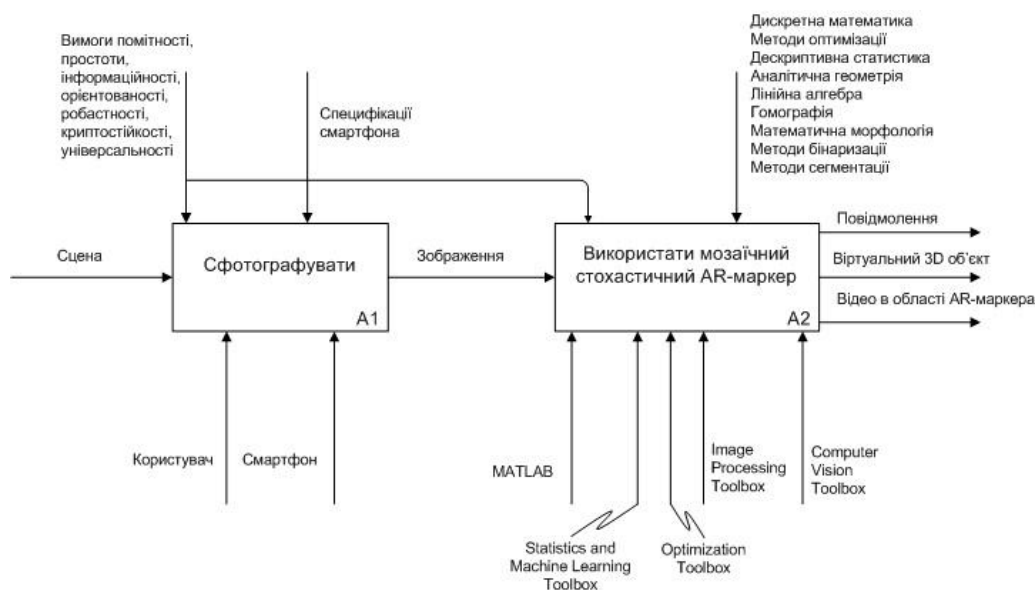


Рис. 8. Декомпозиція основного процесу застосування мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності

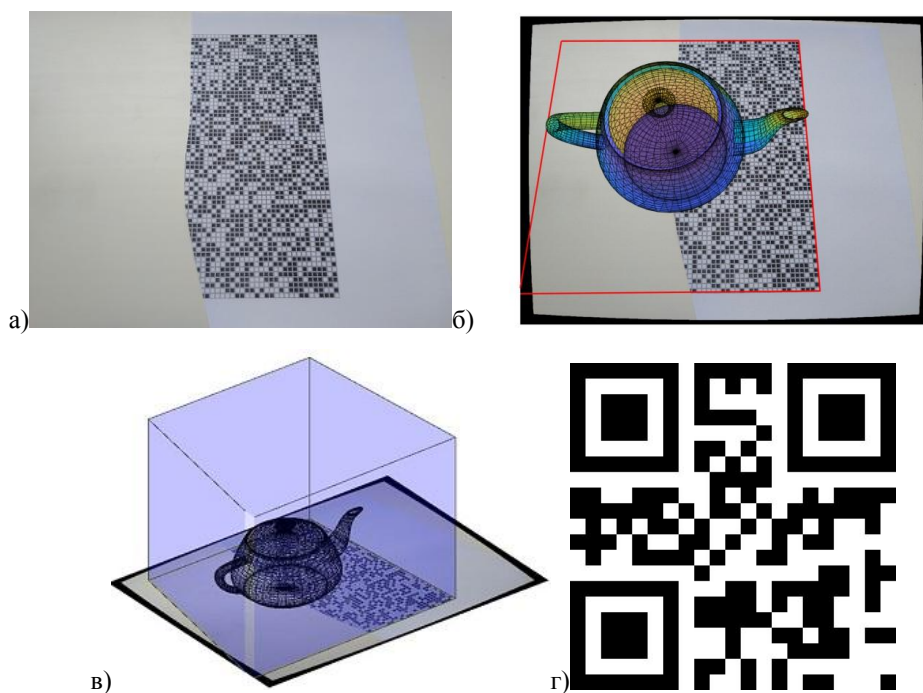


Рис. 9. Приклад використання мозаїчного стохастичного AR-маркера: а) вихідне зображення; б) точний метод проєкування віртуального 3d об'єкту в область маркера; в) спрощений метод проєкування віртуального 3d об'єкту в область маркера; г) декодоване зображення-повідомлення

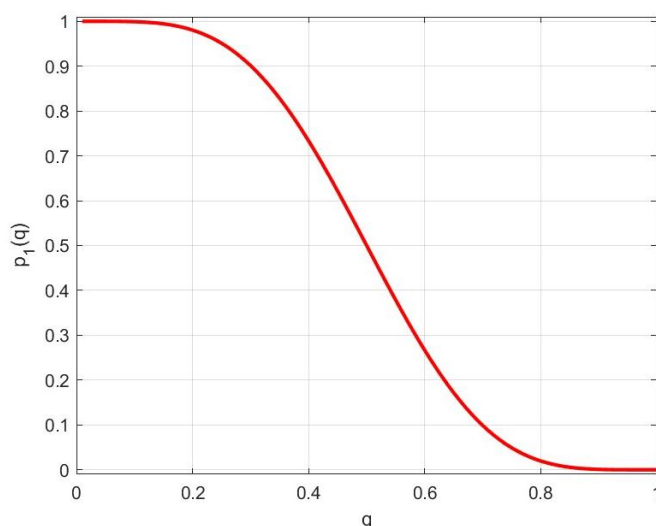
В якості критерію оцінки такого показника, як робастність, запропоновано використовувати кількість помилково декодованих бітів повідомлення  $n_e$ .

Порахуємо спочатку імовірність правильної відновлюваності повідомлення при неправильному розпізнаванні (інверсії) частини бітів. Нехай імовірність інверсії бітів є  $q$ . Як було вказано вище, кожен біт дублюється  $k^2$  разів (матрицею  $k \times k$ ). Клітинка відновиться правильно за умови, що кількість правильно розпізнаних бітів є більшою за

кількість інвертованих. Імовірність такої події  $p_1(q)$  задається кумулятивним біноміальним розподілом:

$$p_1(q) = 1 - \sum_{i=0}^{\frac{k^2}{2}} \binom{k^2}{i} q^i (1-q)^{k^2-i}. \quad (8)$$

Графік теоретично розрахованої імовірності відновлення даних в залежності від імовірності інверсії бітів показано на рис. 10.



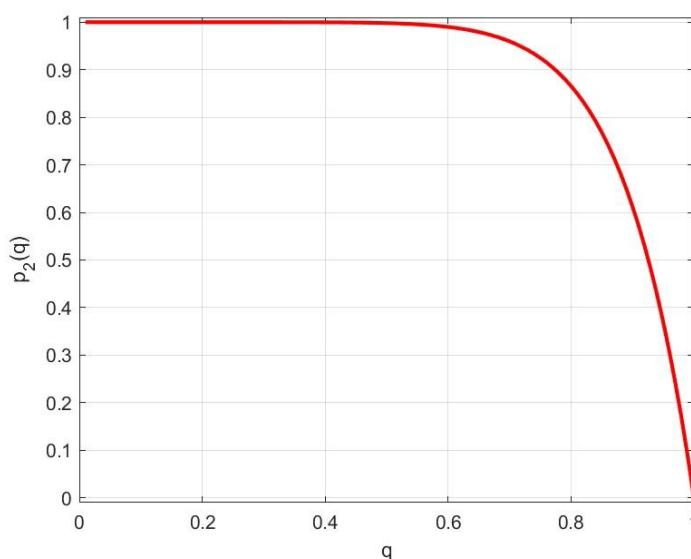
**Рис. 10.** Графік теоретично розрахованої за виразом (8) імовірності відновлення даних в залежності від імовірності інверсії бітів

Знайдемо тепер умову правильної відновлюваності повідомлення при втраті частини зображення, при цьому вважається, що всі розпізнані біти були розпізнані правильно, тобто похибка виникає тільки внаслідок втрати частини бітів. Нехай імовірність втрати біта є  $q$ , при цьому, як було вказано вище, кожен піксель ми дублювали  $k^2$  разів. Клітинка відновиться правильно за умови, що в її межах знайдеться хоча б один правильно знайдений

біт, імовірність такої події  $p_2(q)$  легко розраховується:

$$p_2(q) = 1 - q^{k^2}. \quad (9)$$

Графік теоретично розрахованої імовірності відновлення даних в залежності від імовірності пропуску бітів показано на рис. 11.



**Рис. 11.** Графік теоретично розрахованої за виразом (9) імовірності пропуску даних в залежності від імовірності інверсії бітів

Оскільки обидві події (інверсія біта чи його втрата) є незалежними, то загальна імовірність правильного розпізнавання  $p$  буде даватися добутком

$$p(q_1, q_2) = p_1(q_1) \cdot p_2(q_2). \quad (10)$$

Якщо QR-код має розмір  $N \times N$  клітинок, то математичне очікування  $n_e$  кількості невідновлених клітинок є

$$n_e = (1-p)N^2, \quad (11)$$

а умова правильного розпізнавання QR-коду запишеться як

$$n_e \leq 1 \quad (12)$$

(вважатимемо, що за рахунок певної надлишковості QR-коду, допускається 1 нерозпізнана клітинка, на практиці надлишковість забезпечується використанням кодів Ріда-Соломона [18] і він розпізнається правильно за відсутності більше ніж 1 клітинки).

Таким чином, отримуємо умову правильного розпізнавання:

$$p > 1 - \frac{1}{N^2}. \quad (13)$$

На рис. 12 зображено область допустимих значень імовірностей  $q_1$  і  $q_2$  при яких виконується умова (13).

Якщо враховувати тільки помилки, що виникають внаслідок втрати бітів, то нерівність (13), можна записати як

$$(1-q)^{k^2} N^2 \leq 1, \quad (14)$$

звідки знаходимо умову для визначення  $k$ :

$$k > \sqrt{-\frac{2 \ln N}{\ln(1-q)}} \quad (15)$$

(зауважимо при цьому, що підкореневий вираз буде додатним, оскільки за визначенням  $q < 1$ , отже  $\ln(1-q) < 0$ ).

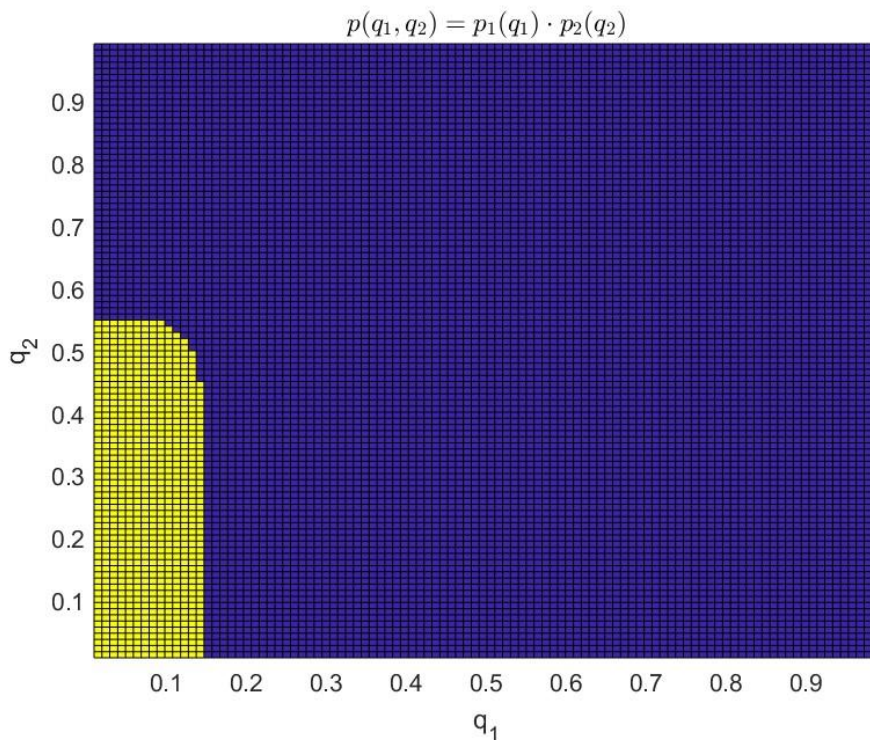


Рис. 12. Область допустимих значень імовірностей  $q_1$  і  $q_2$

Для QR-коду, як вже було вказано, мінімальне значення розміру  $N = 21$  [18], при  $q = 1/2$  (вимога робастності), отримуємо за формулою (2.16), що  $k > 2.96$ , отже мінімальне значення  $k = 3$ .

Таким чином, для запропонованої моделі мозаїчного стохастичного маркера теоретична оцінка кількості помилково декодованих бітів повідомлення  $n_e < 1$  при імовірності втрати бітів повідомлення

$q \leq 1/2$  (значення коефіцієнта дублювання при цьому  $k^2 = 9$ ).

Порівняльні оцінки показників ефективності для основних типів візуальних AR-маркерів – розробленого мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності, а також шаблонного, колового, штрих-кодового (QR-код) маркерів і маркера-зображення, зведено у табл. 2.

Таблиця 2. Порівняльні оцінки показників ефективності

Показник	Теоретична оцінка	Експериментальна оцінка				
		мозаїчний стохастичний AR-маркер	шаблонний AR-маркер	коловий AR-маркер	штрих-кодовий AR-маркер	AR-маркер-зображення
Помітність, $\tau_D$	<1/30 сек	<1/30 сек	<1/30 сек	<1/30 сек	<3/30 сек	<5/30 сек
Простота, $n_c$	3 бінарне з проміжним кольором	3 бінарне з проміжним кольором	2 бінарне	2 бінарне	2 бінарне	3x256 кольорове
Інформативність, $e_m$	$1/k^2$	1/9	0	~0	~1/2	0
Орієнтованість	+	+	+	+	+	+
Робастність, $n_e$	$n_e < 1$	~0	-	-	~2-3	-
Криптовійкість, $n_p$	$n_p = (b^2)!$	$n_p \sim 64!$	-	-	-	-
Універсальність	~1	~1	~1	~1	~10	~100

Примітка 1. Оцінка помітності (як середній час дектування тестових ВІС в однакових умовах спостереження, сек) знаходилася для смартфона Nokia 6 Plus (операційна система Android 9), при створенні тестової аплікації використовувалась бібліотека обробки зображень OpenCV 4.1.1 [19].

Примітка 2. Оцінка інформативності QR-коду залежить від заданого рівня надлишковості, що використовується при його створенні і площі синхронізаційних областей, які не використовуються при кодуванні повідомлення.

Примітка 3. Всі оцінки інформативності і робастності розраховувались для значення коефіцієнта масштабування  $k = 3$ , при якому, як показано в [13], для мозаїчних стохастичних AR-маркерів повідомлення гарантовано відновлюється при втраті до 1/2 площі маркера.

Примітка 4. Оцінка криптовійкості для розміру блоку пермутації  $b$  буде  $n_p = (b^2)!$ , якщо виконується умова [20]:

$$b > r_p = \frac{D(f)}{\frac{1}{4}|\nabla f|^2}, \quad (16)$$

де введено пермутаційний радіус  $r_p$ ;  $D(f)$  – дисперсія зображення  $f$ ;  $\nabla f$  – градієнт зображення  $f$ . Якщо умова (16) не виконується, то  $n_p \sim \log(b^2)!$ . Для типових бінарних зображень значення  $r_p \sim 1$ , а процедура масштабування методом найближчого сусіда збільшує пермутаційний радіус у  $k$  разів (див. [20], [21]), отже  $r_p \sim k$ . Для значення  $k = 3$  і типового

значення розміру блоку пермутації  $b = 8$  умова (16) очевидно виконується.

Таким чином, основними складовими інформаційної технології побудови і використання візуальних інформаційних структур доповненої реальності є методи створення і використання стійких мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності та методи імітаційного моделювання перетворення інформації у системах доповненої реальності.

## Висновки

У роботі проведено опис інформаційної технології побудови та використання інформаційних структур доповненої реальності на основі систематизації її науково-прикладних основ. Показано її практичне функціонування на прикладі розробленого стійкого мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності.

Подальші дослідження рекомендовано продовжити у напрямку узагальнення розроблених моделей і методів побудови і використання мозаїчних стохастичних маркерів, в яких, на відміну від розглянутих бінарних, будуть використовуватися зображення-повідомлення у градаціях сірого та кольорові.

Оскільки прототипування запропонованих алгоритмів проводилося в системі програмування MATLAB, то для побудови працюючого прототипу, пропонується у подальшому перейти до мови програмування C++, що дозволить імплементувати запропоновану інформаційну технологію у вигляді бібліотек для використання на мобільних платформах Android та iOS.

## Список літератури

1. Goldman Sachs. Global Investment Research, 2019 : Веб-сайт. URL: <https://www.goldmansachs.com/careers/divisions/global-investment-research/> (дата звернення: 30.11.2019).

2. Top VR Trends in 2019 : Веб-сайт. URL: <https://xd.adobe.com/ideas/principles/emerging-technology/10-vr-trends-well-see-2019/> (дата звернення: 25.10.2019).
3. Facebook Research. AR/VR-Facebook Research. 2019 : Веб-сайт. URL: <https://research.fb.com/category/augmented-reality-virtual-reality> (дата звернення: 25.11.2019).
4. Siltanen S. Theory and applications of marker-based augmented reality. VTT Science 3. Espoo, 2012. 198 p. + app. 43 p.
5. Лямов Ю. О. Технология дополненной реальности. *Современная техника и технологии*. 2014. № 9 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2014/09/4567> (дата обращения: 07.02.2019).
6. AR–Дополненная Реальность (статья плюс ролик) : Веб-сайт. URL: <https://habr.com/ru/post/419437/> (дата звернення: 25.11.2019).
7. Xiang Zhang, Stephan Fronz, Nassir Navab. Visual Marker Detection and Decoding in AR Systems: A Comparative Study. Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality. 2002. P. 1–7.
8. Kei Otsuka (2019). QR Code reader example. MATLAB Central File Exchange : Веб-сайт. URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/71090-qr-code-reader-example> (дата звернення: 13.09.2019)
9. Object Detection in a Cluttered Scene Using Point Feature Matching : Веб-сайт. URL: <https://www.mathworks.com/help/vision/examples/object-detection-in-a-cluttered-scene-using-point-feature-matching.html> (дата звернення: 25.11.2019).
10. Bolohova N., Ruban I. Image processing models and methods research and ways of improving marker recognition technologies in added reality systems. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2019. No.1 (7). P. 25–33. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.7.025>
11. Daniel J. Thomas Augmented reality in surgery: The Computer-Aided Medicine revolution. *International Journal of Surgery*. 36 (Pt A): 25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijso.2016.10.003>. ISSN 1743-9159. PMID 27741424
12. Маковейчук О. М. Новый тип маркерів доповненої реальності. *Сучасні інформаційні системи*. 2019. Т. 3. № 3. С. 43–48.
13. Маковейчук О. М. Науково-прикладні основи побудови стійких маркерів доповненої реальності. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2019. № 6 (44). С. 133–137.
14. MATLAB : Веб-сайт. URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> (дата звернення: 25.11.2019).
15. Statistics and Machine Learning Toolbox : Веб-сайт. URL : <https://www.mathworks.com/products/statistics.html> (дата звернення: 25.11.2019).
16. Image Processing Toolbox : Веб-сайт. URL : <https://www.mathworks.com/products/image.html> (дата звернення: 25.11.2019).
17. Computer Vision Toolbox : Веб-сайт. URL : <https://www.mathworks.com/products/computer-vision.html> (дата звернення: 25.11.2019).
18. QR Code features. Denso-Wave. Archived from the original on 29 January 2013. : Веб-сайт. URL : <https://web.archive.org/web/20130129064920/http://www.qrcode.com/en/qrfeature.html> (дата звернення: 25.11.2019).
19. OpenCV 4.1.1 : Веб-сайт. URL : <https://opencv.org/opencv-4-1-1/> (дата звернення: 25.11.2019).
20. Маковейчук О. М., Рубан І. В., Худов Г. В. Використання генетичних алгоритмів для знаходження інверсних псевдовипадкових блочних перестановок. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2019. № 4 (56). С. 72–81.
21. Красильщиков М. Н., Себряков Г. Г. (ред.). Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов. М. : Физматлит, 2009. 556 с. ISBN: 978-5-9221-1168-3.

## References

1. Goldman Sachs, "Global Investment Research", available at : <https://www.goldmansachs.com/careers/divisions/global-investment-research/> (last accessed 30.11.2019).
2. "Top VR Trends in 2019", available at : <https://xd.adobe.com/ideas/principles/emerging-technology/10-vr-trends-well-see-2019/> (last accessed 25.10.2019).
3. "Facebook Research. AR/VR-Facebook Research", available at : <https://research.fb.com/category/augmented-reality-virtual-reality> (last accessed 25.11.2019).
4. Siltanen, S. (2012), *Theory and applications of marker-based augmented reality*, VTT Science 3, Espoo, 198 p. + app. 43 p.
5. Lyamov, Yu. O. (2014), "Augmented Reality Technology" ["Tehnologiya dopolnennoj realnosti"], *Sovremennaya tehnika i tehnologii*, No. 9, available at : <http://technology.snauka.ru/2014/09/4567> (last accessed 07.02.2019).
6. "AR–Dopolnennaya Realnost", available at : <https://habr.com/ru/post/419437/> (last accessed 25.11.2019).
7. Zhang, X., Fronz, S., Navab, N. (2002), "Visual Marker Detection and Decoding in AR Systems: A Comparative Study", *Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, P. 1–7.
8. Otsuka, K., "QR Code reader example. MATLAB Central File Exchange", available at : <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/71090-qr-code-reader-example> (last accessed 13.09.2019).
9. "Object Detection in a Cluttered Scene Using Point Feature Matching", available at : <https://www.mathworks.com/help/vision/examples/object-detection-in-a-cluttered-scene-using-point-feature-matching.html> (last accessed 25.11.2019).
10. Bolohova N., Ruban I. (2019), "Image processing models and methods research and ways of improving marker recognition technologies in added reality systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No.1 (7), P. 25–33. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.7.025>
11. Thomas, Daniel J. (2016), "Augmented reality in surgery: The Computer-Aided Medicine revolution", *International Journal of Surgery*, 36 (Pt A): 25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijso.2016.10.003>
12. Makoveychuk, O. (2019), "A new type of augmented reality markers" ["Novij tip markeriv dopovnenoyi realnosti"], *Advanced Information Systems*, No. 3 (3), P. 43–48. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.3.06>
13. Makoveychuk, O. (2019), "Scientific and applied basics of building sustainable augmented reality markers" ["Naukovo-prikladni osnovi pobudovi stijkih markeriv dopovnenoyi realnosti"], *Sistemi upravlinnya, navigaciyi ta zv'yazku*, No. 6 (44), P. 133–137.
14. "MATLAB", available at : <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> (last accessed 25.11.2019).
15. "Statistics and Machine Learning Toolbox", available at : <https://www.mathworks.com/products/statistics.html> (last accessed 25.11.2019).

16. "Image Processing Toolbox", available at : <https://www.mathworks.com/products/image.html> (last accessed 25.11.2019).
17. "Computer Vision Toolbox", available at : <https://www.mathworks.com/products/computer-vision.html> (last accessed 25.11.2019).
18. "OpenCV 4.1.1", available at : <https://opencv.org/opencv-4-1-1/> (last accessed 25.11.2019).
19. "QR Code features". Denso-Wave. Archived from the original on 29 January 2013. available at : <https://web.archive.org/web/20130129064920/http://www.qrcode.com/en/qrcodefeature.html> (last accessed 25.11.2019).
20. Makovychuk, O., Ruban, I., Hudov, G. (2019), "Using genetic algorithms to find inverse pseudo-random block permutations" ["Vikoristannya genetychnih algoritmov dlya znahodzhennya inverznych psevdovipadkovih blochnih perestanovok"], *Sistemi upravlinnya, navigaciyi ta zv'yazku*, No. 4 (56), P. 72–81. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.4.072>
21. Krasilshikov, M. N., Sebyakov, G. G. (2009), *Modern information technologies in the problems of navigation and guidance of unmanned maneuverable aircraft* [Sovremennye informacionnye tehnologii v zadachah navigacii i navedeniya bespilotnyh manevrennyh letatelnyh apparatov], Fizmatlit, Moscow, 556 p.

Надійшла (Received) 30.11.2019

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Маковейчук Олександр Миколайович** – кандидат технічних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, докторант кафедри електронних обчислювальних машин, Харків, Україна; email: [omakovychuk@gmail.com](mailto:omakovychuk@gmail.com); ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4425-016X>.

**Маковейчук Александр Николаевич** – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, докторант кафедры электронных вычислительных машин, Харьков, Украина.

**Makoveichuk Oleksandr** – PhD (Engineering Sciences), Kharkiv National University of Radio Electronics, Doctoral Student of Electronic Computers Department, Kharkiv, Ukraine.

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СТРУКТУР ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

**Предметом** исследования в статье является информационная технология построения и использования визуальных информационных структур дополненной реальности. **Цель** работы – создание информационной технологии построения и использования визуальных информационных структур дополненной реальности. В статье решаются следующие **задачи**: анализ основных типов визуальных маркеров дополненной реальности (AR-маркеров); формулирование основных требований к визуальным информационным структурам дополненной реальности; разработка модели визуальной информационной структуры дополненной реальности; разработка модели устойчивого мозаичного стохастического маркера дополненной реальности; разработка информационной технологии построения и использования визуальных информационных структур дополненной реальности; анализ результатов применения мозаичного стохастического маркера дополненной реальности; оценка эффективности применения основных типов визуальных маркеров дополненной реальности. Используются следующие **методы**: методы цифровой обработки изображений, теории вероятности, математической статистики, криптографии и защиты информации, математический аппарат теории матриц. Получены следующие **результаты**: проведен анализ основных типов визуальных маркеров дополненной реальности; сформулированы основные требования к визуальным информационным структурам дополненной реальности; разработана модель визуальной информационной структуры дополненной реальности, которая является результатом последовательного выполнения следующих операций: введение избыточности, проведение стохастической реорганизации данных, добавление мозаичного бит-контейнера; разработана модель устойчивого мозаичного стохастического маркера дополненной реальности в виде следующих процедур: оператор ввода избыточности реализован в виде процедуры масштабирования бинарного изображения-сообщения в заданное число раз методом ближайшего соседа, оператор стохастического перепорядочивания данных реализован в виде процедуры перемешивания пикселей с помощью известной псевдослучайной перестановки, оператор добавления мозаичного бит-контейнера реализован в виде процедуры кодирования цвета клеток маркера, которые разделяются рамкой с промежуточным цветом; разработана информационная технология построения и использования визуальных информационных структур дополненной реальности; проведен анализ результатов применения мозаичного стохастического маркера дополненной реальности и оценка эффективности применения основных типов визуальных маркеров дополненной реальности. **Выводы**: проведено описание информационной технологии построения и использования информационных структур дополненной реальности на основе систематизации ее научно-прикладных основ. Показано ее практическое функционирование на примере разработанного устойчивого мозаичного стохастического маркера дополненной реальности. Дальнейшие исследования рекомендовано продолжить в направлении обобщения разработанных моделей и методов построения и использования мозаичных стохастических маркеров, в которых, в отличие от рассмотренных бинарных, будут использоваться изображения-сообщения в градациях серого и цветные. Поскольку прототипирование предложенных алгоритмов проводилось в системе программирования MATLAB, то для построения работающего прототипа, предлагается в дальнейшем перейти к языку программирования C ++, что позволит имплементировать предложенную информационную технологию в виде библиотек для использования на мобильных платформах Android и iOS.

**Ключевые слова**: информационная технология; визуальная информационная структура; мозаичный маркер; дополненная реальность.

## THE INFORMATIONAL TECHNOLOGY OF DESIGNING AND EMPLOYING VISUAL INFORMATION STRUCTURES OF AUGMENTED REALITY

The **subject** matter of the article is the informational technology of designing and using of augmented reality visual information structures. The **goal** of the study is to develop the informational technology of designing and using of augmented reality visual information structures. The following **tasks** were solved in the article: analysis of the main types of visual markers of augmented reality (AR-markers); formulation of the basic requirements for visual information structures of augmented reality; development of a model of the visual information structure of augmented reality; development of a model of a stable mosaic stochastic marker of augmented reality; development of information technology for the construction and use of visual information structures of augmented reality; analysis of the results of employing a mosaic stochastic marker of augmented reality; assessment of the effectiveness of the employing of the main types of visual markers of augmented reality. The following **methods** are used: methods of digital image processing, probability theory, mathematical statistics, cryptography and information protection, mathematical apparatus of matrix theory. The following **results** were obtained: the main types of visual markers of augmented reality were analyzed; the basic requirements for visual information structures of augmented reality are formulated; a model of the visual information structure of augmented reality was developed, the model is the result of the following operations: introducing redundancy, stochastic data reordering, adding a mosaic bit container; the model of a stable mosaic stochastic augmented reality marker has been developed, herewith the redundancy operator is implemented as a resizing message image using the nearest neighbor method, the stochastic data reordering operator is implemented as a pseudo-random pixel permutation, the operator of adding a mosaic bit-container is implemented as a procedure for bit coding by the color of marker cells, which are separated by a frame with an intermediate color; developed informational technology for the designing and employing of visual information structures of augmented reality; the results of employing a mosaic stochastic marker in comparison with other types of visual augmented reality markers were obtained. **Conclusions:** The description of information technology of construction and use of information structures of augmented reality is carried out on the basis of systematization of its scientific and applied bases. The practical functioning is shown on the example of the developed stable mosaic stochastic marker of augmented reality. Further study is recommended to be continued in the direction of generalization of the developed models and methods of construction and use of mosaic stochastic markers, which, unlike the binaries considered, will use image messages in grayscale and color. Since the prototyping of the proposed algorithms was carried out in the MATLAB programming system, it is proposed to move to the C++ programming language to build a working prototype, which will allow the implementation of the proposed information technology in the form of libraries for use on Android and iOS mobile platforms.

**Keywords:** information technology; visual information structure; mosaic marker; augmented reality.

### *Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions*

Маковейчук О. М. Інформаційна технологія побудови та використання візуальних інформаційних структур доповненої реальності. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2019. № 4 (10). С. 55–68. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.055>.

Makoveichuk, O. (2019), "The informational technology of designing and using of augmented reality visual information structures", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 55–68. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.055>.

UDC 004.051

DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.069>

A. MIKHNOVA, D. MIKHNOV, K. CHYRKOVA

## METHOD FOR EVALUATING THE EFFICIENCY OF UPGRADING SPECIALIZED INFORMATION SYSTEMS

The **subject** of the study in the article is the process of modernization of automated workplaces of specialized information systems of the organization. The **purpose** of the work is to develop a method for evaluating the efficiency of modernization of automated workplaces specialized information systems, which allows, on the basis of analysis of the degree of automation of workplaces and its impact on the performance of an organization, to determine a rational variant of the project solution in the context of budget constraints. The following **tasks** are solved in the article: analysis of the peculiarities of evaluating the effectiveness of specialized information systems; substantiation of influence of completeness and reliability of data of receiving information from automated workplaces on the performance indicators of the organization; development of forming stages of the method of estimating the efficiency of modernization of automated workplaces; practical testing of the method. The following **methods** are used: system analysis, functional-cost analysis, modeling of decision making. The following **results** were obtained: a method of evaluating the effectiveness of modernization of automated workplaces of specialized information systems, which can be applied to organizations whose performance indicators are directly dependent on the completeness and reliability of the primary data of business processes, is proposed; the calculation of the rational version of the modernization of the automated workplaces of the specialized information system of the regional blood service center with limited financing of the system modernization using the method was performed. **Conclusions:** application of the method of efficiency estimation of modernization at the stage of planning of expenses for improvement of the automated workplaces of the specialized information system of the organization will allow to identify the automated workplaces on which the increase of degree of automation will lead to the most significant potential values of activity indicators of the organization. The practical implementation of the method makes it possible to conclude on its performance both at the stage of modernization of the information system of the organization and at the stage of development of the new system.

**Keywords:** specialized information systems; efficiency of modernization; automated workplaces; completeness and reliability of data; degree of automation; cost resources.

### Introduction

The activity of any organization can be evaluated in terms of the completeness of its mission at certain resource costs [1]. The completeness of the mission is determined by a set of performance indicators that objectively characterize the quality of the organization.

The actual values of every activity indicator depend to a large extent on the necessary and possible completeness and reliability of the data entered and processed in the course of performing business processes in the workplace by staff. The reliability and completeness of the data, in turn, is determined by the technical characteristics of the measuring equipment, computer hardware and software, depending on which differentiate the degree of automation of jobs. Partial or complete lack of proper hardware and software results in staff errors during manual data entry and processing operations at the workplace [2]. The corresponding increase in the degree of automation of workplaces allows to reduce the probability of mistakes when entering information by personnel, which significantly increases the performance targets of the organization. Each organization has a desire to continuously improve performance, which is determined by the requirements of competitiveness in the market [3]. Usually a specialized information system (SIS) is implemented and operates in the organization with the corresponding current degree of automation of data entry and processing in the workplace [4]. In practice, operating SIS typically do not provide one hundred percent completeness and reliability of business process information support data, which may

determine the need for upgrading hardware and software in their respective workplaces [5]. Such modernization, especially for budget organizations, is usually carried out under pre-limited funding. The purpose of modernization is to ensure the maximum completeness and reliability of information support data, taking into account their impact on the performance of the organization.

Considering the existing impact of certain data from the set of all data of business process information support on different performance indicators, as well as the ambiguous influence of individual performance indicators from the whole population on the fulfillment of an organization's mission, it can be concluded that the task of preliminary assessment of SIS efficiency before modernization of workplaces is relevant.

This task requires the development of a method for assessing the effectiveness of the modernization of automated SIS jobs, which will allow, given the limited funding, the current degree of automation of the jobs at which the input and data of information support is carried out, to determine in advance possible options for design solutions of staffing with technical equipment and software necessary for their operation, which in turn will provide the highest possible completeness and reliable Th data information support and therefore improve the targets of the organization.

### Analysis of recent research and publications

The issue of SIS efficiency arises on the basis of the quality requirements of the organization's performance because only the proper functioning of the SIS provides

appropriate collection of input data to improve the organization's business processes. For example, the activities of blood establishments are evaluated by a number of indicators that are directly determined by the strict adherence to international requirements for the quality of blood components [6–7].

Various groups of methods are widely used to evaluate SIS efficiency, such as cost (boiler, functional point, total cost of ownership), direct result evaluation (consumer index, cost source, economic value added calculation), process ideality estimation (industry average, value for industry), measurement, qualimetric (cumulative economic effect, balanced indicators), investment analysis (calculation of the payback period of investment, determination of internal profitability, index  $p$  fisheries investment, average return on investment), financial analysis (functional-value analysis, calculation of return on investment, rapid economic justification), qualitative (calculation of total value of opportunities, analysis of cost behavior, analysis of life cycle of systems), probable probability economy), etc. [8–9].

The method of evaluating the efficiency of the modernization of automated SIS workplaces under development can be based on a functional-cost analysis method that seeks to find the maximum ratio of the effect of functioning to the cost of achieving this effect [10, 12]. The effect of the functioning of the SIS is usually understood as the degree of achievement of the goals set before the SIS [13]. In this paper, the effect of functioning means obtaining the maximum possible indicators of the organization's activity due to the maximum completeness and reliability of data of information support of business processes in separate automated workplaces [14].

### The purpose and objectives of the publication

The purpose of the article is to substantiate and present the developed method of evaluating the efficiency of modernization of automated workplaces of the SIS organization in the conditions of existing restrictions on the expendable resources for the acquisition of automated workplaces.

To achieve this goal, the following tasks were solved:

- a list of initial data on information support has been formed, which should be used in the development of the method;
- the influence of completeness and reliability of data from automated workplaces on the performance indicators of the organization is substantiated;
- method stages were developed;
- a practical test of the method was performed.

### Materials and methods

To build a method for assessing the effectiveness of SIS as output data are:

- a set of all data of information support of business processes,  $DS = \{ds_{ijkh}\}$ . Indexes  $i, j, k, h$  determine indexes of process, element, action, and data respectively, and vary within ranges  $i = \overline{1, I}$ ,  $j = \overline{1, J}$ ,  $k = \overline{1, K}$ ,  $h = \overline{1, H}$ ;

- the degree of automation of data entry  $\gamma = \overline{1, 6}$  [15];

- an integrated workload factor  $\xi_{wp_\omega}$  that reflects the importance of the impact of workplace-generated data on relevant organizational performance;

- restriction on the spending resources of staffing jobs with hardware and software  $C_{cl}$ .

Staff positions can be formally represented as a set as follows:

$$WP = \{wp_\omega\}, \quad (1)$$

where  $WP$  – a set of all staff jobs;  $wp_\omega$  –  $\omega$ -th staff workplace;  $\omega$  – index of the workplace number that varies in range  $\omega = \overline{1, \Omega}$ .

Information support data that is entered during the execution of actions (operations) of business processes in the  $\omega$ -th workplace of personnel are denoted as  $\{ds_{ijkh}\}_\omega$  and are a subset of all data of information support of business processes  $\{ds_{ijkh}\}$ :

$$\{ds_{ijkh}\}_\omega \subseteq \{ds_{ijkh}\}. \quad (2)$$

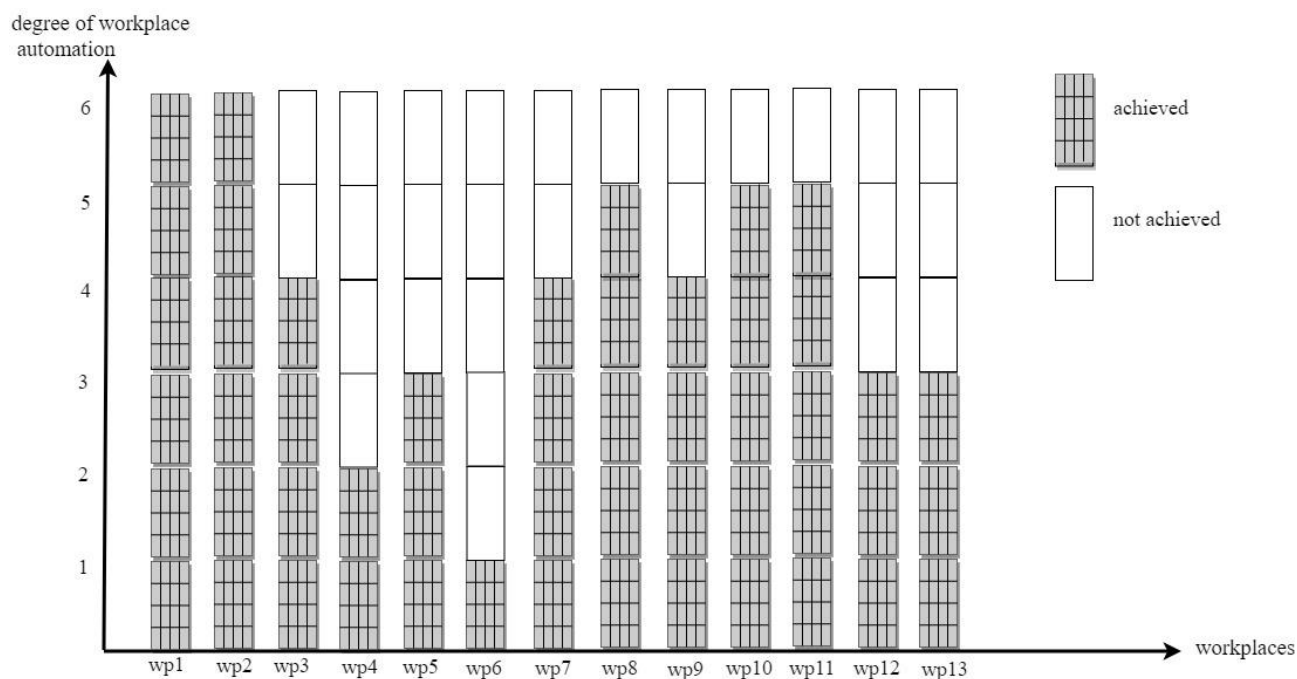
All data of business process information support can be grouped by the workplaces of the staff at which the data is entered. Each data set is characterized by the coefficients of importance of the data in relation to the impact on each performance indicator of the organization, so that for each workplace  $wp_\omega$  by the integrated workload factor  $\xi_{wp_\omega}$  can be determined using the model [14].

The sum of the weighting coefficients for all workplaces is equal 1:

$$\Xi = \{\xi_{wp_\omega}\}, \quad \sum_{\omega=1}^{\Omega} \xi_{wp_\omega} = 1, \quad (3)$$

where  $\Xi$  – a set of integrated weighting factors for all workplaces;  $\xi_{wp_\omega}$  – integrated weighting factor of the workplace  $wp_\omega$ .

Each workplace of the personnel  $wp_\omega$  can be completed with technical means necessary for data processing with the software which defines degree of automation of data input  $\gamma$  during performance of actions (operations) of elements of processes on this workplace, and, accordingly, define degree of automation of the workplace  $wp_{\omega\gamma}$  (fig. 1) [14].



**Fig. 1.** Acquisition of workplaces by technical means and the software for functioning of SIS according to degree of their automation

For each automated workplace in the SIS, the degree of automation  $\gamma$  of the workplace  $wp_{\omega\gamma}$  can be determined, according to which an integrated indicator of the level of reliability of the received data  $\theta_{\omega\gamma}$  at the workplace  $wp_{\omega\gamma}$  can be set according to [2].

Modernization of SIS automated workplaces will effectively affect the functioning of SIS as a whole in terms of improving the performance of the organization. Thus for each workplace the partial indicator of effect of functioning of each workplace, which is a multiplication of the integrated coefficient  $\xi_{wp_{\omega}}$  of workplace weight  $wp_{\omega\gamma}$  by the integrated indicator of the level of reliability of the received data at the workplace at the corresponding degree of its automation (table 1). The effect of the functioning of the

SIS as a whole is the effect of the functioning of each workplace with the appropriate degrees of automation of these workplaces and aims to maximize the value:

$$Fl = \sum_{\omega=1}^{\Omega} \theta_{\omega\gamma} \xi_{wp_{\omega}} \rightarrow \max, \quad (4)$$

where  $Fl$  – the effect obtained from the functioning of the SIS, taking into account the integrated weighting coefficient  $\xi_{wp_{\omega}}$  for each workplace  $wp_{\omega\gamma}$  and the integrated indicator of the level of reliability  $\theta_{\omega\gamma}$  of the data obtained at that workplace  $wp_{\omega\gamma}$  with the appropriate degree of automation  $\gamma$ .

**Table 1.** Formalized presentation of partial performance indicators of each workplace to determine the total effect of the functioning of the SIS, depending on the degree of automation of jobs

The degree of automation $\gamma = [1-6]$	$\theta_{\omega\gamma}$	$wp_1$	...	$wp_{\omega}$	...	$wp_{\Omega}$
$\gamma = 6$	0,997	$\theta_{16} \xi_{wp_1}$	...	$\theta_{\omega 6} \xi_{wp_{\omega}}$	...	$\theta_{\Omega 6} \xi_{wp_{\Omega}}$
$\gamma = 5$	0,990	$\theta_{15} \xi_{wp_1}$	...	$\theta_{\omega 5} \xi_{wp_{\omega}}$	...	$\theta_{\Omega 5} \xi_{wp_{\Omega}}$
$\gamma = 4$	0,988	$\theta_{14} \xi_{wp_1}$	...	$\theta_{\omega 4} \xi_{wp_{\omega}}$	...	$\theta_{\Omega 4} \xi_{wp_{\Omega}}$
$\gamma = 3$	0,985	$\theta_{13} \xi_{wp_1}$	...	$\theta_{\omega 3} \xi_{wp_{\omega}}$	...	$\theta_{\Omega 3} \xi_{wp_{\Omega}}$
$\gamma = 2$	0,980	$\theta_{12} \xi_{wp_1}$	...	$\theta_{\omega 2} \xi_{wp_{\omega}}$	...	$\theta_{\Omega 2} \xi_{wp_{\Omega}}$
$\gamma = 1$	0,978	$\theta_{11} \xi_{wp_1}$	...	$\theta_{\omega 1} \xi_{wp_{\omega}}$	...	$\theta_{\Omega 1} \xi_{wp_{\Omega}}$

The effect obtained from the operation of the SIS will be maximized while providing the highest degree of automation  $\gamma = 6$  at each workplace  $wp_{\omega\gamma}$ . But

increasing the degree of automation of each workplace requires the appropriate spending resources to buy the hardware and software for those jobs.

Consideration should be given to analyzing the cost of workplace resources:

- the organization implements the SIS. For each workplace, which generates data that affects the performance of the organization, and the corresponding degree of workplace automation (starting from the first), it is possible to determine the total cost for each degree of automation;

- the organization is upgrading the SIS. The composition of the hardware and software (if any) is analyzed for each workplace, the current level of

automation is determined, the additional costs are determined at the transition to the possible higher levels due to the modernization of existing hardware or software, or the purchase of new ones.

Thus, the expenditures  $C_{wp_{\omega\gamma}}$  required for manning the workplace  $wp_{\omega}$  with hardware and software to achieve the appropriate degree of automation  $\gamma$  can be summarized as follows in table 2:

**Table 2.** Formalized representation of the costs of modernization (creation) of automated workplaces for the formation of costs for the modernization of SIS

The degree of automation $\gamma = [1-6]$	$wp_1$	...	$wp_{\omega}$	...	$wp_{\Omega}$
$\gamma = 6$	$C_{wp_{16}}$	...	$C_{wp_{\omega 6}}$	...	$C_{wp_{\Omega 6}}$
$\gamma = 5$	$C_{wp_{15}}$	...	$C_{wp_{\omega 5}}$	...	$C_{wp_{\Omega 5}}$
$\gamma = 4$	$C_{wp_{14}}$	...	$C_{wp_{\omega 4}}$	...	$C_{wp_{\Omega 4}}$
$\gamma = 3$	$C_{wp_{13}}$	...	$C_{wp_{\omega 3}}$	...	$C_{wp_{\Omega 3}}$
$\gamma = 2$	$C_{wp_{12}}$	...	$C_{wp_{\omega 2}}$	...	$C_{wp_{\Omega 2}}$
$\gamma = 1$	$C_{wp_{11}}$	...	$C_{wp_{\omega 1}}$	...	$C_{wp_{\Omega 1}}$

In the conditions of limitation of expenditures on manning workplaces  $\{wp_{\omega}\}$  by hardware and software and gradual increase of the degree of automation of each workplace, it becomes necessary to determine the list of those workplaces  $\{wp_{\omega}\}'$  from the whole set  $\{wp_{\omega}\}$ , which increase the degree of automation to the appropriate level and give the maximum possible effect of the functioning of the SIS as a whole.

Since the modernization of the SIS involves consideration of options  $\{v_n\}$  for completing one or more automated workplaces with hardware and software, the cost of acquiring hardware and software  $C_{wp_{\omega\gamma}}$  to transfer the workplace  $wp_{\omega\gamma}$  to another degree of automation can be calculated for each variant  $v_{wp_{\omega\gamma}}$  of the implementation of completing the workplace.

To evaluate the effectiveness of the SIS modernization, a method is proposed, which consists of the following stages:

Stage 1. Determine the current degree of automation  $\gamma$  for each workplace  $wp_{\omega\gamma}$  during the execution of business processes (related to the current SIS implementation).

Stage 2. Determine partial performance indicators for each workplace with the appropriate degree of automation and the cost of upgrading, starting from the next to the current one. In the case of SIS implementation, all the degrees of workplace automation and the corresponding costs of hardware and software are taken into account.

Stage 3. Calculation of the values of the effect of the functioning of the SIS as a whole for each variant of the

modernization of the set of workplaces, taking into account the coefficients of the weight of the workplaces

$$Fl = \sum_{\omega=1}^{\Omega} \theta_{\omega\gamma} \xi_{wp_{\omega}} \cdot \quad (5)$$

Stage 4. Ratio of the values of the effect of functioning with the cost of hardware and software for each of the options, checking for compliance with the specified cost limit, the search for a rational option by the criterion of maximum (4).

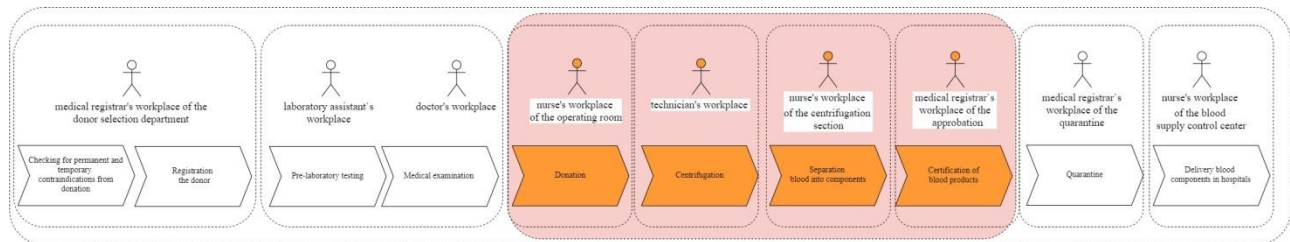
To perform the calculations, it is advisable to use well-known design decision algorithms, such as the MS EXCEL, which is designed to solve linear optimization problems.

## Results of the studies and their discussion

Practical testing of the method of estimating the efficiency of modernization of the automated workplaces of specialized information systems was performed on several business processes of the organization of the Municipal Institution of Health Protection the Kharkiv Regional Center of Blood Service. Namely, business processes of donation, centrifugation of blood, distribution of blood into components, marking of blood products at the appropriate posts of the operating nurse, technician, nurse of the fractionation station, medical registrar of testing (fig. 2). At these workplaces, the current degree of automation was determined: the nurse of operating room has the first degree of automation; workplace of technician - the second one; fractionation nurse's workplace - the first one; the workplace of the medical registrar of

approbation - the third. Expenditure on the purchase of technical equipment and software for the modernization of these workplaces is 1000000 UAH. To find a rational

solution for the modernization project for each of the identified workplaces, a method for assessing the effectiveness of the modernization of the SIS was applied.



**Fig. 2.** Staff workplaces for implementing a fragment of the business processes of the blood service center

The task of finding a rational variant of project solutions for the workplaces of the operating room nurse, technician, nurse of the fractionation station, medical registrar of approbation is solved with the

limitations of the expenditures on modernization. The calculations were made using the MS EXCEL module. Fig. 3 presents the results of the calculations to determine the rational options for designing workplaces.

#### Output data and restrictions:

##### Manning cost`s workplaces < = 1000000 UAH

The current degree of automation of nurse's workplace of the operating room -**first**;

The current degree of automation of technician's workplace - **second**;

The current degree of automation of nurse's workplace of the centrifugation section - **first**;

The current degree of automation of medical registrar`s workplace of the approbation - **third**.

Effect of functioning of workplaces depending on degree of automation						
Workplaces/ degree of automation	first	second	third	fourth	fifth	sixth
nurse's workplace of the operating room	0,3912	0,392	0,394	0,3952	0,396	0,3988
technician's workplace		0,098	0,0985	0,0988	0,099	0,0997
nurse's workplace of the centrifugation section	0,2934	0,294	0,2955	0,2964	0,297	0,2991
medical registrar`s workplace of the approbation			0,197	0,1976	0,198	0,1994
Manning cost`s to provide every degree of automation for each workplace (UAH)						
Workplaces/ degree of automation	first	second	third	fourth	fifth	sixth
nurse's workplace of the operating room	100000	110000	130000	150000	200000	250000
technician's workplace		140000	180000	250000	300000	400000
nurse's workplace of the centrifugation section	100000	105000	110000	140000	180000	200000
medical registrar`s workplace of the approbation			300000	400000	500000	600000

The choice of the optimal variant of the design solution for each workplace						
Workplaces/ degree of automation	first	second	third	fourth	fifth	sixth
nurse's workplace of the operating room	0	0	0	1	0	0
technician's workplace	0	1	0	0	0	0
nurse's workplace of the centrifugation section	0	0	1	0	0	0
medical registrar`s workplace of the approbation	0	0	0	0	0	1

**Fig. 3.** The results of the calculations to determine the rational variants of project solutions for workplaces

Based on the results of the calculations, within the limits of the expendable resources, a rational variant of workplace modernization was determined, according to which the degree of automation of the workplace of the operating room nurse could be increased from the first to the fourth; the degree of the technique's workplace will not change and will remain the second; the degree of automation of the fractionation nurse's workplace can be increased from the first to the third; the degree of automation of workplace of the medical registrar of approbation can be increased from the third to the sixth.

The results of the work were discussed at the scientific-practical conference "Topical issues of clinical and industrial transfusion" (Kharkiv, September 12-13, 2019).

## References

1. Kryvoruchko, O. V., Dytynjuk, O. V. (2017), "Information technology of production process modeling as a tool for managerial decision making" ["Informacijni tehnologhiji modeljuvannja vyrobnychkh procesiv yak instrument pryjnattja upravlynskykh rishenj"], *Managing folding systems folding*, No. 31, P. 65–70.
2. Akymova, Gh. P., Solovj'ev, E. V., Pashkyna, E. V. (2007), "Methodological approach to determining the influence of the human factor on the performance of an information system" ["Metodologicheskij podhod k opredeleniju vlijanija chelovecheskogo faktora na rabotosposobnost' informacionnoj sistemy"], *Information and analytical aspects in management tasks: Proceedings of ISA RAS*, Moscow: Publishing house LCI / URSS, Vol. 29, P. 102–112.
3. Kornienko, G., Chabanenko, M., Leheza, Y. (2018), "Assessment of the economic efficiency of it application at enterprises", *Baltic Journal of Economic Studies*, Vol. 4, No. 3, P. 123–132. DOI: <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2018-4-3-123-132>
4. Sharashkina, T. P. (2016), "Methodical Aspects of Organization and Carrying out of Functional-Cost Analysis on the Basis of Process Approach for the Purpose of Expenses and Quality Optimization", *European Research Studies*, Vol. XIX, Special Issue 3, Part B, P. 77–96.
5. Santarek, K., Obluska, I. (2012), "Process approach to the evaluation of information systems effectiveness", *Information Systems in Management*, Vol. 1 (2), P. 148–159.
6. "Quality management principles" International Organization for Standardization: official web-portal, available at: <https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/pub100080.pdf> (last accessed: 06.12.2019).
7. (2017), *Guide to the preparation, use and quality assurance of blood components*, Recommendation No. R (95) 15, 19th Edition, European Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare. Strasbourg, 540 p.
8. Mikhnova, A. V., Chyrkova, K. S. (2016), "Analysis of methods for evaluating the effectiveness of special medical systems of information systems" ["Analiz metodiv ocinjvannja efektyvnosti specializovanykh medychnykh informacijnykh system"], *5th International Scientific and Technical Conference "Information Systems and Technologies ICT-2016": Koblevo*.
9. Dorokhov, O. V. (2010), "Criteria and methods for evaluating the effectiveness of information systems" ["Kryteriji ta metody ocinky efektyvnosti informacijnykh system"], *Information Processing Systems*, No. 1, P. 219–222.
10. Beskorovajnyj, V. V. (2002), "Systemological analysis of the problem of structural synthesis of geographically distributed systems" ["Sistemologicheskij analiz problemy strukturnogo sinteza territorial'no raspredelennykh system"], *Automated control systems and automation devices*, No. 120, P. 29–37.
11. Zhang, Yi Fei, Che, Ruhana Isa (2010), "Factors Influencing Activity-Based Costing Success: A Research Framework" *International Journal of Trade, Economics and Finance*, Vol. 1, No. 2. P. 144–149.
12. Polyvana, L. A. (2014), "Methodical approach to evaluating the effectiveness of the project in the implementation of information technologies at commercial enterprises" ["Metodychni pidkhody do ocinky efektyvnosti proektu vprovadzhennja informacijnykh tehnologhij na pidpryjemstvakh torghivli"], *Newsletter of the Kharkiv National Technical University of the State Patronage of the Name of Peter Vasilenko*, No 149, P. 247–259.
13. Kudrjashova, M. G. (2013), "Classification of effects from the use of information systems" ["Klassifikacija jeffektov ot ispol'zovanija informacionnykh system"], *Management of economic systems: an electronic scientific journal*, No. 12 (60), P. 34.
14. Mikhnova, A. V., Mikhnov, D. K., Chyrkova, K. S. (2019), "Model of special medical information system", ["Modelj specializovanoji medychnoji informacijnoji systemy"], *Newsletter of the Kremenchutsk National University named after Mikhail Ostrogradsky*, Kremenchuk : KrNU, No. 5 (118), P. 75–82. DOI: <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2019.5.75-82>
15. Mikhnova, A., Mikhnov, D., Chyrkova, K. (2016), "Information support model of production transfusion processes", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3/3 (81), P. 36–43. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.71673>.

Received 30.11.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Міхнова Аліна Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри інформаційних управляючих систем, Харків, Україна; email: [alina.mikhnova@nure.ua](mailto:alina.mikhnova@nure.ua); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9877-4298>.

**Михнова Алина Владимировна** – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры информационных управляющих систем, Харьков, Украина

**Mikhnova Alina** – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Docent at the Department of Information Control Systems, Kharkiv, Ukraine.

**Міхнов Дмитро Кіндратович** – кандидат технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри інформаційних управляючих систем, Харків, Україна; email: dmytro.mikhnov@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9940-8553>.

**Михнов Дмитрий Кондратьевич** – кандидат технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры информационных управляющих систем, Харьков, Украина

**Mikhnov Dmutro** – PhD (Engineering Sciences), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor of the Department of Information Control Systems, Kharkiv, Ukraine.

**Чиркова Катерина Сергіївна** – Харківський національний університет радіоелектроніки, асистент кафедри інформаційних управляючих систем, Харків, Україна; email: kateryna.chyrkova@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3749-3043>.

**Чиркова Катерина Сергеевна** – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, ассистент кафедры информационных управляющих систем, Харьков, Украина

**Chyrkova Kateryna** – Kharkiv National University of Radio Electronics, Assistant of the Department of Information Control Systems, Kharkiv, Ukraine.

## МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

**Предметом** дослідження в статті є процес модернізації автоматизованих робочих місць спеціалізованих інформаційних систем організації. **Мета** роботи – розробка методу оцінювання ефективності модернізації автоматизованих робочих місць спеціалізованих інформаційних систем, який дозволяє на основі аналізу ступеню автоматизації робочих місць та його впливу на показники діяльності організації визначити раціональний варіант проектного рішення в умовах обмежень бюджету. В статті вирішуються наступні **завдання**: аналіз особливостей оцінювання ефективності спеціалізованих інформаційних систем; обґрунтування впливу повноти та достовірності даних отримання інформації з автоматизованих робочих місць на показники діяльності організації; розробка формування етапів методу оцінювання ефективності модернізації автоматизованих робочих місць; практична апробація застосування методу. Використовуються такі **методи**: системний аналіз, функціонально-вартісний аналіз, моделювання прийняття управлінських рішень. Отримано наступні **результати**: запропоновано метод оцінювання ефективності модернізації автоматизованих робочих місць спеціалізованих інформаційних систем, який може бути застосовано для організації, показники діяльності яких безпосередньо мають залежність від повноти та достовірності первинних даних бізнес-процесів; із застосуванням методу виконано розрахунок раціонального варіанту модернізації автоматизованих робочих місць спеціалізованої інформаційної системи обласного центру служби крові при обмеженому фінансуванні модернізації системи. **Висновки**: застосування методу оцінювання ефективності модернізації на етапі планування витрат на вдосконалення автоматизованих робочих місць спеціалізованої інформаційної системи організації дозволить визначити ті автоматизовані робочі місця, на яких підвищення ступеню автоматизації приведе до найбільш вагомим потенційних значень показників діяльності організації. Практична реалізація методу дозволяє зробити висновок щодо його працездатності як на етапі модернізації інформаційної системи організації, так і на етапі розробки нової системи.

**Ключові слова**: спеціалізовані інформаційні системи; ефективність модернізації; автоматизовані робочі місця; повнота та достовірність даних; ступінь автоматизації; витратні ресурси.

## МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**Предметом** исследования в статье является процесс модернизации автоматизированных рабочих мест специализированных информационных систем организации. **Цель** работы – разработка метода оценивания эффективности модернизации автоматизированных рабочих мест специализированных информационных систем, который позволяет на основе анализа степени автоматизации рабочих мест и их влияния на показатели деятельности организации определить рациональный вариант проектного решения в условиях ограниченного бюджета. В статье решаются следующие **задачи**: анализ особенностей оценивания эффективности специализированных информационных систем; обоснование влияния полноты и достоверности данных получения информации с автоматизированных рабочих мест на показатели деятельности организации; разработка формирования этапов метода оценивания эффективности модернизации автоматизированных рабочих мест; практическая апробация применения метода. Используются следующие **методы**: системный анализ, функционально-стоимостный анализ, моделирования принятия управленческих решений. Получены следующие **результаты**: предложен метод оценивания эффективности модернизации автоматизированных рабочих мест специализированных информационных систем, который может быть применен для организаций, показатели деятельности которых непосредственно имеют зависимость от полноты и достоверности первичных данных бизнес-процессов; выполнен расчет рационального варианта модернизации автоматизированных рабочих мест специализированной информационной системы областного центра службы крови при ограниченном финансировании модернизации системы с применением предложенного метода. **Выводы**: применение метода оценивания эффективности модернизации на этапе планирования расходов на совершенствование автоматизированных рабочих мест специализированной информационной системы организации позволит определить те автоматизированные рабочие места, на которых повышение степени автоматизации приведет к наиболее весомым потенциальным значениям

показателей деятельности организации. Практическая реализация метода позволяет сделать вывод о его работоспособности как на этапе модернизации информационной системы организации, так и на этапе разработки новой системы.

**Ключевые слова:** специализированные информационные системы; эффективность модернизации; автоматизированные рабочие места; полнота и достоверность данных; степень автоматизации; расходные ресурсы.

*Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions*

Міхнова А. В., Міхнов Д. К., Чиркова К. С. Метод оцінювання ефективності модернізації спеціалізованих інформаційних систем. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2019. № 4 (10). С. 69–76. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.069>.

Mikhnova, A., Mikhnov, D., Chyrkova, K. (2019), "Method for evaluating the efficiency of upgrading specialized information systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 69–76. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.069>.

---

UDC 065.012.32

DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.077>

N. BUSHUYEVA, D. BUSHUIEV, V. BUSHUIEVA

## AGILE LEADERSHIP OF MANAGING INNOVATION PROJECTS

The **subject** of the article is development of project, programs and project portfolios management systems with drivers of innovation is considered. Substantial changes in the environment require further research into the effectiveness of the application of existing agile methodologies, knowledge systems and competencies of project managers and their leadership. The foundations of environmental change lie in changing the decision-making paradigm in innovation project and programs management. The **goal** is to explore modern approaches to leadership formation when applying agile methodologies of its specificity from the point of view of decision-making processes in project management. The problems of leadership creation and development in the application of agile project management methodologies for the implementation of information and communication systems are considered. The **results** of studies were conducted on the basis of a competency-based approach modelled by the International Project Management Association. The content model of competency of the leader applying agile management is presented. **Conclusion:** The Agile leadership and leadership behaviour patterns are formed in a project management behavioural competency system based on agile technology methods and tools. These competencies included: Self-reflection and self-management, Personal integrity and reliability, Personal communication, Relationships and interaction, Leadership, Teamwork, Conflicts and crises, Inventiveness, Reconciliation, and Orientation to results. The patterns of project managers' behaviour as agile leaders in project product creation and agile project management are explored. The differences in the behaviour patterns of leaders and agile leaders were examined by behavioural competencies within the identified key competency indicators. Such patterns allowed the authors to identify bottlenecks in the application of agile project management methodologies in the context of the development of innovative products of innovation systems.

**Keywords:** leadership; agile management methodologies; project; competence; behaviour pattern; project manager.

### Introduction

The fast-paced world needs a new kind of leader and leadership. This thesis emphasizes the dynamism and innovative orientation of projects and programs for the development of organizations based on the introduction of information and communication technologies. As the world transforms rapidly, a new generation of leaders is needed. That is individuals who are able to respond quickly to technological innovation, changing social relationships and creating new businesses and technologies for project implementation. The challenges faced by organizations in the development and implementation of information and communication technologies are becoming more complex than ever before. Thus, the application of proven best practice is no longer a way forward. The world has realized that planning everything in advance makes us tough, not Agile. When a project begins to focus on what is valuable to our clients, we need to make use of the best practice. Complexity and uncertainty also require another form of control. Responsibility will now be manifested at lower levels within the organization. Decision-makers are increasingly being held accountable to experts, and leadership is being replaced by leadership at all levels of the organization. This means that more and more project teams are choosing a holocratic, one-tier structure and principles of activity [14]. One of the answers to these challenges is the economically agile work with innovation, an important part of how we organize our activities. Increasingly, organizations are adopting a value approach and are learning to distinguish between what is valuable and what doesn't matter is a development that has been going on for the last decade [6]. Many organizations have taken the first, sometimes bold, steps in a cost-effective transition to becoming more adaptable to the environment. Today, there are practically no organizations that do not apply (at least at an intuitive level) Agile

project and program management methodologies. Organizations that already have experience with agile methodologies know that more than just sending people to training is needed. They understand that agile methodologies are easy to learn but difficult to put into practice. In this case, we need specialists who lead the overall learning process and inspire employees in their organization to adopt agile thinking.

An analysis of recent research and publications shows that leaders in agile organizations are embracing change, and this has implications for the strategy they use to achieve their goals and vision. Vision is more like a "blurry spot" on the horizon than a "clear spot". With an agile strategy, organizations can take advantage of opportunities and avoid threats. Agile executives and leaders understand that such a strategy is blurry and is an early stage, a tool to make sense of the work being done by the organization [1, 15].

An increasingly complex world and an uncertain future present organizations with enormous challenges. On the one hand, they have to deal with waste as much as possible (the philosophy of thrift), and at the same time, they have to become more mobile. The latter is only possible if people are also universal [2].

Today, there are new ways of working on project product creation, in which decision-making is as close to implementation as possible and as late as is justified by the tight deadlines of project and product lifecycles in their implementation. Agile management is focused on creating a balanced value, not a planned schedule. The work is performed in the form of short cycles, instead of implementing a waterfall approach, and constant attention is paid to development and quality [12].

While there are framework models that provide some direction for the development, each organization has its own interpretation of agile work. Agile working is a philosophy, it is the foundations that support such a philosophy. Instead of adopting agile

methodologies, people become Agile and this requires a fundamental change in thinking and leadership. Thus, even plan-oriented projects can also benefit from flexibility [6].

Flexibility determines the way in which the structure of the organizations themselves changes greatly. In this case, each form has its own frame of reference or development paradigm. Modern organizations no longer share power from top to bottom, but associate it with specific roles in such a way that there is a significant level of correction. An example is a transition to flat organizational structures with holocratic management. It is difficult for leaders who apply different development paradigms to share ideas with each other. Therefore, the agile leader should be able to move freely between these paradigms [10].

Loss prevention, cost savings and value creation do not stop at the boundaries of a team or organization. Agile executives know and take into account the context in which they function. Accordingly, compliance with laws and rules is a must for the leader. In addition to complying with laws and regulations, they are also aware of the interests of society [12].

Agile teams promote the culture and values in which participants enter into agreements with each other about how they will interact. They encourage individual members to adhere to this and do not always allow their personal interests to prevail.

Non-force interaction is the basis of agile leadership. If force is used, it is done with caution. If there is such a thing as power, it exists to serve a variety of stakeholders in the organization's activities. This does not mean that an Agile leader allows himself to apply pressure in all directions; on the contrary, it should provide influential and inspiring leadership [2].

Different influences and interests ultimately lead to equilibrium, and the agile leader unites the team rather than divides it. This can only happen when it demonstrates a genuine and honest interest in various stakeholders. The leader approaches differences with curiosity and thus develops the necessary sensitivity to engage those parties with him in agile thinking.

Culture is the result of the lessons learned by the organization over its lifecycle. This is the way she defends her core values. An organizational culture that is embedded in one (or sometimes several) national cultures (s) protects the organization against threats and ensures stability. Culture itself often changes complexity and, therefore, switches to agile methodologies [13]. Changing a leader is therefore almost always a devastating process. A leader who shapes Agile culture (change) is more important than processes and structures, by its nature assumes an exemplary role for the promoters of that culture. Various Agile structures also relate to values such as commitment, courage, and focus on values, openness and respect. The basic, often unconscious, underlying assumptions within an organization do not always reinforce each other. Culture is changing gradually. It is not self-evident that everyone is comfortable with these changes. People leave the organization and new members join. Every Agile leader takes this into account.

The **purpose** of the article is to discuss the problems of forming and supporting leadership in the application of agile project management methodologies for development innovation product.

### The research methodology

The competence approach is based on two concepts:

- competence is an area of activity or function performed by an employee;

- competence is a characteristic of a potential employee's ability to perform successfully within certain competencies [13].

Modern organizations are facing an urgent task: to unlock the competent potential of specialists in full, which is extremely important for making the right management decisions and conducting reliable expertise in the course of project implementation. However, it should be remembered that for every employee who develops his career in the organization, such development is, on the one hand, a motivating factor, on the other - a threat. In doing so, each employee is expected to learn how to manage and develop their own competencies through Agile leadership. Successful implementation of innovative projects and programs for the creation of modern information and communication technologies is ensured by the creative application of a competent approach. This approach can be used as a common communication language that brings together the organization and employees, tasks and executives through agile leadership. In this case, the development of the organization and the development of staff occur at the same time. Personality develops when interacting with people. Some recognize themselves in relation to others. Reflecting, we study the impact of our behaviour on others. The tension that sometimes arises motivates us to adapt, which is a value of self-management. Thus, this element of competence is the basis by which a person develops individual flexibility [13].

An agile leader has a growth mindset, a conviction that he or she can grow further because of the competencies he or she develops within the organization. This mentality is the responsibility of the individual, who must act on the basis of his or her motivation and not through external pressure. The focus is on each person's personal development. In fact, there is an expectation that everyone will take these leadership behaviours. That is why it is important to provide workable levels of stress, and this work is an important source of happiness [3].

It is clear that an agile leader will act in accordance with his or her own internal motives, thus retaining his or her personal integrity. Empowering team members to do the same (act on internal motives) makes it reliable and inspiring. Nothing is more unpleasant than a leader who imposes agile methodologies but does not operate according to agile principles. The agile leader's professional values are rooted in agile thinking. Therefore, ethical behaviour operates in accordance with agile principles. The choice of agile methodologies means that management will accept its employees as they are unconditional. After this choice, managers should

demonstrate agile leadership and leadership. This means that team members are given resources to do their jobs. In addition, the overall interest of the team must take priority over the individual interests of its members. Only then will the management be credible and reliable.

One of the principles of agile work is the joint creation of project and program products. Therefore, personal communication is the most rational and effective way of sharing information with and within the team. This makes conversation the most important form of communication. The Agile leader does not represent but supports a group and creates a social network where people meet and talk to each other. This is one of the main tasks of an agile leader. It requires everyone to be actively present in the conversation, thereby limiting misunderstandings and making it debatable. Leaders set the example. Since it is not self-evident, it is not taken for granted. In doing so, it communicates to each other in a non-violent way because of certain behaviour. This creates an open space in which each person is involved in the process and can be present [1].

Open attitude to people and events makes information freely disseminated within the organization and leads to a flourishing relationship between team members. It is necessary to ensure self-determination and flexibility. Everyone in the organization must have the right information at the right time to make an empirically sound decision.

Openness is the clarity and transparency of the project and organizational goals to be achieved, the results and evaluations of progress. It is about mutual cooperation and agreements, as well as the beliefs and fears of individuals who influence relationships. Openness means giving transparency and asking questions while postponing judgment. It creates trust and privacy. Agile leaders are an example to follow. Self-knowledge enables one not to follow one's selfish needs to dominate one another. The ministries and aspects of relationship management must be in balance [5].

Self-management is effective when it is possible to use people's intrinsic motivation. This includes ensuring adequate organizational security of activities, removing obstacles and facilitating work. When people feel autonomy, power and purpose, they can give most of themselves. Developing this capacity is an important success factor for agile leadership.

An agile organization is a social network that in turn leads to self-observation. The composition of this network is dynamic, but people make clear agreements about how they work together. Agile leaders give direction to part of the network, but not as a helper, not as a ruler. They build relationships in which the other creates an understanding of what is happening around him or her to make his or her own functioning online more valuable. This increases the social capital of an agile organization [12].

There is a difference between a manager and a leader, a manager has a hierarchical position, a leader has some skills to motivate people and, moreover, to get things moving. In this element of competence, leadership is defined as a characteristic, not a managerial function.

Many people can demonstrate leadership, but only some are managers.

Agile is based on equality, autonomy and self-determination. Personal leadership of people in such an environment is critical to choosing direction, motivation, and encouraging people so that they can achieve the desired organizational goals. The leader takes the position of assistant, whose interests are central to the group or organization. The leader does this primarily by setting an example and helping build relationships with, or work with, the people he leads. The degree of self-determination a team receives depends on their skills and abilities. Leadership quality is determined by the level of integration of specific team members to achieve project goals. An agile leader is one who proactively removes obstacles and allows teams to deliver value [8].

Within an Agile organization, we focus on collaboration between individuals, teams, and clients. Team members are partners, not employees. Self-study groups play a crucial role in an Agile organization. Each team has its own goal, but its priorities are to always benefit the organization and its customers. This is manifested in trust, conflict resolution skills, commitment, accountability and commitment to common goals, and the willingness of individual team members to work flexibly. Without being imposed from above, they share certain goals and constantly make agreements about how they work with one another. This does not prevent the agile leader from challenging the team to continually improve [9].

Together, the team members have all the experience and skills to achieve the project's goal. Preferably, individual members are interdisciplinary, so teams are more independent, not very large, and therefore more agile and responsive. They challenge each other, share knowledge and teach each other, which makes them more deployable and Agile. For optimal team collaboration, diversity, as well as the different characters of team members, is an important factor.

An Agile leader takes care of a supportive work environment and holds the right types of meetings and workshops. During them, be it stand-up meetings, seminars, large-scale discussions, etc., he assumes a neutral position as a facilitator.

Conflicts arise within the team, but also in collaboration with other groups and stakeholders. Where people work together for a longer period of time, conflict is a means of strengthening relationships, perceived as inevitable, and seen as an opportunity to learn.

To turn conflict into a constructive channel, the agile leader provides an environment in which conflicts can be used to benefit the team. That is, they agreed in advance how the differences are motivated when they arise. Sometimes Agile principles and how they are used in everyday practice become a source of conflict. An agile leader encourages people involved to find common ground. As a result, the team develops their own conflict resolution skills.

Despite all preventative measures, it is sometimes impossible to avoid a crisis. Every crisis is a situation that requires optimal flexibility. The team looking back on its

collaboration from iteration to iteration will also be well prepared for the next crisis. However, this is not enough; The threat of crisis requires a thoughtful critical plan. At the end of the crisis, there will be a need for a retrospective [12].

The ingenuity of agile work is expressed in the delivery of results with limited resources. The phrase "resourcefulness, not resources" is a great expression of this. Initially, people and teams look for the solutions or resources they need without expecting others (such as senior management). Agile leader stimulates creativity. For example, it does this by working in a safe environment where people can experiment, in addition to using known technologies. It is also inferior to people with different views that violate existing patterns in order to promote group blindness [1].

In particular, self-learning organizations expect individuals and teams to agree on solutions when there are differing views. This requires negotiation skills. The agile leader facilitates this process. Negotiations also aim to maximize the balanced value for all stakeholders. It is important to remind different parties of this over and over again.

In an Agile environment, people have to negotiate on various issues. Initially, the organization has different ideas about what "Agile work" is. Where an agile leader plays a facilitating role, he or she must constantly negotiate how to do it in this particular situation. Collaboration style is better than forcing style. There is no single approach, but an individual approach must be developed for each new task. This is done through negotiation. The solutions found to define a new agile culture [4].

The result orientation is obvious because the agile organization operates cyclically for a short period of time (iteration) and must achieve results at a continuous pace. The context in which an organization operates is determined by several ways in which it can manifest itself. Determined planning-oriented projects can benefit from this approach by delivering results at each iteration [10].

The work environment (Gemba) should give people maximum support in creating project products. In addition, employees create working conditions from which they constantly adjust the standards to higher levels. This stimulates the agile leader. In this way, a continuous improvement process is created that helps to achieve maximum productivity [9].

Agile leader, aware of the purpose and potential of the organization, contributes to the formation of effective new teams and increase the effectiveness of existing teams. The leader builds a network of business relationships that support their own virtual organization.

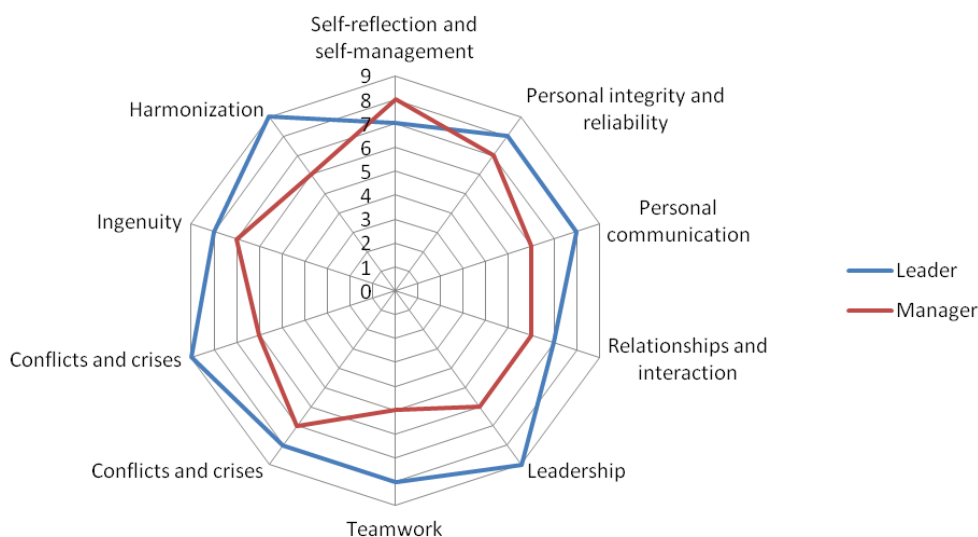
### Research results. Agile leadership in implementing innovative ideas, projects and programs

The studies were conducted within the competence model of ICB4 [13]. Agile leadership is shaped by many factors and within behavioural competencies [13]. The list of such competencies of heads of organizations, project managers and flexible leaders is given in table 1.

**Table 1.** Behavioural competencies of an agile leader

No.	Competencies
1	Self-reflection and self-management
2	Personal integrity and reliability
3	Personal communication
4	Relationships and interaction
5	Leadership
6	Teamwork
7	Conflicts and crises
8	Conflicts and crises
9	Ingenuity
10	Harmonization

The studies were conducted on the basis of assessors' assessments and self-assessments of a group of project managers who have been internationally certified under the ICB4 model by key KCI competence indicators, which form the basis of the competency assessment model. The results of the study are shown in fig. 1.



**Fig. 1.** The patterns of behaviour of a flexible leader and leader in behavioural competencies

The study involved 10 professionals who have been certified by the model ICB4 [13]. Individual assessments of flexible leaders 'and leaders' behaviour patterns were obtained.

**Table 2.** Expert assessments of the Flexible Leader's behavioural competencies

Agile leaders. Competencies	Experts										Average	Variance
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Self-reflection and self-management	6	7	8	8	6	6	8	6	7	6	6,8	0,92
Personal integrity and reliability	8	9	8	8	8	9	7	7	8	6	7,8	0,92
Personal communication	9	7	8	8	9	8	8	8	7	8	8	0,67
Relationships and interaction	8	9	8	8	6	9	9	8	8	8	8,1	0,88
Leadership	10	9	9	9	10	10	10	9	10	10	9,6	0,52
Teamwork	9	10	9	8	9	8	8	9	10	9	8,9	0,74
Conflicts and crises	8	9	8	8	9	10	9	8	9	9	8,7	0,67
Ingenuity	10	10	9	10	9	9	10	10	9	10	9,6	0,52
Harmonization	8	9	8	8	7	8	8	9	7	8	8	0,67
Orientation to the result	10	9	10	9	10	8	10	9	9	8	9,2	0,79

The average values of competency scores were taken as the basis for constructing the flexible leader's behaviour pattern, which, together with managers' assessments, is shown in fig. 1.

Table 3 presents expert assessments of the behavioural competencies of the heads of organizations.

**Table 3.** Expert assessments of the Leader's behavioural competencies

Leaders. Competencies	Experts										Average	Variance
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Self-reflection and self-management	9	7	8	8	9	9	7	8	7	8	8	0,82
Personal integrity and reliability	7	8	7	7	8	6	8	6	6	7	7	0,82
Personal communication	6	7	6	5	6	5	7	6	5	6	5,9	0,74
Relationships and interaction	6	5	7	5	6	6	5	6	7	5	5,8	0,79
Leadership	5	6	6	7	5	5	7	7	6	7	6,1	0,88
Teamwork	6	5	5	4	6	4	6	4	5	4	4,9	0,88
Conflicts and crises	7	7	6	7	8	6	8	6	7	7	6,9	0,74
Ingenuity	6	6	6	5	6	6	7	5	6	6	5,9	0,57
Harmonization	7	7	8	8	7	6	6	8	7	6	7	0,82
Orientation to the result	6	7	6	6	6	6	5	6	7	6	6,1	0,57

From the results of competency assessment, we can see that practically all the elements of competence of flexible leaders with the exception of "Self-reflection and self-management".

Key indicators of the competence of the self-reflection element and the self-leadership of the flexible leader are given in table 4.

**Table 4.** Key Indicators of Competence of the Self-Reflection and Self-Governance Element

No.	Key competency indicators
1.1.	Defines and reflects on how one's own values and experience affect work
1.2.	Creates self-confidence based on personal strengths and weaknesses
1.3.	Defines and thinks about personal motives to set personal goals and focus
1.4.	Organizes personal work depending on the situation and own resources
1.5.	Takes responsibility for individual learning and development

The conducted analysis of the competence of a leader and a leader in a sample of 20 persons allowed the

authors to construct patterns of their behaviour, which are shown in fig. 2.

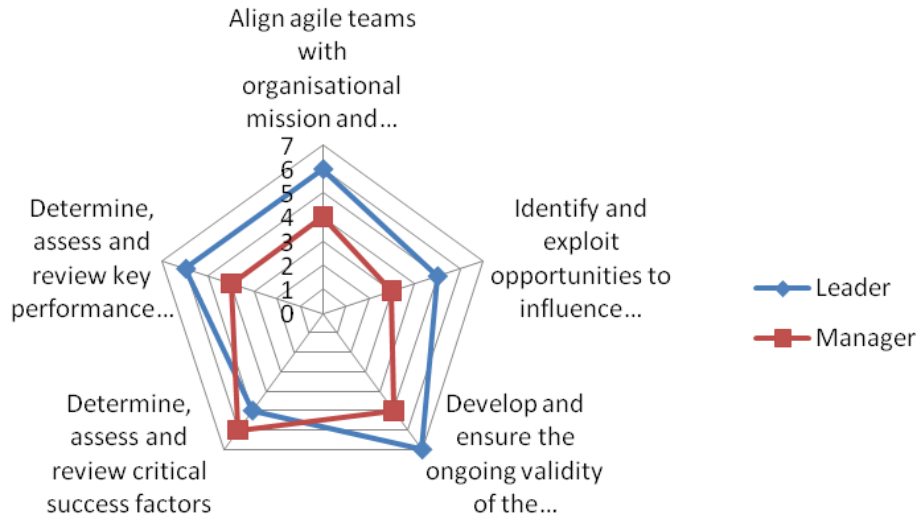


Fig. 2. Behavioural Patterns of Flexible Leader and Leader in Self-Reflection and Self-Management

Table 5. Key Leadership Indicators of Competence

No.	Key competency indicators
5.1	Initiates action and actively offers help and advice
5.2	Participates and shows affection
5.3	Provides leadership, coaching and mentoring for leadership and enhances individuals and teams
5.4	Make appropriate efforts and influence others to achieve goals
5.5	Facilitates enforces and reviews decisions



Fig. 3. Flexible Leader and Leader Behaviour Patterns

The analysis of the flexibilities of the Flexible Leaders and Leaders behaviours identifies significant gaps incompetence across individual key competency indicators. For example, in the Leadership competency element by key competency indicator, 5.1. Provides direction, coaching and mentoring for leadership and enhances the work of individuals and teams. There is a significant gap between the Flexible Leader and the Leader (fig. 3).

### Conclusions and prospects for further research

As a result of the study, the principles of flexible leadership based on the use of agile tools were identified

and analysed. The application of these principles to the development of project management systems, programs and project portfolios enables the success of information and communication technology projects on the basis of well-formed behaviour patterns of flexible leaders and heads of organizations. The flexible leadership and leadership behaviour patterns are formed in a project management behavioural competency system based on agile technology methods and tools. These competencies included: Self-reflection and self-management, Personal integrity and reliability, Personal communication, Relationships and interaction, Leadership, Teamwork, Conflicts and crises, Inventiveness, Reconciliation, and Orientation to results. The results of the studies showed a

significant difference in the behaviour patterns of flexible project leaders and organization leaders.

Further research should be conducted in the areas of analysis of all competencies of project managers, including groups of strategic and practical competencies by model [13]. In doing so, it would be necessary to

investigate the differences in the patterns of flexible project leaders and heads of organizations for different project teams to create information and communication technologies and training systems within such technologies.

## References

1. Bushuyev, S. D. et al. (2010), *Creative technologies of the project and program management*, Kyiv, Ukraine : Summit-Book, 768 p.
2. Covy, S. (2007), *7 Skills of Highly Effective People: Powerful Personal Development Tools*, Moscow, Russia : Alpina Businessbooks, 375 p.
3. Bushuyev, S., Wagner, R. (2014), "IPMA Delta and IPMA Organisational Competence Baseline (OCB): New approaches in the field of project management maturity", *International Journal of Managing Projects in Business*, Vol. 7, Issue 2, P. 302–310.
4. *IPMA Organisational Competence Baseline (IPMA OCB)*, IPMA, 2013, 67 p.
5. Bushuyev, S. D., Dorosh, M. S. (2015), "Development of innovative methods and models of project management on the basis of convergence", *Managing the development of complex systems*, No. 23, P. 30–37.
6. Jarishenko, F. A., Bushuyev, S. D., Tanaka, H. (2012), *Management of innovation projects and programs on the basis of P2M*, Kyiv, Ukraine : Summit Kniga, 272 p.
7. Kolenso, N. (2002), *Kaizen strategy for successful organizational changes*, Kyiv, Ukraine : InfraM, 175 p.
8. Bushuyeva, N. S. (2007), *Models and methods of proactive organization development programs management*, Kyiv, Ukraine : Naykovy Svit, 200 p.
9. Imai, M. (2007), *Gemba kaidzen: way to reduce costs and improve quality*, Moscow, Russia : Alpina Business Books, 345 p.
10. Lu, David J. (1986), *Kanban just-in-time at Toyota: Management Begins at the Workplace*, Japan Management Association, Productivity Press, 186 p.
11. Burrows, M. (2014), *Kanban from the Inside: Understand the Kanban Method, connect it to what you already know, introduce it with impact*, Blue Hole Press, 270 p.
12. Azarov, N. J., Jaroshenko, F. A., Bushuyev, S. D. (2012), *Innovation principals for managing development program*, Kyiv, Ukraine, Sammin Kniga, 528 p.
13. *Individual competence baseline for Project, Programme and Portfolio Management (IPMA ICB)*, IPMA, Version 4.0, 2017, 431 p.
14. Bushuyev, S., Molokanova, V. (2017), "Formalisation of the accounting valuable memes method for the portfolio of organization development and information computer tools for its implementation", *Information technology and learning tools*, Vol. 62, No. 6, P. 1–15.
15. Bushuyev, S. D., Morozov, V. V. (2000), *Dynamic leadership in project management*, Kyiv, Ukraine : Ukrainian project management association, 311 p.

Received 30.11.2019

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Бушуєва Наталія Сергіївна** – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва та архітектури, професор кафедри управління проектами, Київ, Україна; email: NatBush@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4969-7879>.

**Бушуєва Наталия Сергеевна** – доктор технических наук, профессор, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, профессор кафедры управления проектами, Киев, Украина.

**Bushuyeva Nataliya** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture, Professor of the Department of Project Management, Kiev, Ukraine.

**Бушуєв Денис Антонович** – кандидат технічних наук, Київський національний університет будівництва та архітектури, доцент кафедри інформаційних технологій, Київ, Україна; email: BushuyevD@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5340-5165>.

**Бушуєв Денис Антонович** – кандидат технических наук, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, доцент кафедры информационных технологий, Киев, Украина.

**Bushuiev Denis** – PhD (Engineering Sciences), Kiev National University of Construction and Architecture, Associate Professor of the Department of Information Technology, Kyiv, Ukraine.

**Бушуєва Вікторія Борисівна** – кандидат технічних наук, Київський національний університет будівництва та архітектури, доцент кафедри управління проектами, Київ, Україна; e-mail: Tori@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7298-4369>.

**Бушуєва Виктория Борисовна** – кандидат технических наук, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, доцент кафедры управления проектами, Киев, Украина.

**Bushuieva Victoria** – PhD (Engineering Sciences), Kyiv National University of Construction and Architecture, Associate Professor of the Department of Project Management, Kyiv, Ukraine.

## AGILE ЛІДЕРСТВО УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ ІННОВАЦІЙ

**Предметом** статті є розробка проєктів, програм та систем управління портфелями проєктів з двигунами інновацій. Значні зміни в середовищі потребують подальших досліджень ефективності застосування існуючих спритних методологій, систем знань та компетенцій керівників проєктів та їх керівництва. Основи змін доквілля лежать у зміні парадигми прийняття рішень в управлінні інноваційними проєктами та програмами. **Мета** – дослідити сучасні підходи до формування лідерства при застосуванні спритних методологій його специфіки з точки зору процесів прийняття рішень в управлінні проєктами. Розглянуто проблеми створення та розвитку лідерства у застосуванні спритних методологій управління проєктами для впровадження інформаційно-комунікаційних систем. **Результати** досліджень проводилися на основі компетентнісного підходу, модельованого Міжнародною асоціацією управління проєктами. Представлена змістовна модель компетенції лідера, що застосовує спритний менеджмент. **Висновки:** Agile лідерство та лідерські моделі поведінки формуються в системі поведінкової компетентності управління проєктами, заснованої на методах та інструментах Agile технологій. Ці компетенції включали: саморефлексію та самоуправління, особисту цілісність та надійність, особисте спілкування, відносини та взаємодія, лідерство, командна робота, конфлікти та кризи, винахідливість, примирення та орієнтацію на результати. Досліджено закономірності поведінки керівників проєктів як спритних лідерів у створенні продуктових продуктів та керованому управлінні проєктами. Різниця в моделях поведінки лідерів та гнучких лідерів були досліджені за поведінковими компетенціями в межах визначених ключових показників компетентності. Такі зразки дозволили авторам визначити вузькі місця у застосуванні гнучких методологій управління проєктами в контексті розробки інноваційних систем.

**Ключові слова:** лідерство; спритні методи управління; проєкт; компетентність; модель поведінки; керівник проєкту.

## AGILE ЛИДЕРСТВО УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМИ ПРОЕКТАМИ

**Предметом** статьи является разработка систем управления проектами, программами и портфелями проектов с драйверами инноваций. Существенные изменения в среде требуют дальнейшего изучения эффективности применения существующих гибких (Agile) методологий, систем знаний и компетенций руководителей проектов и их руководства. Основы экологических изменений лежат в изменении парадигмы принятия решений в управлении инновационными проектами и программами. **Цель** – изучить современные подходы к формированию лидерства при применении гибких методологий его специфики с точки зрения процессов принятия решений в управлении проектами. Рассмотрены проблемы создания и развития лидерства в применении гибких методологий управления проектами для внедрения информационно-коммуникационных систем. **Результаты** исследований проводились на основе компетентностного подхода, смоделированного Международной ассоциацией управления проектами. Представлена содержательная модель компетенции лидера, применяющего гибкое управление. **Выводы:** Agile лидерство и лидерские модели формируются в системе поведенческих компетенций управления проектами, основанных на методах и инструментах Agile технологий. Эти компетенции включали в себя: саморефлексию и самоуправление, личную честность и надежность, личное общение, взаимоотношения и взаимодействие, лидерство, командную работу, конфликты и кризисы, изобретательность, примирение и ориентацию на результаты. Исследуются модели поведения руководителей проектов в качестве гибких лидеров в создании продуктов проекта и гибкого управления проектами. Различия в моделях поведения лидеров и гибких лидеров были изучены поведенческими компетенциями в рамках выявленных ключевых показателей компетентности. Такие закономерности позволили авторам выявить узкие места в применении гибких методологий управления проектами в контексте разработки инновационных систем.

**Ключевые слова:** лидерство; методологии гибкого управления; проєкт; компетенция; модель поведения; менеджер проєкта.

### *Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions*

Бушуєва Н. С., Бушуєв Д. А., Бушуєва В. Б. Agile лідерство управління проєктами інновацій. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2019. № 4 (10). С. 77–84. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.077>.

Bushuyeva, N., Bushuiev, D., Bushuieva, V. (2019), "Agile leadership of managing innovation projects", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 77–84. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.077>.

UDC 005.8

DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.085>

O. ZACHKO, D. KOBYLKIN, O. KOVALCHUK

**MODELS OF PROJECT TEAMS' FORMATION IN A SAFETY-ORIENTED SYSTEM**

The **subjects** of the research are models and methods of optimization and automation of personnel selection in safety-oriented systems with their further formation into project teams on the example of civil protection service, law enforcement agencies of national police, as well as the Armed Forces of Ukraine. **Purpose:** to develop models for the formation of project teams in safety-oriented systems, taking into account the parameters of personal human qualities and professional skills of candidates for competitive selection based on the global experience of companies in the field of human resources management using software information expert systems. The following **tasks** are solved in the article: to identify the most effective modern models that can be applied in the civil protection system, taking into account the specifics of the service, on the basis of the use of the European project management toolkit and programs in the field of personnel, organizations, firms and companies. It is necessary to expand the terminological base of management of projects, programs and project portfolios by introducing a new definition of a safety-oriented system. For this research, popular modern automated recruitment systems, as well as expert information systems models, would be considered to capture all relevant information from the database and graphically describe the process of forming project teams in safety systems and to generalize the candidate index model. The following **methods** are used: human resource management using automated HRM systems, expert information systems and index numbers. The following **results** were obtained: the model of the structure of the information expert system and the process of knowledge accumulation through the software were developed, an index method for formation of project teams (on the example of military formations) in safety-oriented systems was proposed. **Conclusions:** a generalized model of expert information system was developed for the selection of personnel into safety-oriented systems based on an index method.

**Keywords:** safety-oriented system; index method; human resources management; expert systems.

**Introduction**

The complexity of forming project teams in Ukraine's security forces is a pressing issue, because the current global trend is the formation of project teams that are endowed with special functions and use a flexible management system that is different from the traditional one, where tasks are placed by a command-administrative method in a vertical structure that causes bureaucracy and corruption situations, through human intervention and incompetence, do not achieve the goals of the organization. European HRM practices use modern project and program management tools to select and further form project teams. They are used in the sphere of public authority, commercial enterprises and organizations. However, in security-oriented systems, these models are not implemented because of the peculiarities of service flow and service.

**Analysis of studies and publications**

The questions of studying methods and models of formation of project teams are devoted to the scientific works of such domestic and foreign scientists: Lysenko D.E., Chumachenko I.V., Busheyev S.D., Morozov V.V., Medvid A.P., Danilenko A.I., Sherstyuk O.I., Medvedeva O.M., Rach V.A., Oluyko V.M., Danchenko O.B., Bedrii D.I., Semko I.M., Archibald R., Mazur I.I., Shapiro V.D., Ilyushko V.M., Koshkin K.V. and others.

In his works Lysenko D.E. developed methods and models of selection and choice of the project team as one of the factors of achievement of the set project goals, developed a methodology of functioning of the decision support system (DSS) on the basis of multicriteria evaluation and theory of precedents during which the ranking of "ideal candidate" with further appointment to

the position in the project [6]. However, the application of this methodology cannot be applied in the recruitment of civil protection personnel.

A. P. Medvid researched the mechanisms of implementation of personnel policy in the bodies of civil protection as an important lever of development. He described the development of research methodologies for managerial professional qualities of staff for the analysis of certain groups of civil servants [1]. The use of test results enables the civil servants to be "re-rated" by the integrated indicator, as well as by analyzing certain individual qualities to analyze what needs to be "trained" for staff to be more efficient and in line with professional competence. This work requires the further development of human resource management based on European standards.

Professor I.V. Chumachenko paid special attention to models of formation and management of human resources in the multiproject environment, programs and interaction between project stakeholders [2]. He has developed a competent approach to forming a project team with limited human resources, but this method has a number of limitations that are not suitable for use in a military unit where the scale of human interaction is larger than typical projects.

In his works, the scientist Olenich A.V. studied the peculiarities of forming project teams according to the old and the new approach [10]. He described the issues of staff turnover that form the "bank" of collective experience. He argued that modern success is achieved through the innovation and awareness of all project participants, who are able to achieve their goals quickly and with minimal cost. But paramilitary services do not need to have the entire information base between staff and candidates public, and the implementation of innovative technologies requires effective solutions at low costs, which is not easy to achieve today.

The Ministry of Internal Affairs specialists developed automated psycho-diagnostic complexes for determining the suitability of candidates for military service and in higher military educational institutions of civil defense [3]. Particular attention in these studies was given to the mental preparedness of candidates under real stressful conditions for the formation of individual characteristics, with subsequent evaluation of applicants for the service. These complexes need refinement and new formalized – described models.

To implement these methods in the civil protection system, it is necessary to take into account the peculiarities of passing and serving. It is necessary to pay attention to the project approach, which is becoming more and more relevant.

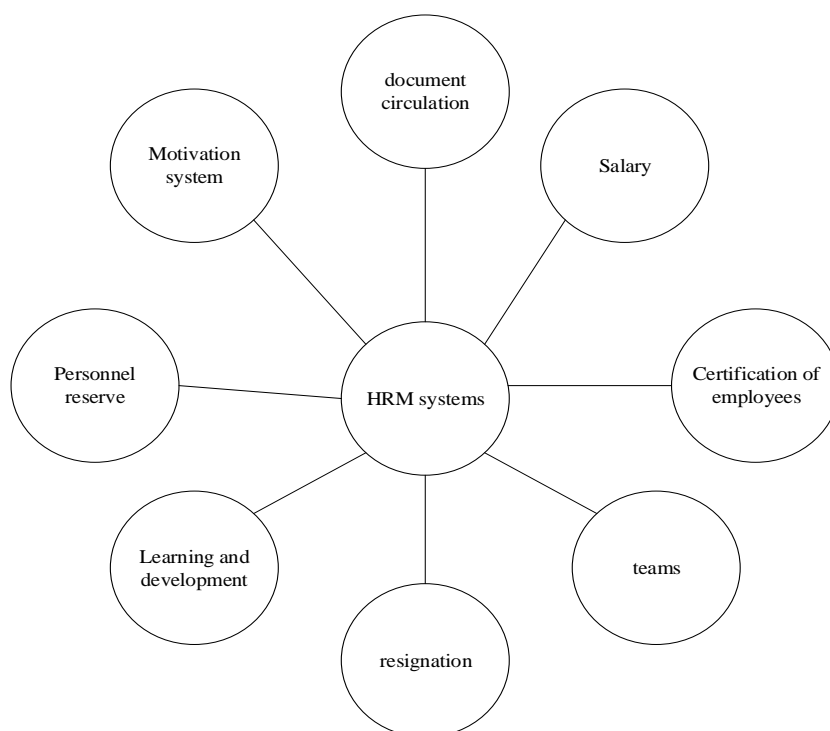
### Main part

For military force structures, it is advisable to formulate a new terminology base. We have proposed a new term, namely a security-oriented system.

"Security-oriented system" is a set of organizations, institutions and structures united by a common purpose to ensure the functioning of safe living conditions of the state. These include officers from the military, police, health, security forces of the SES, the Ministry of Internal Affairs, medical personnel and other personnel focused on ensuring the safety and civil protection of the population. For selection in such structures it is advisable to consider the world experience of personnel management.

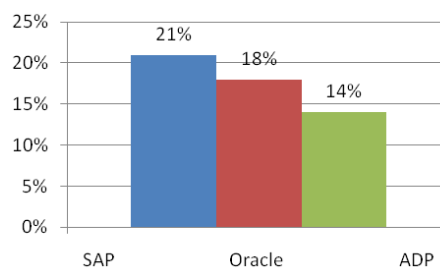
For the efficiency of human and human resources management, organizations and enterprises use automated information systems, which are referred to as HRM (human resources management system).

These include strategic functions and programs for the workflow of staff records, reporting, planning for the selection of candidates for enterprises, firms and companies through information support for decision-making based on competence management, testing, certification, evaluation and other parameters required in the selection of personnel. This area is addressed by HR managers, who use a variety of information systems functionality when interviewing candidates, the functions of HRM systems are shown in fig. 1.



**Fig. 1.** Object model diagram of HRM systems tasks

Analyzing the global HRM software market, IDC, a leading provider of information and consulting services, was surveyed. According to these data, the leaders in the global HRM systems market are SAP (21%) – System Analysis and Program Development, Oracle (18%) and Automatic Data Processing (ADP 14%), with the remaining companies and firms accounting for only 5% of the market [15]. The graph of the ratio of the most popular HRM systems is presented in fig. 2.



**Fig. 2.** Graph of percentage of the most popular HRM systems used in the world organizations

The most developed and popular in terms of implementation are ERP applications that are designed for workforce planning, namely in the western market these are Oracle Application, Axapta and SAPR/3 modules for medium and large businesses, but their software is expensive and implementation methods are complicated

for Ukrainian organizations. Analysis of other popular and modern information systems. It is necessary to rely on criteria when choosing the necessary information system, namely: cost, payback system and its functionality.

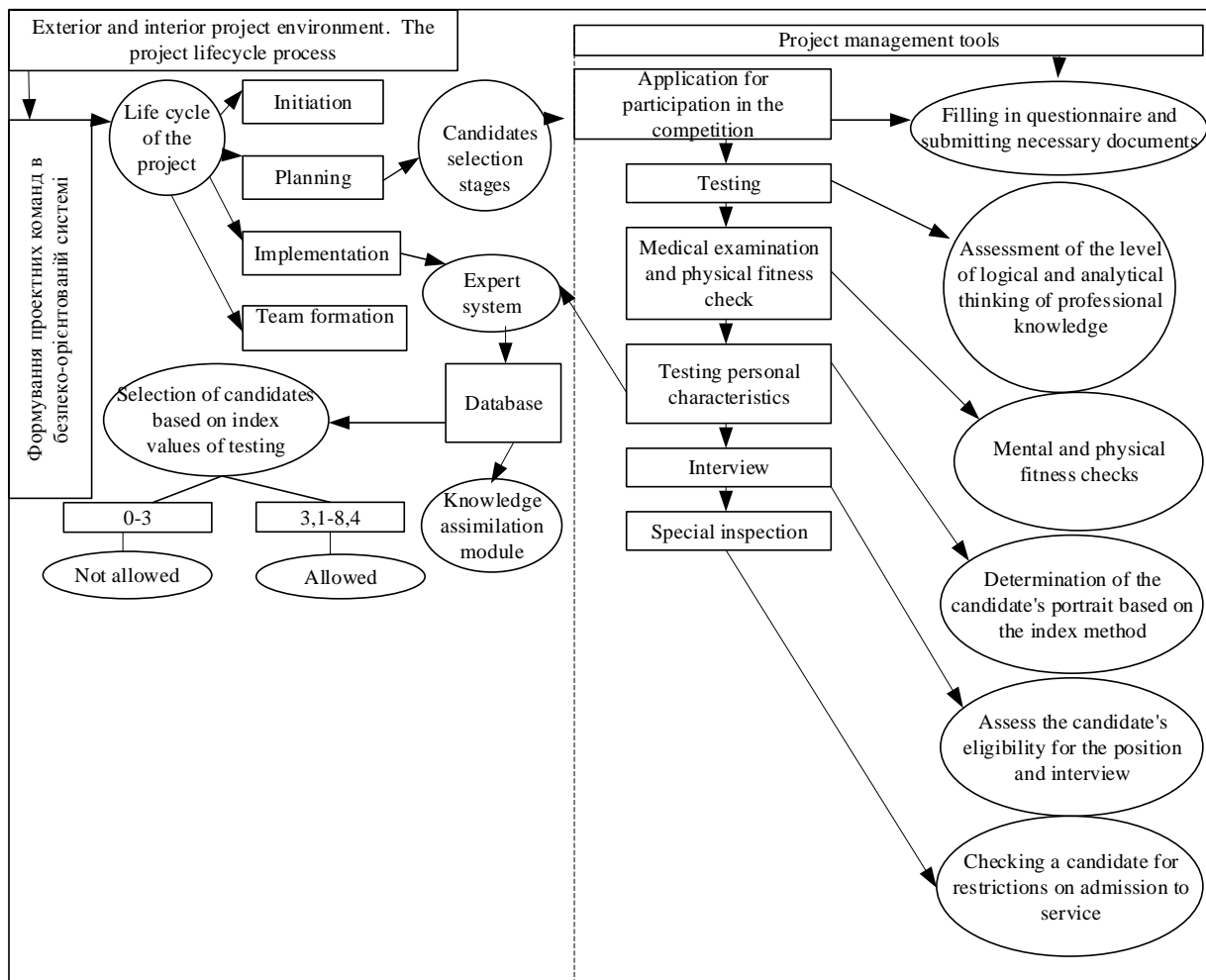
Among the implemented domestic information HRM systems are the following, which are listed in table 1 [8].

**Table 1.** List of domestic automated human resource management systems

No.	Name	Representation	Branch
1	"Parus-Personnel"	Parus Corporation, representative office in Ukraine	Software development and implementation
2	"IC: Salary and Personnel Management for Ukraine"	IC company, representative offices in Ukraine	Development Enterprises and Trade
3	"Boss-Personnel"	Ukrainian representative office of the Russian company "ITi"	Information services
4	"Personnel Active"	Active Consulting Group, Ukraine	Legal services and consulting
5	"Infopulse HRMS"	Infopulse Ukraine, Ukraine	IT services

Modern technologies of functioning of HRM systems and structuring of requirements for candidates will allow to distinguish information system, database of individual psychological characteristics of applicants thanks to the described index method and decision support

system (DSS) for successful formation of personnel and fulfillment of their professional and official duties. A model diagram of the formation of a project team in a security-oriented system is presented in fig. 3.



**Fig. 3.** Model-scheme of formation of the project team in a security-oriented system

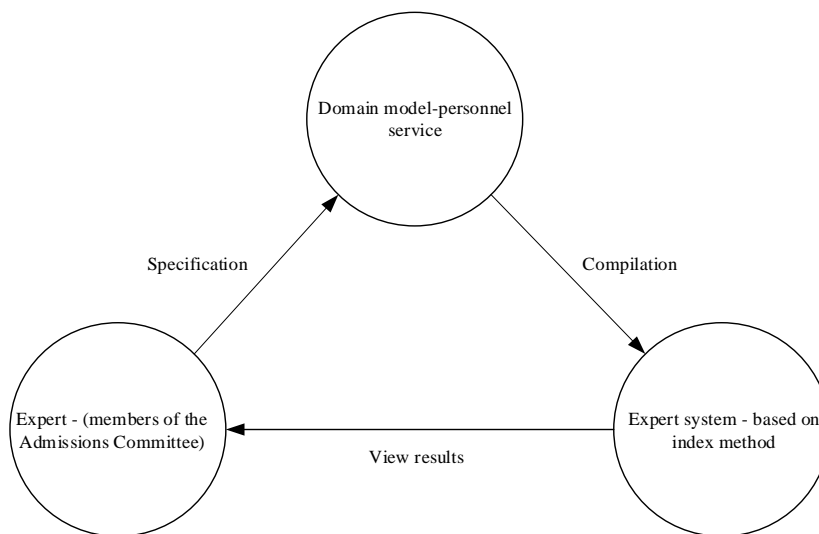
In order to optimize and automate the selection process, expert decision support systems for the HR department should be considered.

The Expert System is a computer program that manages knowledge in a specific subject area to solve problems; it is one of the areas of the new field of research

called Artificial Intelligence (AI), which can replicate the accumulated experience.

The process of knowledge acquisition should include a subject model (in our case a personnel service), an

expert system based on an index method, experts (e.g. members of the admissions committee). The process of accumulating experience and knowledge can be seen in fig. 4.



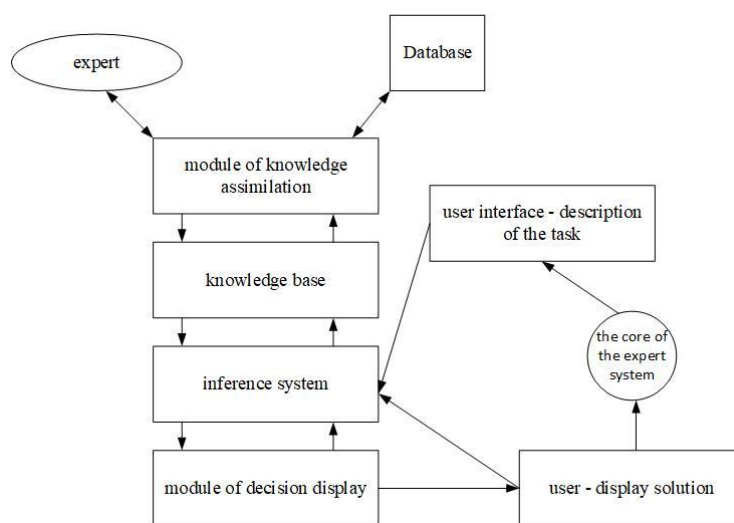
**Fig. 4.** The process of acquisition (accumulation) of knowledge in the expert system

In our case, it is the selection and formation of the "ideal candidate". The expert system will be able to take on the functions performed by the specialist, thereby minimizing the human factor, eliminating corruption and competently assessing project candidates. It should include a database with the necessary information about the members of the competition - selection, expert (in our case, these may be members of the selection committee), the module of knowledge and knowledge accumulation, which was described in fig. 2, inference system - software with a user-friendly interface for describing the task and providing the processed information. The system is interconnected and an important element is the core of the expert information system.

The expert system includes six logically systematic steps [17]:

- 1) identification – goal setting, goals, task description, input;
- 2) conceptualization – analysis and research by subject matter experts is performed;
- 3) formalization - describes the process of work and the choice of software;
- 4) implementation - implementation of the project;
- 5) testing - the competence of the expert system is checked;
- 6) experimental exploitation of the suitability of the expert system.

The prototype of the expert system is shown in fig. 5.



**Fig. 5.** Prototype of the expert system

In order to develop an expert system, it will be advisable to start by setting general indexes for such military units as the Ukrainian Armed Forces, law enforcement agencies and the civil defense service.

The index method is relative indicators for spatial comparisons, cause and effect, and the identification of the influence of various factors on the subject of study [17].

Competencies depending on the type of service in the range [0-1] will affect the overall index indicator, which identifies the necessary personnel depending on the specified parameters. To do this, it is necessary to set the qualitative parameters of numerical values and assign the highest priority for each type of military.

We interviewed HRM systems experts and military personnel, based on which an index estimate of the human qualities lying in the range was proposed [0; 1], where 1 is the maximum number allowed (ideal candidate).

**Table 2.** List of human qualities for selection of candidates on the basis of index method

List of qualities	Firefighter Rescuer	Police officer	Soldier of the Armed Forces of Ukraine
Motivation	0.8	0.7	0.8
Psychological preparation	0.8	0.8	0.8
Physical training	0.8	0.8	0.8
Technical skill	0.8	0.7	0.9
Humanitarian skills	0.6	0.9	0.5
Stress resistance	0.8	0.8	0.8
Responsibility	0.8	0.9	0.9
Confidence	0.8	0.8	0.8
Ambitiousness	0.7	0.8	0.8
Restraint	0.8	0.8	0.5
Ethical standard	0.7	0.8	0.5
Total index "of the candidate"	8,4	8,8	8,1

The criterion for the selection of personnel was the range of [0; 1], which was determined based on the criteria of danger, paperwork and responsibility. The list of human qualities will be considered fundamental parameters, in addition to them there are a number of

other criteria that make the security-oriented system difficult to describe and needs to be studied. We have proposed the following numerical limits for decision support, see table 3.

**Table 3.** Admission to design teams of security-oriented systems

Profession	Not allowed	Admission with subsequent evaluation	Enrollment in the team
Firefighter rescuer	0-3	3,1-6	6,1-8,4
Police officer	0-4	4,1-7	7,1-8,8
Soldier of the Armed Forces of Ukraine	0-3,5	3.6-5	5,1-8,1

To improve the selection process, it is necessary to create a staff database before the interview and a questionnaire for each candidate. This database management system will have to contain all the information of the members for the competition-selection, namely: photo, gender, name and surname, education,

address and place of residence, general information on administrative - criminal record, medical and mental status as well as the physical ability to serve in military formations.

A generalized example of a candidate's service questionnaire is given in table 4.

**Table 4.** Questionnaires of the candidate for service

Photo of the candidate	General information 1) full name 2) education 3) place of residence 4) information about no criminal record 5) medical and mental description 6) gender
The candidate's numerical index on the basis of selection and testing will be generated by an information system that is able to optimize the personnel policy process.	

## Conclusions

Having analyzed the world experience of using HRM and information expert systems in the process of selection and formation of personnel for project - oriented teams, we have generalized the European model of personnel selection. A new terminological base for "security - oriented systems" has been proposed. They are difficult - described because of the peculiarity of passing

and carrying the service. The model scheme of forming the project team in a security-oriented system is developed, the basic necessary criteria for the selection of personnel based on index values in the automated expert systems of human resources management are described, which should positively influence the results of the personnel service of civil protection, law enforcement agencies and military personnel of the Ukrainian military.

## References

1. Medvid, A. P. (2015), "Personnel policy as an effective lever for the development of the Civil Protection Service of Ukraine in modern conditions" ["Kadrova polityka yak efektyvnyi vazhil rozvytku sluzhby tsyvilnoho zakhystu Ukrainy v suchasnykh umovakh"], *Scientific notes of the Institute of Legislation of the Verkhovna Rada of Ukraine*, No. 3, P. 122–126.
2. Chumachenko, I. V., Dotsenko, N. V., Sabadosh, L. Yu. (2015), "Methods of forming human resources of multiproject teams and programs" ["Metody formuvannya liudskymy resursamy multyproektnykh komand ta prohram"], *Monograph*, 202 p.
3. Vorobiova, I. V., Prykhodko, I. I., Poltorak, S. T. (2015), "Selection in the National Guard psychodiagnostic complex" ["Vidbir u natshvardiiu psykhdiahnostychnyi kompleks"], *Monograph*, P. 18–40.
4. Oluiko, V. M. (2018), "Personnel management under decentralized conditions" ["Upravlinnia personalom v umovakh detsentralizatsii"], *Book*, P. 176–189.
5. Rossoshanska, O. V., Birukov, O. V. (2010), "Forming a project management team based on a competent approach" ["Formuvannya komandy upravlinnia realizatsiiei proektu na osnovi kompetentnistnoho pidkhodu"], *Project management and production development: a collection of scientific papers*, Lugansk : V. Dahl EUNU Publishing House, No. 1 (33), P. 127–146.
6. Lysenko, D. E. (2009), "Models and methods of forming a project team using precedent theory" ["Modeli ta metody formuvannya komandy proektu z vykorystanniam teorii pretsedentiv"], *abstract*, Kharkiv, P. 6–15.
7. Danchenko, O. B., Bedrii, D. I., Semko, I. M. (2017), "Identification of personnel risks of scientific projects" ["Identyfikatsiia kadrovyykh ryzykiv naukovyykh proektiv"], *Scientific Periodicals of Ukraine NBUU*, P. 19–22.
8. Leli, Yu. H. (2015), "Analysis of existing automated personnel management systems at Ukrainian enterprises" ["Analiz isnuuychyykh avtomatyzovanykh system upravlinnia personalom na ukraïnskykh pidpriemstvakh"], *Book*, P. 176–189.
9. Hohot, M. M., Chuprina, M. O. "Use of information systems in personnel management" ["Vykorystannia informatsiinykh system v upravlinni personalom"], *Topical Problems of Economics and Science: Collection of Scientific Papers of the KPI I. Sikorsky Management Faculty*, P. 3–7.
10. Olenich, A. V., Shacka, Z. Ya. (2012), "Formation and development of the project team in modern conditions" ["Formuvannya i rozvytok proektnoi komandy v suchasnykh umovakh"], *Topical Problems of Economics*, No. 10, P. 3–7.
11. "HRM systems", available at : <https://www.simplypersonnel.co.uk/hr-software/info/what-is-a-hr-system/?approve=yes>
12. "Information systems HRIS", available at : <https://www.thebalancecareers.com/human-resources-information-system-hris-1918140>
13. Fabrice Delice, Moira Rousseau and Jennifer Feitosa (2019), "Advancing teams research: what, when, and how to measure team dynamics over time", available at : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2019.01324/full>
14. Sandra Morley, Kathryn Cormican, Paul Folan (2015), "An Analysis of Virtual Team Characteristics: A Model for Virtual Project Managers", available at : [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-27242015000100014&script=sci\\_arttext&lng=en](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-27242015000100014&script=sci_arttext&lng=en)
15. "HRM Systems Research: Market Analysis", (2016), ["Issledovanye HRM system: analiz rynka"], *Scientific journal KubSAU*, No. 115 (01), available at : <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-hrm-sistem-analiz-rynka-vybor-i-vnedrenie-dlya-kompaniy-srednego-i-krupnogo-biznesa/viewer>
16. Okhrimenko, V. M., Voronkova, T. B. (2006), "Information systems and technologies at enterprises" ["Informatsiini systemy i tekhnolohii na pidpriemstvakh"], *Lecture notes (for students and students of FEF and FE specialty "Economics of Enterprise"*, Kharkiv : KNAMG, 185 p.
17. Rahmat Shazi, Nicole Gillespie, John Steen. (2015), "Trust as a predictor of innovation network ties in project teams", *International Journal of Project Management*, Vol. 33, Issue 1, P. 81–91.
18. Zachko, O. B., Golovaty, R. R., Kobylkin, D. S. (2019), "Models of safety management in development projects", *Materials of 2019 IEEE 14th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2019)*, Vol. 3, Lviv, P. 81–84.
19. Zachko, O. B., Kobylkin, D. S. (2018), "Discrete-event modeling of the critical parameters of functioning the products of infrastructure projects at the planning stage", *Materials of 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2018)*, Vol. 2, Lviv : Publisher "Vezha i Ko", P. 152–154.
20. Ponomaryov, O. S., Grinchenko, M. A., Lobach, O. V. (2018), "Reliability as a characteristic of the project team", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (6), P. 154–160. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.6.154>
21. Kosenko, V. (2018), "Decision support system in planning investment projects", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (6), P. 113–119. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.6.113>.

Received 28.11.2019

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Зачко Олег Богданович** – доктор технічних наук, професор, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, професор кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту, Львів, Україна; email: zachko@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3208-9826>.

**Зачко Олег Богданович** – доктор технических наук, профессор, Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности, профессор кафедры права и менеджмента в сфере гражданской защиты, Львов, Украина.

**Zachko Oleh** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Lviv State University of Life Safety, Professor of the Department of Law and Management in the Field of Civil Protection, Lviv, Ukraine.

**Кобилкін Дмитро Сергійович** – кандидат технічних наук, доцент, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, доцент кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт, Львів, Україна; email: dmytrokobylkin@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2848-3572>.

**Кобылкин Дмитрий Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент, Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности, доцент кафедры пожарной тактики и аварийно-спасательных работ, Львов, Украина.

**Kobylkin Dmytro** – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Lviv State University of Life Safety, Associate Professor of the Department of Fire Tactics and Rescue Operations, Lviv, Ukraine.

**Ковальчук Олег Ігорович** – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ад'юнкт кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту, Львів, Україна; email: Justdoitolejka@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6584-0746>.

**Ковальчук Олег Ігорович** – Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности, адъюнкт кафедры права и менеджмента в сфере гражданской защиты, Львов, Украина.

**Kovalchuk Oleh** – Lviv State University of Life Safety, Adjunct of the Department of Law and Management in the field of civil protection, Lviv, Ukraine.

## МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ПРОЄКТНИХ КОМАНД В БЕЗПЕКО–ОРІЄНТОВАНІЙ СИСТЕМІ

**Предметом** дослідження є моделі та м оптимізації і автоматизації відбору кадрів у безпеко–орієнтованих системах з подальшим формуванням їх у проєктні команди на прикладі служби цивільного захисту, правоохоронних органів національної поліції, а також збройних сил України. **Мета** роботи : розроблення моделей формування проєктних команд у безпеко–орієнтованих системах з врахуванням параметрів особистісних людських якостей та професійних навичок кандидатів для конкурсного відбору на основі світового досвіду компаній в сфері управління людськими ресурсами із використанням програмного забезпечення інформаційних експертних систем. В статті вирішуються наступні **завдання**: на основі використання європейського інструментарію управління проєктами та програмами (видалити слово програм) в сфері найму персоналу в військових формуваннях, організаціях, фірмах та компаніях виокремити найефективніші сучасні моделі, які можна застосувати у системі цивільного захисту з врахуванням специфіки проходження служби. Необхідно розширити термінологічну базу управління проєктами, програмами та портфелями проєктів, шляхом введення нового визначення – безпеко–орієнтована система. Для даного дослідження слід розглянути популярні сучасні автоматизовані системи з найму персоналу, а також моделі експертних інформаційних систем, які б брали усю необхідну інформацію з бази даних та графічно описати процес формування проєктних команд в безпеко–орієнтованих системах та узагальнити модель індексу кандидатів. Використовуються такі **методи**: управління людськими ресурсами з використанням автоматизованих HRM систем, експертні інформаційні системи та індексні числові показники. Отримано наступні **результати**: розроблено структурну модель інформаційної експертної системи та описано процес накопичення знань завдяки програмному забезпеченню, запропоновано індексний метод формування проєктних команд (на прикладі військових формувань) у безпеко–орієнтованих системах. **Висновки**: розроблено узагальнену модель-схему експертної інформаційної системи для відбору кадрів у безпеко–орієнтовані системи на основі індексного методу.

**Ключові слова**: безпеко–орієнтована система; індексний метод; управління людськими ресурсами; експертні системи.

## МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОЕКТНОЙ КОМАНДЫ В БЕЗОПАСНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ

**Предметом** исследования являются модели и методы оптимизации и автоматизации отбора кадров в безопасно-ориентированных системах с последующим формированием их в проектные команды на примере службы гражданской защиты, правоохранительных органов национальной полиции, а также вооруженных сил Украины. **Цель** работы: разработка моделей формирования проектных команд в безопасно-ориентированных системах с учетом параметров личностных человеческих качеств и профессиональных навыков кандидатов для конкурсного отбора на основе мирового опыта компаний в области управления человеческими ресурсами с использованием программного обеспечения информационных экспертных систем. В статье решаются следующие **задачи**: на основе использования европейского инструментария управления проектами и программ в сфере найма персонала в воинских формированиях, организациях, фирмах и компаниях выделить наиболее эффективные современные модели, которые можно применить в системе гражданской защиты с учетом специфики прохождения службы. Необходимо расширить терминологическую базу управления проектами, программами и портфелями проектов, путем введения нового определения - безопасно-ориентированная система. Для данного исследования следует рассмотреть популярные современные автоматизированные системы по найму персонала, а также модели экспертных информационных систем, которые принимали всю необходимую информацию из базы данных и графически описать процесс формирования проектных команд в безопасно - ориентированных системах и обобщить модель индекса кандидатов. Используются такие **методы**: управление человеческими ресурсами с использованием автоматизированных HRM систем, экспертные информационные системы и индексные числовые показатели. Получены следующие **результаты**: разработана модель структуры информационной экспертной системы и процесс накопления знаний благодаря программному обеспечению, предложено индексный метод формирования проектных команд (на примере военных формирований) в безопасно-ориентированных системах. **Выводы**: разработана обобщенная модель экспертной информационной системы для отбора кадров в безопасно-ориентированные системы на основе индексного метода.

**Ключевые слова**: безопасно-ориентированная система; индексный метод; управления человеческими ресурсами; экспертные системы.

### Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Зачко О. Б., Кобилкін Д. С., Ковальчук О. І. Моделі формування проєктних команд в безпеко–орієнтованій системі. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2019. № 4 (10). С. 85–91. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.085>.

Zachko, O., Kobylkin, D., Kovalchuk, O. (2019), "Models of project teams' formation in a safety-oriented system", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 85–91. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.085>.

І. О. МАСЛЮК

## НАПРЯМИ АКТИВІЗАЦІЇ МОДЕРНІЗАЦІЙНИХ ЗРУШЕНЬ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ УКРАЇНИ

**Предметом** дослідження у цій роботі є сучасний стан сільськогосподарського виробництва України. **Метою** статті є виділення основних напрямів активізації модернізаційних зрушень у сільськогосподарському виробництві України. **Завданням** цього дослідження є розробка спектру стратегічних напрямів активізації модернізаційних зрушень сільського господарства України, на які варто орієнтувати свою діяльність сільськогосподарським підприємствам для забезпечення прибутковості та довгострокового розвитку. При виділенні бар'єрів, які заважають успішному розвитку і функціонуванню аграрної галузі в Україні використано такі **методи**: проблемно-хронологічний, який зумовив структурну побудову дослідження та надав можливість з належною повнотою проаналізувати проблеми розвитку сільського господарства у часовій послідовності і динаміці; метод системного підходу дозволив розглядати аграрну галузь, як цілісну систему, що складається взаємопов'язаних між собою елементів, які становлять її структуру та виконують відповідні функції; аналітико-синтетичний метод застосовано при вивченні та обробці джерел і літератури, обґрунтуванні теоретичних висновків, що дозволив всебічно висвітлити стан опрацювання проблем аграрної галузі. Статистичні методи обробки даних використані з урахуванням економічного та фінансово-кредитного забезпечення сільськогосподарських підприємств. Для виділення напрямів модернізації застосовується аналітичний метод дослідження: рівня рентабельності виробництва, системи статистичних показників виробництва на сільськогосподарських підприємствах, продуктивності праці, динаміки розвитку рослинництва й тваринництва та випуску валової продукції за досліджуваній період. Для активізації використання сільськогосподарського виробництва України у роботі отримано **результати** модернізаційних зрушень, які починаються з: функціонування на рівноправній економічній основі різних організаційно-правових форм господарювання в аграрному секторі; гармонізації інтересів власників, найманих працівників та сільських громад; формування конкурентоспроможних на внутрішньому та зовнішніх ринках виробничих структур. **Висновки**: За останні роки вже спостерігається збільшення обсягів виробництва валової продукції сільського господарства, підвищення продуктивності праці в підприємствах сільського господарства, урожайності основних культур та продуктивності худоби, птиці та ін. Для подальшого розвитку слід закріпити ці позитивні зміни та створити сприятливі умови та набуття тенденції незворотності, а це в свою чергу забезпечить продовольчу безпеку держави, удосконалення економічного механізму господарювання: податки, кредитування, ціни, дотаційну політику, міжгалузеві економічні зв'язки, щоб усі галузі й сфери діяльності в економіці країни мали однакові економічні умови для відтворення виробництва.

**Ключові слова**: сільське господарство; сільськогосподарські підприємства; валова продукція; рентабельність; продуктивність праці; урожайність; прибуток.

### Вступ

Сільське господарство України набуває за останні роки стабільної позитивної динаміки у виробництві сільськогосподарської продукції. Завдяки аграрній галузі зменшується рівень бідності населення, створюються нові робочі місця, промисловість забезпечується сировиною, а населення – продуктами харчування. Угода про асоціацію з Європейським Союзом значно покращує українські стандарти якості та поступово дає змогу перейти на європейський рівень – зокрема, у сільському господарстві, щоб врешті експортувати не лише сировину, а й товари з доданою вартістю. Подальший розвиток однієї з найбільш важливих галузей в економіці України потребує якісних перетворень, від реалізації яких залежить підвищення конкурентоспроможності сільськогосподарського виробництва та продовольчої безпеки держави.

Актуальність теми полягає не тільки у виділенні основних напрямів активізації модернізаційних зрушень в сільському господарстві України, що, в свою чергу, викличуть якісні перетворення в найбільш важливій галузі в економіці України, а й у визначенні бар'єрів, які заважають успішному розвитку і функціонуванню аграрної галузі в країні.

### Аналіз проблеми та існуючих методів

Незважаючи на чималу кількість потужних наукових доробок вітчизняних науковців, дослідження в цьому напрямі не можна вважати завершеними, а одержані наслідки – цілковитими, оскільки статистичні показники щорічно оновлюються, тому питання необхідно досліджувати в динаміці. Це зумовлює важливість подальшого вивчення специфіки напрямів активізації модернізаційних зрушень в аграрній галузі країни та уточнення їх для сільськогосподарського виробництва. Дослідженню сучасного стану, проблем та напрямів активізації модернізаційних зрушень в с.-г. України присвячено чимало праць дослідників. Пріоритетні напрями розвитку аграрного сектору економіки виділили у своїй роботі В. О. Сокіл і Ж. А. Кононенко [1]. Теоретико-методологічні засади трансформації аграрного сектору економіки країни розроблено та висвітлено в наукових працях П. Т. Саблук, М. М. Федоров, В. Я. Месель-Веселяк [2] та М. В. Присяжнюк і М. В. Зубець [3]. У статті Я. І. Костецький [4] розглянуто основні групи показників рентабельності, які застосовують у сільськогосподарських підприємствах, проаналізовано основні економічні результати діяльності сільськогосподарських підприємств та проведений їх аналіз з точки зору рентабельності. Висвітлено

сутність продуктивності праці, її ефективність та інтенсивність в роботі Р. М. Чорна [5]. У статті Г. С. Морозова [6] проаналізовано тенденції розвитку сільського господарства України, здійснено економічний аналіз ефективності діяльності сільськогосподарських підприємств України в контексті аграрних реформ. Н. В. Михайленко та І. В. Бурачек [7] досліджено стан сільськогосподарської галузі України та проаналізовано рентабельність виробництва продукції сільського господарства за визначений період. Ю. О. Лупенко [8] визначено стратегічні напрями розвитку сільського господарства України на період до 2020 року.

Але значна кількість питань, які актуальні на сьогодні, потребує додаткових наукових досліджень.

**Метою** статті є виділення основних напрямів активізації модернізаційних зрушень у сільськогосподарському виробництві України. Для досягнення цієї мети пріоритетним завданням обрано знаходження напрямів активізації модернізаційних зрушень сільського господарства за допомогою аналізу рівня рентабельності виробництва на підприємствах, продуктивності праці, динаміки розвитку рослинництва й тваринництва, випуску валової продукції за досліджуваний період, системи статистичних показників виробництва та реалізації продукції в країні.

### Вирішення завдання

Стратегічно важливою галуззю української національної економіки є сільське господарство, яке забезпечує Україні продовольчу незалежність і надає значну кількість робочих місць частині населення

**Таблиця 1.** Виробництво валової продукції сільського господарства України

	Роки					
	2010	2014	2015	2016	2017	2018
1. Валова продукція – всього	194887	251427,2	239467,3	254640,5	249157	269408,1
у т.ч.: продукція рослинництва	124554	177707,9	168439,0	185052,1	179474,6	198658,1
з неї: зернові культури	41633	67573,1	63421,0	69464,2	65169,8	74076,8
технічні культури	33031,2	50512,2	50172,8	57844,8	56143,1	64127,9
картопля, овочі та баштанні продовольчі культури	37996,5	46497,3	43439,4	44821,9	44859,0	45416,7
плоди, ягоди та виноград	6919,6	7721,1	8027,4	7489,4	7745,0	9298,8
кормові культури	4086,4	4251	3738	3747,1	3547,9	3579,4
інша продукція рослинництва	887,4	1153,2	-359,6	1684,7	2009,8	2158,5
продукція тваринництва	70332,4	73719,3	71028,3	69588,4	69682,4	70750,0
з неї: худоба та птиця	31237,4	33813,5	33859,2	33916,2	33680,7	35039,0
молоко	28533	28246,1	26926,9	26321,8	26061,2	25520,2
яйця	7935,1	9114,7	7809,7	7026,9	7215,6	7506,9
вовна	17,6	10,8	9,4	8,6	8,2	8,0
інша продукція тваринництва	2609,3	2534,2	2423,0	2314,9	2716,7	2675,9
2. Валова продукція, всього, %	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
у т.ч. продукція рослинництва	63,9	70,7	70,3	72,7	72,0	73,7
продукція тваринництва	36,1	29,3	29,7	27,3	28,0	26,3
3. Вироблено сільськогосподарської продукції: - на одну особу, грн.	4249	5847	5589	5967	5865	6374
4. Продуктивність праці в сільськогосподарських підприємствах, грн.	132680	227753,4	223309,9	275317,8	271491,4	313627,3
у т.ч. рослинництва	133603	228884,7	218768,0	270863,2	260793,7	305314,5
тваринництва	130474	224105,1	237990,0	292511,2	315503,8	348901,4

Джерело: складено автором за даними звіту "Інвестиції в основний капітал за видами економічної діяльності" Державної служби статистики України [9].

країни. Потенціал українського сільського господарства величезний, а родючі чорноземи і працьовиті люди є запорукою успіху країни. Саме невиважена економічна політика держави та непродумані аграрні реформи призвели до стагнації галузі. У роботі [16] досліджено безпосередній вплив аграрної галузі на розвиток національної економіки та її ефективну інтеграцію у світовий економічний простір. А це, в свою чергу, забезпечить мультиплікативний ефект розвитку інших галузей національної економіки та забезпечить зростання доходів сільського населення, кількість якого становить третину всього населення країни, задіяного в аграрній галузі. Але, слід зазначити, що економічні можливості галузі країни використовуються не повністю. Саме через відсутність належної державної підтримки вітчизняних виробників сільськогосподарської продукції, частина економіки не висвітлюється, тому показники статистичної та фінансової звітності не завжди відображають достовірні дані на підприємствах. Враховуючи величину потенціалу розвитку сільськогосподарського виробництва країни, недостатньо введення нових законопроектів та виділення певної частки бюджету на розвиток аграрної галузі. Виникає необхідність у докорінному реформуванні галузі.

Валова продукція сільського господарства – це грошовий вираз усіх вироблених протягом певного періоду первинних продуктів землеробства і тваринництва, незалежно від того, спожиті вони у самому господарстві чи реалізовані за його межами. Істотне зниження обсягу виробництва валової продукції с.-г. в 2010 році являється однією з основних форм прояву аграрної кризи (табл. 1).

У 2014 р. валова продукція збільшилась порівняно з 2010 р. (251427,2 млн грн. проти 194887 млн грн). Порівняно з 2016 р. в 2018 р. обсяг виробництва продукції тваринництва швидкими темпами збільшився, що позитивно відобразилось на структурі споживчого кошика.

Протягом 2014-2017 років спостерігається поступове нарощування обсягів виробництва валової продукції с.-г. Згідно з даними Державної служби статистики у 2014 р. у порівнянні з попередніми роками відбулось різке збільшення валової продукції сільського господарства України. Її обсяг, відповідно, визначений у постійних цінах 2017 р., становив 249157 млн грн., що на 54270 млн грн. (21,7 %) більше, ніж у 2010 р. та на 5483,5 млн грн. (або на 2 %) менше, ніж у 2016 р. Такий приріст досягнуто внаслідок збільшення виробництва продукції рослинництва на 30,6 % в порівнянні з 2010 роком (179474,6 млн грн. проти 124554 млн грн.). Тоді як за аналогічний період виробництво продукції тваринництва навпаки зменшилось на 1 % (69682,4 млн грн. проти 70332,4 млн грн.).

Такі подібні коливання виробництва валової продукції сільського господарства протягом 2010-2018 рр. в розрахунку і на відносних показниках на одну особу мали свій відбиток. Відбулося зниження виробленої с.-г. продукції на одну особу в 2014 році становила 5847 грн., а в 2015 – 5589 грн. Порівнюючи

2016–2017 роки, маємо відповідно 5967 грн. до 5665 грн., але в 2018 році тенденція зниження виробленої продукції на одну особу змінилась у позитивному напрямку і становила 6374 грн.

За результатами другого кварталу 2019 року темп зростання української економіки виявився найшвидшим за останні сім років, її валовий внутрішній продукт зріс на 4,6% порівняно з тим самим періодом 2018 року. Отриманий результат підсумував розвиток країни в пореволюційну, воєнну п'ятирічку 2014-2019 років: її економічні показники без окупованих територій уже перевищили рівень довоєнного 2013 року. Валовий внутрішній продукт в аграрній галузі економіки на кінець 2018 року становив 14% та близько третини надходжень до державного бюджету країни.

Варто відзначити, що протягом останніх років держава втратила контроль над показниками продуктивності праці. Таким чином, впродовж даного проміжку часу за темпами її росту в с.-г. підприємствах спостерігається некерована динаміка (рис. 1). Рівень продуктивності праці сільськогосподарських працівників зростає, що також позитивно відображається на тенденції росту валової продукції сільського господарства. Незважаючи на всі позитивні зміни в сільськогосподарських підприємствах, Україна все ж таки не використовує весь свій потенціал в аграрній галузі.

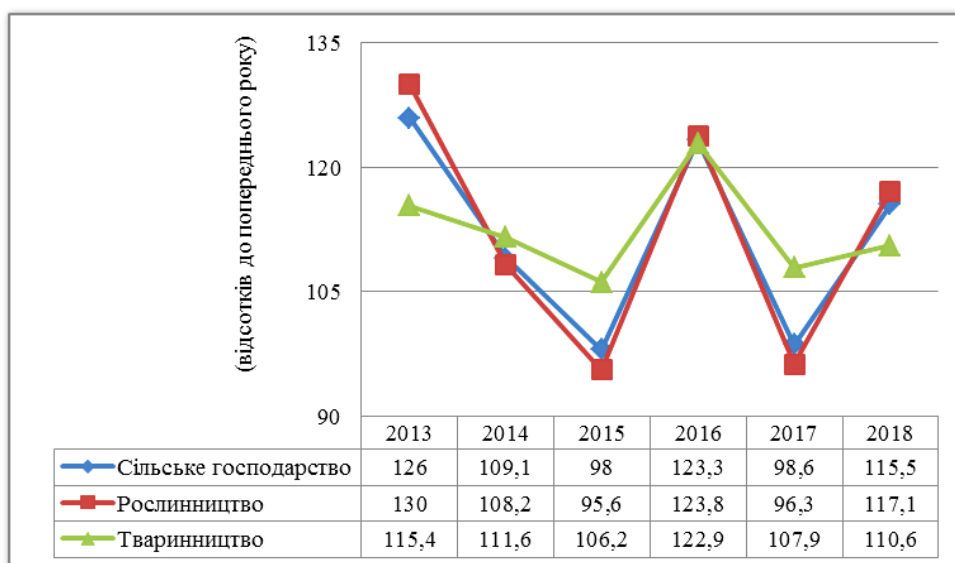


Рис. 1. Динаміка продуктивності праці в сільськогосподарських підприємствах

Україна має 41 млн. га землі, що є найбільшою площею сільськогосподарських земель у Європі, з них використовується для вирощування сільськогосподарських культур приблизно 32,5 млн. га. Родючість українських чорноземів мала забезпечити харчовими продуктами український ринок і навіть більше – накопичити ресурси для розвитку інших сфер господарювання. А тому, ця галузь впевнено сферає на перше місце в економіці.

Зняття земельного мораторію, і, відповідно, запуск ринку землі – донедавна було однією з ключових вимог Міжнародного валютного фонду для

надання Україні фінансової підтримки. Зараз питання з порядку денного знято, проте це варто сприймати лише як невелику паузу до закінчення дії обмеження на продаж землі. А відтак, перед профільним міністерством відкривається широкий спектр питань, на які необхідно знайти відповідь до запуску реформи, головне з яких – цінова політика. Поки що невідомо, яким чином вираховуватиметься вартість одиниці землі, але прогнозів щодо цього існує дуже багато.

Ще в 2013-му році перед продовженням мораторію на продаж землі до 2016-го, йшли доволі гострі дискусії, наприклад, ймовірна ціна на землю.

Тоді Державний земельний банк називав цифри від 60 до 500 доларів за гектар і пропонував їх поступово збільшити до 4000 євро за гектар. Проте мораторій подовжили на три роки і всі перераховані пропозиції втратили свою актуальність. На початку 2017-го експерти також намагались розрахувати вартість гектару сільськогосподарської землі, була встановлена вартість в 1000 доларів, але й дотепер невідомо чим вона обгрунтована.

Уперше за 18 років, поки діяв мораторій, у 2019 році влада має намір зробити ринок землі відкритим, відповідний законопроект вже в парламенті, найімовірніше, зважаючи на абсолютну більшість, законопроект ухвалить, то ж ринок землі відкриється у жовтні 2020 року. Таким чином, скасування мораторію на продаж вигідно не лише фермерам, які на ній працюють, ставши власниками, вони не боятимуться вкладати величезні гроші не тільки в гарні врожаї, а й думатимуть про те, що треба зробити аби земля не втрачала родючості. Неабияку вигоду від продажу отримають і селяни, адже нині за свої наділи вони мають лише бартер з зерном, цукром або іншою сільгосппродукцією, але цей обмін не є рівнозначним. Майже 40% землі були в тіньовому обігу, тобто використовувалися не за призначенням, а це означає, що державі не сплачувалися належні податки, вирощувалась продукція та продавалась за готівку і вся ця земля залишалась у тіні. На зараз ніхто точно не може відповісти, скільки угідь залишилося в державній власності. За часи незалежності так і не вдалося упорядкувати всі державні кадастри та розробити спеціальні карти, хоча на це було витрачено десятки мільярдів доларів. На папері продаж землі в Україні заборонений, але, насправді, попри мораторій, чорний ринок давно процвітає і на ньому щорічно обертається до 12 млрд гривень.

Тому першим кроком має стати, не створення чи запуск ринку землі, а виведення його з тіні. Законопроект передбачає: першими купувати землю мають право орендарі (ті, хто зараз її обробляють), одній особі не може належати більше 15% в одній області і не більше 0,5% в державі, власниками можуть бути громадяни України та українські компанії.

Але не варто очікувати мораторію на продаж землі іноземцям. Про це свідчать заяви урядовців, мовляв, Україна є найпривабливішою країною для європейських інвесторів. Якщо припустити, що

іноземці матимуть свою частку землі в Україні, та й взагалі, взявши до уваги палкі суперечки стосовно землі поміж політиками залишається невідомим чи буде відмінено державне регулювання цін і оподаткування землі, які досить успішно діють і зараз. Чинники обіцяють допомоги малому бізнесу, зокрема, здешевити банківські кредити, якщо ставка НБУ складає 18%, то 15% буде відшкодовувати держава, а 3,5% повинен буде сплатити фермер.

Залишається відкритим питання про проведення загальнодержавної грошової оцінки сільськогосподарських земель. Таким чином, результати "інвентаризації" отримає Мінагрополітики, яке, у разі успішного запуску ринку землі, опікуватиметься державним регулюванням земельних відносин. Прогнози на листопад 2019 року вказують, 1 га буде коштувати щонайменше 2000 доларів. Закон про землі має також дати можливість думати наперед, багато хто з орендарів взагалі не замислюється, а що далі буде з цією землею, головне, отримати гроші зараз. Наприклад, соняшник можна сіяти раз в 3 роки, а краще й через 5 років, але більшість орендарів не звертає на це увагу, так як, це найбільш рентабельна культура та і земля не є їх власністю. А коли це будуть власні гектари, то буде доцільно подумати наперед, які ж культури посіяти завтра. Тому що, коли немає ринку землі, коли немає гарантії про землі, ніхто не думає про довгострокову перспективу. Наприклад, створення виноградників чи вирощування великої рогатої худоби лише через кілька років надасть прибуток. А саме такі довгі інвестиції в сади та виноградники якраз і дають найбільші прибутки. Більшість місцевих жителів міста Тернопіль побували на заробітках у Європі і тепер вирощують малину вдома, декому з них, вже замало власних земель, вони забирають свої паї в орендарів і розширюють ягідництво. Ягідництво потребує великої кількості робочих рук, а це є гарантією для людей, що будуть робочі місця і буде заробіток у своїй країні. А після відкриття ринку землі розширення для виробництва буде ще більше.

Зростання категорії "сільське, лісове та рибне господарство" забезпечується завдяки саме сільському господарству, яке становить ліву частку цього сегменту економіки, а точніше – рослинництву. Що стосується посівних площ основних сільськогосподарських культур, то за останні роки вони також зазнали суттєвих змін (табл. 2).

**Таблиця 2.** Динаміка посівних площ сільськогосподарських культур в Україні (тис.га)

	2016	2017	2018	2019 на 01.09	у % до 2018 року
Культури зернові та зернобобові	14439,5	14607,3	14839,0	15279,4	103
Культури технічні	8656,0	9161,2	9266,0	9026,0	97,4
Коренеплоди та бульбоплоди, культури овочеві та баштанні продовольчі	1834,0	1840,3	1825,0	1820,6	100,1
Культури кормові	1936,0	1825,5	1769,0	1715,7	97,0

Спостерігається зменшення посівних площ, але це є позитивним фактом, щодо необхідності

скорочення площі ріллі в Україні. Але зміни у структурі посівних площ таких важливих культур, як

коренеплоди та бульбоплоди залишаються негативними, тоді як спостерігається зростання посівної площі зернових, зернобобових та технічних культур. Суттєве підвищення рівня врожайності сільськогосподарських культур за останні роки обумовили значне підвищення обсягів виробництва валової продукції рослинництва в 2019 році порівняно з попередніми роками.

Щодо тваринництва, то ця галузь перебуває в кризі, яка викликана конкуренцією на українському

ринку із закордонними постачальниками, зокрема з Європи, які можуть запропонувати кращу пропозицію для ринку. Суттєвими змінами, які відбулися в структурі поголів'я худоби та птиці всіх категорій господарств, обумовлений спад виробництва продукції тваринницької галузі. Спостерігається чітка тенденція зменшення поголів'я великої рогатої худоби до 2018 року (табл. 3).

**Таблиця 3.** Динаміка поголів'я худоби та птиці в Україні

	2016	2017	2018	2019 на 01.09	у % до 2018 року
Велика рогата худоба	3941,4	3904,3	3852,6	3674,5	95,4
у т.ч. корови	2134,2	2095,4	1998,0	1906,0	95,4
Свині	7141,4	6544,2	6459,9	6292,7	97,4
Вівці та кози	1456,8	1460,0	1566,8	1518,2	96,9
Птиця свійська	213206,4	213877,5	245450,8	254785,7	103,8

Через надмірну збитковість галузі відбувається занепад молочного та м'ясного скотарства в сільськогосподарських підприємствах України, а тому власники підприємств обгрунтовано позбавляються збиткових виробництв – скорочують чисельність поголів'я. Відродження скотарства може відбутися лише завдяки значним капіталовкладенням, так, як більшість приміщень для тварин, колишніх колгоспів і радгоспів зруйновано та перепрофільовано. Відповідно до Закону України "Про Державний бюджет України на 2018 рік" на фінансування витрат Міністерство аграрної політики та продовольства України було передбачено видатки в обсязі 14,1 млрд. грн., з них на програми розвитку аграрної галузі – 6 311,0 млрд. грн. [17]. Як зазначається, в законі України "Про Державний бюджет України на 2019 рік" за бюджетною програмою 2801540 "Державна підтримка тваринництва, зберігання та переробки сільськогосподарської продукції, аквакультури (рибництва)" передбачені видатки загального фонду у розмірі 3500 млн грн. Ще одним фактором, який негативно впливає на розвиток галузі, слід відзначити низький потенціал продуктивності наявного поголів'я корів, для підвищення якого необхідно кардинально покращити селекційно-племінну роботу. А це ставить суттєві перепони фінансового характеру перед власниками підприємств, які хотіли б розвивати скотарство у своєму господарстві. Щодо птахівництва, то ця галузь процвітає в сучасних умовах в нашій державі, це пояснюється значним збільшенням поголів'я птиці за останні роки – 254,8 млн голів в 2019 р. проти 213,4 млн голів в 2016 р.

Для всебічного аналізу модернізаційних зрушень у сільськогосподарському виробництві України дослідження потребують питання, які стосуються економічної ефективності галузей агропромислового виробництва. Основним економічним показником являється прибуток, що характеризує результативність діяльності підприємств, виконує роль джерела їх розвитку на основі реінвестування, задоволення соціальних потреб суспільства, і передусім у контексті забезпечення робочих місць для сільського населення.

Від рівня прибутку залежать можливості підприємства в переоснащенні матеріально-технічної бази, розвитку нових напрямів діяльності та створення сприятливих умов життя та праці робітників.

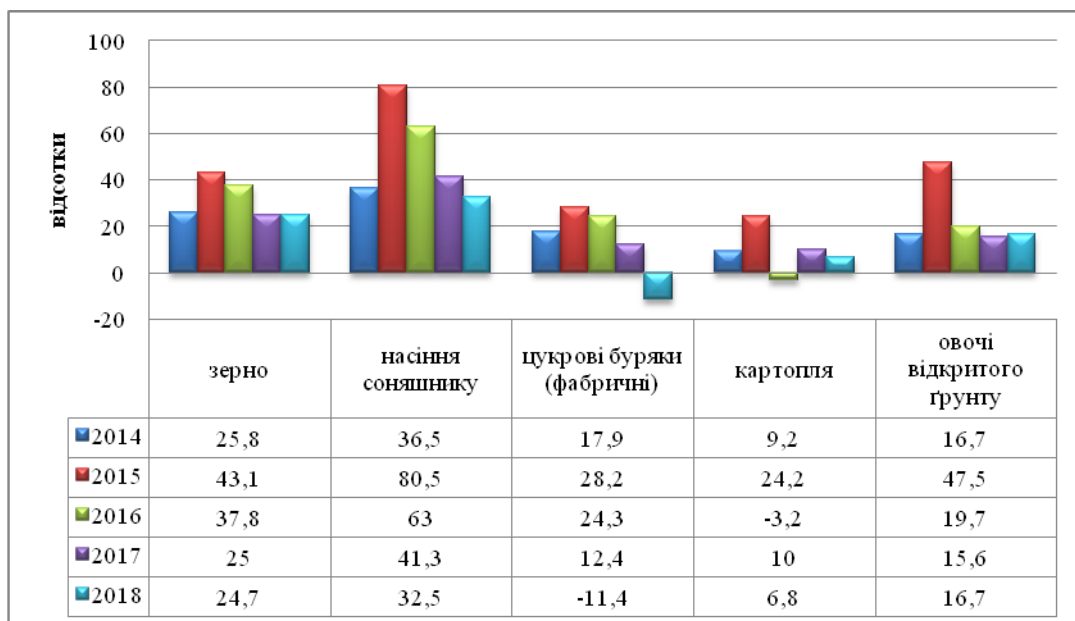
Рентабельність продукції характеризує прибутковість поточних витрат, основними чинниками зростання якої є зниження витрат на виробництво і підвищення реалізаційних цін. Дослідження рівня рентабельності виробництва продукції дає змогу виявити питання поліпшення структури с.-г. виробництва, ефективність виробництва галузей сільськогосподарської продукції. Через відсутність необхідної підтримки сільськогосподарських підприємств виробництво деяких галузей може бути низькорентабельним або нерентабельним зовсім, але важливим для суспільства. Такі фактори, як інфляція, високі ціни на закупівлю сировини та комплектуючих, невисока купівельна спроможність населення, нестабільність податкового законодавства та інші значно впливають на зменшення розміру прибутку сучасного підприємства. Проблема необхідності підвищення прибутку та рентабельності є актуальною в сучасних умовах для підприємств усіх галузей народного господарства України.

Розрахунок рівня рентабельності у галузі сільського господарства базується на двох основних показниках:

- чистому доходу (виручці) від реалізації продукції (робіт, послуг) без податку на додану вартість, акцизного збору, інших вирахувань, дотацій і доплат;

- повній собівартості продукції (робіт, послуг).

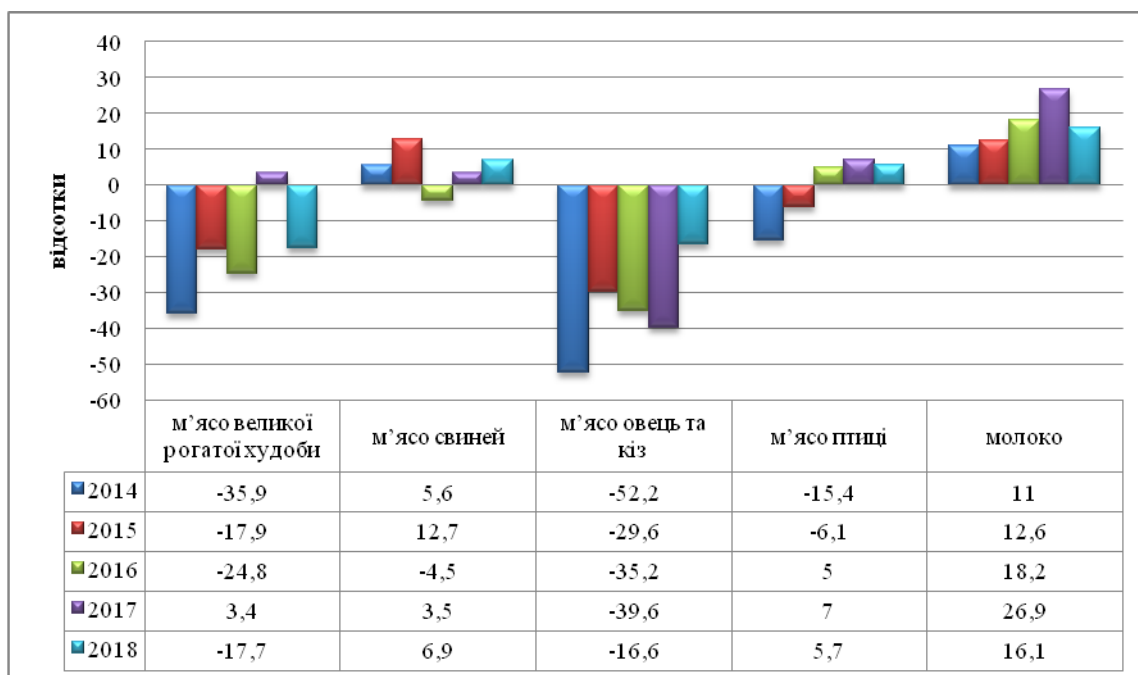
За даними рис. 2, рис. 3 слід наголосити на тому, що рентабельність сільськогосподарської продукції має позитивний тренд та зростає. Для знаходження рівня рентабельності за основними видами сільськогосподарської продукції за 2014-2018 рр. використано вже розраховані показники рентабельності Державної служби статистики України (рис. 2, рис. 3) [9].



**Рис. 2.** Рівень рентабельності виробництва продукції рослинництва в сільськогосподарських підприємствах  
Джерело: без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини зони проведення антитерористичної операції.

Винятком є рівень рентабельності виробництва продукції тваринництва через зростання собівартості виробництва продукції за рахунок росту цін на

матеріально-технічні ресурси, які споживаються у цій галузі сільського господарства, але ціна при цьому на продукцію тваринництва зросла значно повільніше.



**Рис. 3.** Рівень рентабельності виробництва продукції тваринництва в сільськогосподарських підприємствах  
Джерело: складено автором, без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини зони проведення антитерористичної операції.

Проаналізувавши основні статистичні дані за останні 5 років, можна зробити висновки, що найбільш рентабельним видом сільськогосподарського виробництва є вирощування соняшнику та зернових культур, які мають найвищі за досліджуваний період показники. Найменш рентабельним видом є виробництво м'яса овець та кіз,

а також це гостро відобразилось на виробництві великої рогатої худоби, так як показник є від'ємним протягом всього досліджуваного періоду. А для того щоб, дана галузь вийшла з кризи та набула подальшого розвитку необхідно передусім організувати державну підтримку.

Незмінним залишається монополізм на ринку сільськогосподарської сировини. Переробні підприємства часто застосовують ціни, недостатні для забезпечення рентабельного сільськогосподарського виробництва. Недостатньою залишається державна підтримка сільського господарства. Проаналізувавши результати 2017 року, доцільно б було, щоб Мінагрополітики, Мінфін, уряд розширили доступ аграріїв до бюджетної дотації шляхом доповнення переліку новими видами діяльності та збільшили обсяг фінансування до 6 млрд грн. У бюджеті 2018 року було зроблено по-іншому, 4 млрд грн направили на підтримку галузі тваринництва, з яких 2,3 млрд грн спрямували на часткову компенсацію вартості будівництва та реконструкції тваринницьких ферм і комплексів. Фінансування часткової компенсації вартості техніки та обладнання зросло до 945 млн грн в силу того, що відсоток за цим напрямом становить вже не 10%, а 15% від всієї підтримки аграрної галузі, яка також трохи збільшилась. Однак не було розширено перелік техніки і обладнання, одержувачів компенсації.

Замість збільшення фінансування програми здешевлення кредитів її навпаки зменшили до 66 млн грн. При цьому встановлено обмеження щодо розміру виручки від реалізації продукції за рік – до 20 млн грн, визначено пріоритет підтримки суб'єктів зі сфери тваринництва. Для розвитку фермерських господарств запровадили окрему програму, на яку заклали 1 млрд грн. Станом на вересень – лише 13% освоєння, тобто з понад 6,3 млрд грн фермери отримали лише біля 850 млн грн. За програмою підтримки галузі тваринництва з 4 млрд грн використано лише 540 млн грн. За напрямом часткової компенсації вартості техніки та обладнання освоєно 230 млн грн. На закладення молодих садів, виноградників, ягідників використано 76 млн грн з 300 млн грн, а з фермерського мільярда – лише 1,6 млн грн.

### Висновки

Незважаючи на кризу, яка відобразилась на тенденції розвитку сільського господарства, ця галузь залишиться актуальним та пріоритетним видом діяльності, але ще в українському суспільстві не затвердилося розуміння сільського господарства як соціально значимої галузі. За останні роки вже спостерігається збільшення обсягів виробництва валової продукції сільського господарства, підвищення продуктивності праці в підприємствах

сільського господарства, урожайності основних культур та продуктивності худоби, птиці та ін. Для подальшого розвитку слід закріпити ці позитивні зміни та створити сприятливі умови для їх подальшого розвитку та набуття тенденцій незворотності, а це в свою чергу забезпечить продовольчу безпеку держави.

Майже 30% сільськогосподарських підприємств є збитковими, а рентабельність виробництва більше половини видів сільськогосподарської продукції недостатня для забезпечення розширеного відтворення. Низька дохідність виробництва стримує його модернізацію, впровадження нових технологій, оновлення матеріально-технічної бази. Подальше підвищення прибутковості та рентабельності виробництва продукції сільського господарства повинне стати запорукою ефективного сільськогосподарського виробництва, яке здатне буде забезпечити продовольчу безпеку держави.

У свою чергу, ресурсний потенціал сільського господарства має значні можливості для подальшого розвитку, в основі якого знаходяться високопродуктивні землі сільськогосподарського призначення та сприятливі агрокліматичні умови.

Для повного використання потенціалу сільського господарства необхідно покращити, насамперед:

1) функціонування на рівноправній економічній основі різних організаційно-правових форм господарювання в аграрному секторі;

2) гармонізацію інтересів власників, найманих працівників та сільських громад;

3) формування конкурентоспроможних на внутрішньому та зовнішніх ринках виробничих структур;

4) забезпечення прибутковості сільськогосподарських підприємств на рівні 15-відсоткової норми, необхідної для забезпечення розширеного відтворення виробництва.

А це, в свою чергу, підвищить рівень продовольчої та енергетичної безпеки та забезпечить зростання експортного потенціалу держави. Необхідним залишається удосконалення економічного механізму господарювання: податки, кредитування, ціни, дотаційну політику, міжгалузеві економічні зв'язки, щоб усі галузі й сфери діяльності в економіці країни мали однакові економічні умови для відтворення виробництва, тобто на вкладеній у виробництво рівновеликий капітал з урахуванням терміну його обороту одержувати рівновеликі прибутки.

### Список літератури

1. Кононенко Ж. А., Сокол В. О. Пріоритетні напрями розвитку аграрного сектору економіки. *Економіка і суспільство*. 2017. № 10. С. 283–286.
2. Саблук П. Т., Месель-Веселяк В. Я., Федоров М. М. Аграрна реформа в Україні (здобутки, проблеми і шляхи їх вирішення). *Економіка АПК*. 2009. № 12. С. 3–13.
3. Присяжнюк М. В., Зубець М. В., Саблук П. Т. Аграрний сектор економіки України (стан і перспективи розвитку). К.: ННЦ ІАЕ, 2011. 1008 с.
4. Костецький Я. І. Рентабельність як показник ефективності сільськогосподарського виробництва. *Інноваційна економіка*. 2012. № 2 (28). С. 98–101.
5. Чорна Р. М. Продуктивність праці у сільському господарстві як основний чинник, що визначає науково-технічний прогрес галузі. Продуктивність агропромислового виробництва. *Економічні науки*. 2013. № 23. С. 126–133.

6. Морозова Г. С. Сучасні тенденції розвитку сільського господарства України. *АГРОСВІТ*. 2013. № 21. С. 3–9.
7. Бурачек І. В., Михайленко Н. В. Сучасний стан та перспективні напрями розвитку сільського господарства в Україні. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2018. № 21. С. 134–137.
8. Лупенко Ю. О., Месель-Веселяка В. Я. Стратегічні напрями розвитку сільського господарства України на період до 2020 року. К. : ННЦ ІАЕ, 2012. 182 с.
9. Офіційний веб-сайт Державної служби статистики України : веб-сайт. URL : <http://www.ukrstat.gov.ua>
10. Офіційний сайт Міністерства аграрної політики та продовольства України : веб-сайт. URL: <http://www.minagro.gov.ua>
11. Власенко Н. С. Тваринництво України. Статистичний збірник. Київ. 2012. 211 с.
12. Методика розрахунку рівня рентабельності сільськогосподарської діяльності сільськогосподарських підприємств: Наказ Державного комітету статистики України від 14.02.2011 № 33: веб-сайт. URL: <http://zakon.nau.ua>
13. Розпорядження Кабінету Міністрів України "Стратегія розвитку аграрного сектору економіки України на період до 2020 року" від 17 жовтня 2013 р. № 806-р : веб-сайт. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/806-2013-p>
14. Grygoryev, S. (2015), "Ukrainian agricultural products competitiveness on European market in time of financial challenges", available at: <https://cutt.ly/UeBLZXP>
15. Stoyozhka, A. (2014), "Ukrainian Grain Congress - under the trend of pro-reform ideas", APK-Inform, available at: <https://cutt.ly/UeBLZXP>
16. Masliuk, I., Marhasova, V. (2019), "Agricultural production and its role in the development of the national and information economy", *Economic security at risks: findings from the digitalization of National economy: Collective monograph*, P. 63–86.
17. Маслюк І. О. Аналіз інноваційно-інвестиційного розвитку агропромислового комплексу України (АПК). *Соціально-економічний розвиток регіонів в контексті міжнародної інтеграції*. 2018. № 28 (17). С. 25–32.

## References

1. Kononenko, Z. A., Sokil, V. O. (2017), "The process of intensification and efficiency land use", *Economy and Society*, No. 10, P. 283–286.
2. Sabluk, P. T., Mesel-Veseliak, V. Ya., Fedorov, M. M. (2009), "Agrarian Reform in Ukraine (Achievements, Problems and Solutions)" ["Ahrarna reforma v Ukraini (zdobutky, problemy i shliakhy yikh vyvishennia)"], *Ekonomika APK*, No. 12, P. 3–13.
3. Prysiazhniuk, M. V., Zubets, M. V., Sabluk, P. T. (2011), *Agrarian Sector of Ukrainian Economy (State and Prospects for Development) [Ahrarnyi sektor ekonomiky Ukrainy (stan i perspektvyvy rozvytku)]*, K. : NNTs ІАЕ, 1008 p.
4. Kostetskyi, Ya. I. (2012), "Profitability as an indicator of agricultural production efficiency" ["Rentabelnist yak pokaznyk efektyvnosti silskohospodarskoho vyrobnytstva"], *Innovatsiina ekonomika*, No. 2 (28), P. 98–101.
5. Chorna, R. M. (2013), "Labor productivity in agriculture as a major factor determining the scientific and technological progress of the industry" ["Produktyvnist pratsi u silskomu hospodarstvi yak osnovnyi chynnyk, shcho vyznachaie naukovo-tekhnichnyi prohres haluzi. Produktyvnist ahropromysloвого vyrobnytstva"], *Ekonomichni nauky*, No. 23, P. 126–133.
6. Morozova, H. S. (2013), "Modern tendencies of development of agriculture of Ukraine" ["Suchasni tendentsii rozvytku silskoho hospodarstva Ukrainy"], *AHROSVIT*, No. 21, P. 3–9.
7. Burachek, I. V., Mykhailenko, N. V. (2018), "Current state and perspective directions of agriculture development in Ukraine" ["Suchasnyi stan ta perspektivni napriamy rozvytku silskoho hospodarstva v Ukraini"], *Hlobalni ta natsionalni problemy ekonomiky*, No. 21, P. 134–137.
8. Lupenko, Yu. O., Mesel-Veseliaka, V. Ya. (2012), *Strategic directions of development of agriculture of Ukraine for the period till 2020 [Stratehichni napriamy rozvytku silskoho hospodarstva Ukrainy na period do 2020 roku]*, K. : NNTs ІАЕ, 182 p.
9. Ofitsiyniy veb-sait Derzhavnoi sluzhby statystyky Ukrainy : veb-sait, available at : <http://www.ukrstat.gov.ua>
10. Ofitsiyniy sait Ministerstva ahrarnoi polityky ta prodovolstva Ukrainy : veb-sait, available at : <http://www.minagro.gov.ua>
11. Vlasenko, N. S. (2012), "Husbandry of Ukraine", *Statystychnyi zbirnyk*, Kyiv, 211 p.
12. Metodyka rozrakhunku rinvnia rentabelnosti silskohospodarskoi diialnosti silskohospodarskykh pidpriemstv: Nakaz Derzhavnoho komitetu statystyky Ukrainy vid 14.02.2011 No. 33: veb-sait, available at : <http://zakon.nau.ua>
13. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy "Stratehiia rozvytku ahrarnoho sektoru ekonomiky Ukrainy na period do 2020 roku" vid 17 zhovtnia 2013 r. No. 806-r : veb-sait, URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/806-2013-r>
14. Grygoryev, S. (2015), "Ukrainian agricultural products competitiveness on European market in time of financial challenges", available at : <https://cutt.ly/UeBLZXP>
15. Stoyozhka, A. (2014), "Ukrainian Grain Congress - under the trend of pro-reform ideas", available at: <https://cutt.ly/UeBLZXP>
16. Masliuk, I., Marhasova, V. (2019), "Agricultural production and its role in the development of the national and information economy". *Economic security at risks: findings from the digitalization of National economy: Collective monograph*, P. 63–86.
17. Masliuk, I. O. (2018), "Analysis of innovation and investment development of the agro-industrial complex of Ukraine (AIC)" ["Analiz innovatsiino-investytsiynoho rozvytku ahropromysloвого kompleksu Ukrainy (APK)"], *Sotsialno-ekonomichni rozvytok rehioniv v konteksti mizhnarodnoi intehratsii*, No. 28 (17), P. 25–32.

Надійшла (Received) 29.11.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Маслюк Ірина Олексіївна** – Чернігівський національний технологічний університет, аспірант кафедри бухгалтерського обліку, оподаткування та аудиту, Чернігів, Україна; email: [iryna\\_masliuk@ukr.net](mailto:iryna_masliuk@ukr.net); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7889-8744>.

**Маслюк Ирина Алексеевна** – Черниговский национальный технологический университет, аспирант кафедры бухгалтерского учета, налогообложения и аудита, Чернигов, Украина.

**Masliuk Iryna** – Chernihiv National University of Technology, Postgraduate Student of the Department of Accounting, Taxation and Audit, Chernihiv, Ukraine.

## НАПРАВЛЕНИЯ АКТИВИЗАЦИИ МОДЕРНИЗАЦИОННЫХ СДВИГОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ УКРАИНЫ

**Предметом** исследования в данной работе является современное состояние сельскохозяйственного производства Украины. **Целью** статьи является выделение основных направлений активизации модернизационных сдвигов в сельскохозяйственном производстве Украины. **Задачей** данного исследования является разработка спектра стратегических направлений активизации модернизационных сдвигов сельского хозяйства Украины, на которые стоит ориентировать свою деятельность сельскохозяйственным предприятиям для обеспечения прибыльности и долгосрочного развития. При выделении барьеров, которые мешают успешному развитию и функционированию аграрной отрасли в Украине использованы следующие **методы**: проблемно-хронологический, обусловившим структурное построение исследования и предоставил возможность с должной полнотой проанализировать проблемы развития сельского хозяйства во временной последовательности и динамике; метод системного подхода позволил рассматривать аграрную отрасль, как целостную систему, состоящую взаимосвязанных между собой элементов, которые составляют ее структуру и выполняют соответствующие функции; аналитико-синтетический метод применен при изучении и обработке источников и литературы, обосновании теоретических выводов, который позволил всесторонне осветить состояние проработки проблем аграрной отрасли. Статистические методы обработки данных использованы с учетом экономического и финансово-кредитного обеспечения сельскохозяйственных предприятий. Для выделения направлений модернизации применяется аналитический метод исследования: уровня рентабельности производства, системы статистических показателей производства на сельскохозяйственных предприятиях, производительности труда, динамики развития растениеводства и животноводства и выпуска валовой продукции за исследуемый период. Для активизации использования сельскохозяйственного производства Украины в работе получены **результаты** модернизационных сдвигов, которые начинаются с: функционирование на равноправной экономической основе различных организационно-правовых форм хозяйствования в аграрном секторе; гармонизации интересов собственников, наемных работников и сельских общин; формирование конкурентоспособных на внутреннем и внешних рынках производственных структур. **Выводы**: За последние годы уже наблюдается увеличение объемов производства валовой продукции сельского хозяйства, повышение производительности труда на предприятиях сельского хозяйства, урожайности основных культур и продуктивности скота и птицы и др. Для дальнейшего развития следует закрепить эти положительные изменения и создать благоприятные условия для их дальнейшего развития и приобретения тенденций необратимости, а это в свою очередь обеспечит продовольственную безопасность государства, усовершенствовать экономический механизм хозяйствования: цены, налоги, кредитование, дотационная политику, межотраслевые экономические связи, чтобы все отрасли и сферы деятельности в экономике страны имели одинаковые условия для воспроизводства производства.

**Ключевые слова**: сельское хозяйство; сельскохозяйственные предприятия; валовая продукция; рентабельность; производительность труда; урожайность; прибыль.

## DIRECTIONS OF ACTIVATION OF MODERNIZATION SHIFTS IN AGRICULTURAL PRODUCTION OF UKRAINE

The **subject** of study in this article is the current state of agricultural production in Ukraine. The **purpose** of the article is to identify the main directions of activation of modernization shifts in agricultural production of Ukraine. The **objective** of this study is to develop a range of strategic directions for the activation of modernization shifts in Ukraine's agriculture, which should focus its activities on agricultural enterprises to ensure profitability and long-term development. The following **methods** were used to identify the barriers that hinder the successful development and functioning of the agrarian sector in Ukraine: problem-chronological, which led to the structural construction of the study and provided an opportunity to properly analyze the problems of agricultural development in time series and dynamics; the systematic approach method has allowed the agricultural industry to be regarded as a coherent system consisting of interconnected elements that make up its structure and perform its respective functions; analytical and synthetic method was applied in the study and processing of sources and literature, substantiation of theoretical conclusions, which allowed to comprehensively illuminate the state of processing problems of the agricultural industry. Statistical methods of data processing were used taking into account the economic and financial-credit support of agricultural enterprises. An analytical method of research is used to identify the directions of modernization: the level of profitability of production, the system of statistical indicators of production at agricultural enterprises, labor productivity, the dynamics of development of crop and livestock production and the production of gross production for the studied period. The **results** of modernization shifts, which begin with: functioning on the equal economic basis of various organizational and legal forms of economic management in the agricultural sector; harmonization of interests of owners, employees and rural communities; formation of competitive in the internal and external markets of production structures were obtained in the work to stimulate the use of agricultural production of Ukraine. **Conclusions**: In recent years, there has been an increase in the volume of agricultural production, an increase in labor productivity in agricultural enterprises, the productivity of basic crops and the productivity of livestock, poultry, etc. For further development, these positive changes should be consolidated and favorable conditions and trends of irreversibility should be created, which in turn will provide food security of the state, improvement of the economic mechanism of economy: taxes, crediting, prices, subsidy policy, and inter-sectoral economic ties for all industries and areas of activity in the country's economy had the same economic conditions for the resumption of production.

**Keywords**: agriculture; agricultural enterprises; gross production; profitability; productivity; crop capacity; profit.

### Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Маслюк І. О. Напрями активізації модернізаційних зрушень у сільськогосподарському виробництві України. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2019. № 4 (10). С. 92–100. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.092>.

Masliuk, I. (2019), "Directions of activation of modernization shifts in agricultural production of Ukraine", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 92–100. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.092>.

T. MOMOT, I. SINCHESKUL, K. SAVENKO, K. BUKRIEIEVA

## BALANCED MANAGEMENT OF STAKEHOLDER RELATIONSHIPS IN THE HEATING SPHERE

The article is devoted to the study of theoretical principles and practical aspects of managing relationships with stakeholders of municipal heating companies. The **subject** of the study is a set of theoretical, methodological and practical aspects for ensuring balanced management of relations with the stakeholders of municipal heating companies. The **purpose** of the article is to develop theoretical and methodological provisions and substantiate practical recommendations for ensuring a balanced management of these relationships. **Tasks** of work: to research and systematize the conceptual apparatus of ensuring the management of relations with the stakeholders of municipal heat companies; to justify the organizational principles of managing these relationships; to offer analytical and applied support for managing them on a balanced scorecard. During the research were used **methods**: abstract-logical analysis, theoretical generalization, systemic and statistical analysis, systemic and statistical analysis, economic-mathematical methods, graphical method. The paper generalizes the economic characteristics of the activity of district heating utilities and develops the directions of development of relations with stakeholders in the process of reforming the housing and municipal services of Ukraine on the basis of the analysis of the efficiency of the municipal heating companies in developed countries of Europe. Strategic directions for the development of district heating utilities by providing balanced stakeholder relationship management are substantiated. **Conclusions**. It is proposed to use a balanced scorecard, which allows, based on the evaluation of financial and non-financial indicators of enterprise performance, to identify trends of change of each of four key areas of activity to achieve the goal of MHC in meeting the public needs of consumers, profit for the development of the enterprise, ensure the interests of its employees and their satisfaction economic and social needs based on stakeholder reconciliation.

**Keywords**: municipal heating; municipal heating companies; relationship management; stakeholders; energy efficiency; organizational and economic model.

### Introduction

Municipal heating is one of the leading places in the system of priorities for ensuring the energy security of the country, improving the energy efficiency of the functioning of heat supply systems, creating and improving the market of heat energy and protecting the rights of consumers and employees of the heat supply sector. This is due to the objective conditions of functioning of the heat supply systems, characterized by such features as: the need to generate heating energy directly near the objects of its implementation, as well as the inability to accumulate it; presence of division of economic activity in the sphere of heat supply into production, transportation and supply of heat energy; the existence of various technologies for the production of heating energy, including the technologies of cogeneration of electricity and heat and the use of non-traditional and renewable energy sources; centralized heat supply to consumers from heating power plants and boiler plants that are part of the unified energy system of Ukraine; the existence of heat supply facilities of various forms of ownership; significant seasonal differences in the modes of production and consumption of heat during the year; the special status of subjects of natural monopolies, which most entities in the field of heat supply [1, 2].

However, the municipal heating sector was formed in the Soviet times and has a stable tradition of operating under the monopoly on the production, transportation and supply of heat, all entities of which were state or municipal property and still have no significant economic or legislative incentives to form competitive market. In most cases, the production, transportation and supply of heat are performed by one and the same enterprise; tariffs are set by a national commission that regulates public

utilities. In such circumstances, businesses are not interested in reducing their costs to ensure that tariffs are reduced for consumers, as tariffs are set on a cost plus basis. As follows, inadequate quality of district heating services, their high cost compared to household income, large unproductive losses of heating energy, deterioration of material and technical base (pipelines of heating networks), as well as lack of centralized hot water services in many cities, are reasons for their lack of consumption. Low level of payment to the district heating company for actually received heating energy [3].

Therefore, finding ways to form a balanced relationship with a wide range of stakeholder (stakeholder) relationships in the heating industry that directly or indirectly influence the process and performance of district heating companies is an important task in ensuring the security of heat supply as one of the necessary security elements. Creation of mechanisms of functioning of an efficient market of heating energy; reduction of harmful effects on the environment; creation of conditions for attracting investments in the development and technical updating of heat supply systems confirms the relevance of the thesis topic.

### Analysis of recent studies and publications

Investigations of the problem of enterprise relationship management are devoted to the works of many foreign researchers, namely: R. Akoff, I. Ansoff, R. Arbatt, R. Bagozzi, L. Berry, D. Blackwell, A. Braverman, L. Boone, F. Webster, N. Woodcock, P. Gembla, Y. Gordon, K. Granroos, D. Dey, E. Dolan, J. Evans, J. Angela, D. Crevens, D. Kurtz, J.-J. Lambena, R. Lawson, R. Marshak, J. Menning, R. Miller, P. Minnard, W. Ouchy, M. Porter, J. Russell,

F. Reichelde, P. Seybold, M. Stone, T. Thomas, J. Trout, R. Waterman, R. Freeman, G. Hemel and many others.

Among the domestic scientists-economists who have investigated this problem, it is worth mentioning the work of such researchers as: L. Antoshkin, A. Achkasov, V. Babayev, A. Bochkovsky, O. Vasilyev, T. Danko, O. Zorina, S. Ilyashenko, O. Karlova, N. Kondratenko, O. Kendyukhov, L. Kozhushko, T. Kuznetsova, O. Kuzmak, E. Krykavsky, T. Lepeyko, M. Lesechko, I. Pisarevsky, V. Rossokha, V. Stadnik, O. Suduk, S. Firsova, V. Frolova, G. Tsar, N. Chebanova, D. Stefanych, N. Yaroshevich, L. Yatsishina and others.

The problems of increasing the efficiency of management of municipal enterprises are devoted to the work of such scientists as: A. Allahverdyan, P. Bubenko, V. Vorotyntsev, V. Gavrilenko, S. Galenko, M. Golovchanskaya, O. Dimchenko, O. Ivankov, T. Klebanova, T. Kachala, O. Kotsyurba, L. Lipich, K. Mamonov, M. Miznikov, T. Momot, O. Nagorny, O. Pogaydak, V. Poluyanov, A. Savenko, V. Svitlichna, A. Sidorova, S. Plotnitskaya, Yu. Sharov, L. Shutenko, I. Yaremko and others.

However, in spite of the considerable amount of scientific works and the world experience in the implementation of new management models and technologies of stakeholder management, it is necessary to note the need for further research on the theoretical and methodological provision of balanced management of relationships with key groups of stakeholders in the field of heating power management as an element of strategic management of municipal heating companies (hereinafter referred to as MHC) on the basis of reconciliation of interests and mutually beneficial cooperation. Thus, the theoretical and methodological and applied importance of solving the problems outlined the relevance of the chosen topic, determined the purpose, objectives and direction of the study.

### **Targets and objectives of the study**

The purpose of the article is to develop theoretical and methodological provisions for ensuring a balanced management of relationships with stakeholders in municipal heating companies.

### **Study materials and methods**

The theoretical and methodological basis of the research was the scientific works of leading domestic scientists and foreign economists, legislative and regulatory acts of Ukraine in the managing the activities of the subjects of relations in the field of heat supply. During the study such methods as: abstract-logical analysis, dialectical, theoretical generalization, systemic and statistical analysis, cognitive modeling, systemic and statistical analysis, economic-mathematical methods, graphical method was used.

### **Results of the studies and their discussion**

The problem of ensuring balanced management of relationships with stakeholders is becoming more urgent and needs to be addressed as groups of stakeholders (stakeholders) in the area of heat supply have a direct or indirect impact on the process and performance of municipal heating companies.

The definition of stakeholders as a group (individuals) that can influence the achievement of the organization by its goals or the work of the organization as a whole was introduced by R. Freeman in his paper *Strategic Management: A Stakeholder Concept* in 1984 [7]. At the same time, the focus is on the role of "interaction", which is seen as the transformation of a set of individual actions into a single set of joint actions. Based on the generalization of scientific approaches [4,5], the content of the concept of "stakeholders in the sphere of heat supply" is defined, defined as groups of subjects of relations that exert economic influence on the heat supply enterprise, connected with the production, transportation, supply and use of heat energy that have an actual impact on management decision-making in the enterprise may contribute to or impede the achievement of the goals of the enterprise, as well as limit its access to certain types of resources, or such influence may be potential him, that result from or operation, or groups of stakeholders. Therefore, in the process of cooperation of the subjects of relations in the sphere of heat supply, cooperation tools are used within the scope of their powers, which allows realizing common goals for ensuring reliable and uninterrupted supply of heat and hot water to all groups of consumers at tariffs, regulated in accordance with the current legislation. The study identifies key stakeholder groups in the field of heat supply, highlighting the tools of interaction within the mandate and the results of their interaction (table 1).

The main stakeholder groups are presented in Fig. 1. It is established that stakeholders may have different types of relations with the enterprise, namely they can: influence the activity of the enterprise, be influenced by the enterprise, and while both being influenced and influence the activity of the enterprise, the interaction between the stakeholders and the enterprise is absent today but may occur in the future.

Management decision-making at enterprises while taking into account the interests of key stakeholder groups enables them to be balanced against the various vectors of MHC interaction with external and internal stakeholders.

Within the framework of the collaborative approach to stakeholder management [6, 8, 9] the essence of the concept of "ensuring balanced management of relations with the stakeholders of municipal heat supply enterprises" is specified, which forms the basis of the conceptual and terminological apparatus of the research and allows to consider it as a set of processes and actions, management tools and tools based on reconciling the interests of key stakeholder groups in conducting business to achieve balanced management decisions.

Table 1. Key tools and outcomes of collaboration (key collaborations) across key stakeholder groups in the area of heat supply

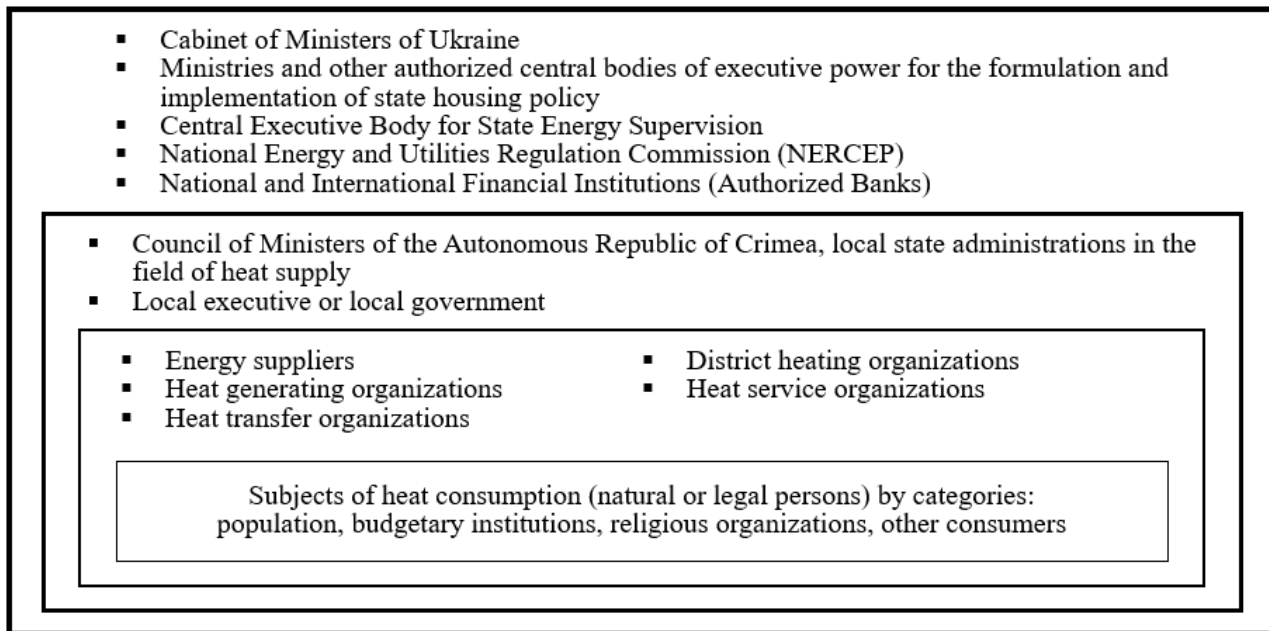
Key stakeholder groups in the field of heat supply	Instruments of interaction within the mandate	Results of interaction
Cabinet of Ministers of Ukraine	development and implementation of the state policy in the field of heat supply; coordination of the activities of ministries and other central executive bodies in the field of development of state (interstate, regional) targeted programs for the development of heat supply systems, long-term forecasting of heat energy consumption, regulatory acts on the formation of prices for heating energy; organization of control and accounting in this field; resolving other issues in the field of heat supply in accordance with the laws of Ukraine	increasing the effectiveness of cooperation in the implementation of state policy in the field of heat supply
Ministries, other authorized central executive bodies that provide for the formulation and implementation of state housing policy	formation and implementation of state policy in the field of heat supply, development of state target programs, long-term forecasting of heat energy consumption with the approval of these developments with the central body of executive power, which ensures the formation of state policy in the field of housing and municipal services	increasing the effectiveness of cooperation in the implementation of state policy in the field of heat supply
Council of Ministers of the Autonomous Republic of Crimea, local state administrations in the field of heat supply	development and implementation of local programs and participation in the development and implementation of national targeted programs in this field; coordination of activities in the field of heat supply with local self-government bodies and the central executive body, which ensures the formation of state policy in the field of housing and utilities; ensuring compliance with the rules and regulations in the field of heat supply; exercising control over the provision of heating energy to the consumers of settlements	increasing the effectiveness of interaction on the implementation of local programs in the field of heat supply, creating conditions for attracting investment in development and technical upgrading of systems
Local executive administration or local government	regulating the activities of the subjects of relations in the sphere of heat supply within the limits of the responsibility of the respective councils; approval of local development programs in the field of heat supply, participation in the development and implementation of national and regional programs in this field; approval taking into account the requirements of the legislation in the field of heat supply of projects of town-planning programs, master plans of settlement of settlements, schemes of heat-supply and other town-planning documentation; exercising control over providing consumers with heating energy in accordance with regulatory requirements; approval for the placement within the respective administrative-territorial unit of new or reconstruction of existing heat supply facilities and promoting the development of heat supply systems in the respective territory; establishment of tariffs for heating energy and tariffs for heating energy production for all categories of consumers (except tariffs for heating energy produced at heating power plants, heating power plants, nuclear power plants and cogeneration units) in the order and within the limits specified by the legislation; quarterly promulgation of heat tariffs for all categories of consumers; revision on its own initiative and / or upon request of the entity for heating energy tariffs; approval of investment programs for municipal-owned heat supply facilities	increasing the effectiveness of cooperation on the implementation of local programs in the field of heat supply, creating conditions for attracting investment in development and technical upgrading of heat supply systems
Central executive body for state energy supervision	state supervision (control) of heating, heating installations and networks of electricity entities and energy consumers in compliance with the requirements of normative legal acts, normative documents on technical operation of energy equipment of energy consumers and entities, testing and repair of energy installations, the modes of supply and consumption of electric and heating energy, the execution of works on the design of power plants and networks and confirmation of their readiness for work, which is auxiliary interim measures to ensure the sustainable functioning of the unified energy system of Ukraine	to increase the effectiveness of cooperation on state supervision (control) of compliance with the requirements of legal acts on technical operation of power equipment

Table 1 continuation

Key stakeholder groups in the field of heat supply	Instruments of interaction within the mandate	Results of interaction
National Energy and Utilities Regulation Commission (NEURC)	development of methodology for calculating tariffs for heat production and payment for its transportation and supply; ensuring a uniform tariff policy in the field of heat supply; licensing of heating energy production business (except for heating energy production on installations using non-traditional or renewable energy sources), development and approval of methodology (procedure) for setting tariffs for heating energy for entities of natural monopolies and entities in neighboring markets; setting of tariffs for heating energy to the subjects of natural monopolies in the sphere of heat supply; general control over compliance with the license conditions; consideration of cases of violation of license conditions and results of consideration of decision making within the limits of their powers; protection of consumer rights; informing the public about their work	increase of efficiency of interaction on formation of tariffs for heating energy in the sphere of heat supply for subjects of natural monopolies and subjects of management in the adjacent markets, licensing of economic activity on production of heat energy
Heat transfer organizations are business entities	carry out transportation of heating energy; enter into contracts of sale and purchase of heating energy with consumers; have the right to compensation for losses in the event of disruptions in the operation of the consumer's heating equipment that have led to disruptions in the heat supply process; ensure reliable supply of heating energy in accordance with the terms of the contract and standards; limit or discontinue the supply of heating energy to consumers after a written warning sent no later than three working days, in case of arrears of consumed heating energy in accordance with the procedure established by law; issue permits and specifications for connection of consumers to heat distribution networks; have the right of unimpeded access to heating equipment and metering units	technology transfer, enhancement of information exchange
Consumers or heat entities (private or legal persons) by category: population; budgetary institutions; religious organizations, other consumers	use heating energy on the basis of a contract for the supply of heating energy; ave the right to choose (change) the heat supply organization, if technically possible; must pay monthly to the district heating company for the heat actually received	improving the quality of providing heat energy supply service, ensuring the reliability of heat supply, increasing the level of consumer satisfaction, increasing consumer loyalty, increasing the level of their payment discipline, raising the level of consumer awareness
Energy suppliers (gas supply companies)	conclusion of contracts for natural gas supply	increasing the efficiency of energy supply interaction
Owners (balance holders) of the house, group of houses, residential complex	hold the relevant property on the balance sheet and enter into contracts for the purchase and sale of heating energy with a heat-generating or heat-supplying organization, as well as contracts for the provision of housing and municipal services with end consumers	increasing the effectiveness of cooperation on the conclusion of contracts for the purchase and sale of heating energy

The end of the **Table 1**

Key stakeholder groups in the field of heat supply	Instruments of interaction within the mandate	Results of interaction
Heat generating organizations are business entities	own or use heat generating equipment and produce heat energy, enter into heat purchase and sale contracts with consumers; have the right to compensation for losses in the event of disruptions in the operation of the consumer's heating equipment that have led to disruptions in the heat supply process; ensure reliable supply of heating energy in accordance with the terms of the contract and standards; limit or discontinue the supply of heating energy to consumers after a written warning sent no later than three working days, in case of arrears of consumed heating energy in accordance with the procedure established by law; issue permits and specifications for connection of consumers to heat distribution networks; have the right of unimpeded access to heating equipment and metering units	increasing the efficiency of interaction in the production of heating energy
Heat transfer organizations are business entities	carry out transportation of heating energy, enter into contracts of sale and purchase of heating energy with consumers; have the right to compensation for losses in the event of disruptions in the operation of the consumer's heating equipment that have led to disruptions in the heat supply process; ensure reliable supply of heating energy in accordance with the terms of the contract and standards; limit or discontinue the supply of heating energy to consumers after a written warning sent no later than three working days, in case of arrears of consumed heating energy in accordance with the procedure established by law; issue permits and specifications for connection of consumers to heat distribution networks; have the right of unimpeded access to heating equipment and metering units	increasing the efficiency of interaction in the transportation of heating energy
Heat service organizations are subjects of economic activity	carry out maintenance of the means of production, transportation and consumption of heating energy	improving the quality of services provided
Bodies of self-organization of the population and members of the boards of associations of co-owners of apartment buildings, housing cooperatives, youth housing complexes, etc.	participate in the discussion of the state and plans, development projects, reform of housing and municipal services of the respective settlement	business reputation enhancement, environmental risk reduction, customer base expansion
Financial organizations including international (authorized banks)	carry out in accordance with the terms of contracts of crediting funds of international financial institutions, foreign state institutions or funds attracted in accordance with intergovernmental agreements, or funds in the form of loans (loans, grants), or funds attracted by the state or economic entities in the field of heat supply under public or local guarantees, special accounts for credit facilities of heat supply entities opened by banks in national or foreign currency, and use of such funds for preparation and implementation of investment programs (activities) in the relevant field	increasing the effectiveness of interaction in the preparation and implementation of investment programs



**Fig. 1.** Key stakeholder groups in the field of heat supply

Mutual responsibility of the subjects of relations in the sphere of heat supply for the quality supply of heat energy and its timely payment made it expedient to isolate the marketing component in relation to work with consumers with determination of the level of customer satisfaction with the services, which is determined by the criteria: general satisfaction of MHC work; evaluation of the quality of the services received; estimation of norms and order of payments for the services received; evaluation of the customer service system.

It is proved that MHCs in Ukraine today form a monopolistic market of heat supply, which determines the expediency of determining the priorities and strategic directions of development of the district heating system, the implementation of which will contribute to the sustainable development of housing and municipal services in such areas as: 1) reducing the cost of energy production; 2) intensification of work with consumers to reduce the amount of defaults; 3) reducing actual heat consumption and bringing it closer to effective demand by implementing energy-saving measures in conjunction with consumers.

On this basis, it has been determined that an important area of activity of MHC in the current conditions is to take into account the factors of the internal and external environment that affect its development, identify potential threats and favorable opportunities for the development of MHC in the future. According to the results of the analysis, the most significant risk factors that influence and in the future may influence the results of the MHC's activity are external factors caused by the state policy on regulation of economic activity of heat supply companies and imperfection of regulatory and legislative bases, namely: divergence in terms changes in energy prices and the introduction of tariffs for production, transportation, supply of heat and related district heating

services and the center interim hot water; late compensation from the state budget of the difference in tariffs for heating energy, heating and hot water supply to the population, which arose due to the discrepancy between the actual cost of heat energy and the corresponding services set tariffs; decrease of the level of payments of the consumers of heat supply in the conditions of sharp increase of cost of the corresponding services for the population and decrease of its solvency; non-regulation of current legislation regarding obligations and requirements for customers of heat supply services in terms of timely payments.

Risk factors for the internal environment are primarily related to the main production activity of the MHC, such as unplanned shutdowns of equipment or interruption of the technological cycle of the MHC due to forced re-equipment, accidents, low level of technological discipline, etc.

Thus, the results of the scientific study have allowed to state that a harmonious combination of levers and instruments of a collaborative approach and a balanced system of indicators with consideration of environmental risk factors is the basis for a balanced management of relationships with stakeholders in utilities.

The study proposes to use the Balanced Scorecard (BSC) as one of the most successful enterprise management systems, which allows to evaluate the performance of the enterprise in the form of interrelated financial and non-financial indicators and to identify trends in each of the four key areas of activity to achieve the goal of MHC to meet the public needs of consumers for quality heating energy at the lowest cost, profit for the development of the enterprise, safeguarding the interests of its employees and meeting their economic and social needs on the basis of stakeholder reconciliation [10-14] (table 2).

**Table 2.** Balanced scorecard for evaluating the effectiveness of managing relationships with stakeholders in municipal heating companies

Projection		Strategic goals	Quantitative and qualitative indicators of results
Finances		making profit that can be invested in development	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tariff for heating energy, UAH / Gcal and hot water</li> <li>- the balance of outstanding compensation for the difference in tariffs for heat</li> <li>- compensation for losses arising from the difference between actual costs and charges to consumers for services rendered</li> <li>- financial assistance</li> <li>- cost 1 Gcal of heating energy</li> <li>- profitability level, %</li> <li>- business activity ratio</li> </ul>
Consumers of heating energy and hot water supply		<ul style="list-style-type: none"> <li>- increasing consumer satisfaction</li> <li>- timely payment</li> <li>- uninterrupted provision of district heating services throughout the heating season</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tariff for heating energy for the needs of the population, UAH / Gcal</li> <li>- the period of collection of receivables for goods (works), services</li> <li>- the amount of money received for the heat released</li> <li>- public debt (budgetary institutions, self-financing organizations)</li> <li>- overall satisfaction with the enterprise</li> <li>- evaluation of the quality of the services received</li> <li>- number of consumer appeals</li> <li>- the number of consumer complaints</li> <li>- timely start and end of the heating season (for three days with an average daily temperature of 8 °C)</li> <li>- indoor air temperature (subject to their insulation) meets current rules and regulations - 18 °C (in corner rooms - 20 °C)</li> </ul>
Main activity processes	for the production of heating energy	<ul style="list-style-type: none"> <li>- cost reduction</li> <li>- improving the quality of heat supply</li> <li>- ensuring reliable and trouble-free operation of the enterprise</li> <li>- reduction of losses in the course of carrying out the activity</li> <li>- reduction of natural gas consumption</li> <li>- reduction of harmful effects on the environment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- annual amount of heating energy useful leave, thousand Gcal.</li> <li>- tariff for heat production, UAH / Gcal</li> <li>- conditional fuel consumption per 1Gcal of heating energy from boiler houses</li> <li>- electricity costs for the production of 1Gcal of heating energy released from boiler houses</li> <li>- water consumption for technological needs of production 1Gcal of heat released from boiler houses (without heating of heating networks)</li> <li>- accident in the heated season</li> <li>- possibility of heat supply to consumers in due time</li> <li>- reliability level of the heat supply system</li> </ul>
	for the transportation and supply of heating energy (construction, reconstruction and modernization of heat supply facilities)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- reduction of energy losses (heating energy, fuel, electricity, etc.)</li> <li>- ensuring the reliability of heating networks</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tariff for transportation of heating energy, UAH / Gcal</li> <li>- tariff for heat supply, UAH / Gcal</li> <li>- quantity of damages of heating networks, pcs.</li> <li>- the amount of coolant leakage (including during the heating period),</li> <li>- annual transmission of heat networks, km.</li> <li>- integrated dynamic efficiency of heat generation and transportation</li> </ul>
Training and development of heat supply workers		- enhancing production culture, planning and delivery efficiency	<ul style="list-style-type: none"> <li>- labor turnover factor</li> <li>- staffing ratio</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- increase of efficiency of use of labor resources</li> <li>- ensuring the interests of employees and meeting their economic and social needs</li> <li>- training of personnel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- productivity</li> <li>- staffing, %</li> <li>- average monthly wage per employee</li> <li>- coefficient of intellectual potential</li> </ul>

The obtained system of indicators of performance evaluation of the relationship with the stakeholders of the MHC allows to calculate the indicator of integrated sustainable development of the MHC in the long run based on the management of the relationship with the stakeholders with the BSC, which reflects the success of the interaction of the MHC with key groups of stakeholders.

Methodical provisions for the evaluation of the indicator of the complex sustainable development of the MHC by BSC ( $S_j$ ) are implemented using integral and partial indicators ( $S_{ij}^{\alpha}$ ) according to the formulas (1, 2).

$$S_{ij}^{\alpha} = \sum_{l=1}^m V_{il}^{\alpha} \widehat{p}_{lj}^{\alpha}, \quad (1)$$

where  $\tilde{p}_{ij}^{\alpha} = p_{ij}^{\alpha} - \bar{p}_{ij}^{\alpha}$  – centered indicators that characterize the impact of stake holders on the BSC;  $V_{ii}^{\alpha}$  – eigenvectors for the group  $\alpha$  ( $\alpha=1..s$ );  $m$  – the number of metrics in the group;  $j$  – number of MHC.

An integral index is defined as a linear combination of group integral indicators:

$$S_j = \sum_{\alpha=1}^s \beta_{\alpha} S_{1j}^{\alpha}, \quad (2)$$

where  $\beta_{\alpha}$  – the significance coefficients of each group.

The results show that the implementation of the proposed approach within the framework of the analytical and applied support contributes to the improvement of the quality of the accepted alternatives for the development of MHC on the basis of ensuring communication of the management of the company with employees and external stakeholders in the field of heat supply with a non-random choice of complex measures for complex measures stakeholders.

### Conclusions

According to the results of the research, the theoretical and methodological provisions of ensuring balanced management of the relations with the stakeholders of municipal heat supply enterprises have been improved.

On the basis of the systematization of the conceptual apparatus, the content of the concept of "stakeholders in the field of heat supply" is defined, which are defined as

groups of subjects of relations that exert economic influence on the heat supplying enterprise connected with the production, transportation, supply and use of heating energy that have an actual impact. Management decisions in the enterprise may contribute to or hinder the achievement of the objectives of the enterprise, as well as limit its access to certain types of resources, or such influence may be potential, that result from operation, or groups of stakeholders.

The essence of the concept of "ensuring balanced management of relationships with stakeholders of municipal heat supply companies", which is considered as a set of processes and actions using methods, tools and management tools based on the coordination of interests of key stakeholder groups in the conduct of economic activity for making balanced management concepts model of organizational and methodological support for managing relations with MHC stakeholders in the sphere of heat supply.

The expediency of using a balanced scorecard as one of the most successful systems of enterprise management is substantiated, which allows to evaluate the performance of the enterprise in the form of interrelated financial and non-financial indicators and to determine the tendencies of change of each of four key spheres of activity in order to achieve the goal of MHC for meeting the needs of consumers on quality heating energy at the lowest cost, profit for the development of the enterprise, ensuring its interests employees and meeting their economic and social needs based on stakeholder reconciliation.

### References

1. On heat supply: Law of Ukraine of June 2, 2005, Information of the Verkhovna Rada of Ukraine, 2005, No. 2633-IV - Art. 373.
2. On the procedure for setting tariffs for the production, transportation, supply of heat and services for district heating and hot water supply : Resolution of the National Commission for Regulation in the Fields of Energy and Utilities of March 24, 2016 No. 377.
3. Mykytyuk, P. P. (2018), "Methodical approaches to the formation of the tariff policy of thermal energy production in the conditions of multi-fuel regime", *Economic analysis*, Vol. 28, No. 1, P. 79–86.
4. Brych, V. (2017), "Building a market for energy services: world experience and Ukrainian realities", *Bulletin of the Ternopil National Economic University*, P. 7–20.
5. Inyakin, V. N. (2006), "Ensuring stable functioning of housing and communal services", *Scientific papers of Donetsk National Technical University. Series: Economic*, Issue 30 (114), P. 132–139.
6. Kamyschnikova, E. V. (2016), "Collaborative approach to stakeholder management in the framework of corporate social responsibility", *Problems and prospects of entrepreneurship development*, No. 1, P. 84–88, available at : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/piprp\\_2016\\_1\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/piprp_2016_1_15)
7. Freeman, R. (1984), *Edward Strategic management: a stakeholder approach*, Pitman, 279 p.
8. Parfenenko, Yu. (2017), "The model of decision support in centralized heating management on the consumer side", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (1), P. 69–74. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.069>.
9. Kochan, T. A. (2000), "Toward a Stakeholder theory of the firm: the Saturn partnership", *Organization Science*, Vol. 11, No. 4, P. 367–386.
10. Bass, Yu. V. (2013), "The Stakeholder Concept in the Corporate Social Responsibility System", *Management and Marketing*, No. 4 (32), Vol. 2, P. 115–120.
11. Post, J. E., Preston, L., Sachs, S. (2002), *Redefining the Corporation: Stakeholder Management and Organizational Wealth*, Stanford University Press, California, 320 p.
12. Miroschnichenko, Yu. O. (2018), "A model of stakeholder interaction in the real economy of Ukraine in the context of CSR" *Eastern Europe: Economics, Business and Management*, Vol. 5, P. 71–74.
13. Wet, V.V. (2017), "Procedure for the analysis of enterprise stakeholders", *Mukachevo State University*, Vol. 12, P. 348–353.
14. Strelkov, O. (2016), "Development of the enterprise due to the interests of stakeholders", *East: Economic Sciences*, No. 6 (146), P. 49–55.
15. AA1000 Stakeholder Engagement Standard (2015), 40 p. [On-line], available at : [https://www.accountability.org/wp-content/uploads/2016/10/AA1000SES\\_2015.pdf](https://www.accountability.org/wp-content/uploads/2016/10/AA1000SES_2015.pdf).

Received 25.11.2019

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Момот Тетяна Валеріївна** – доктор економічних наук, професор, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, завідувач кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, Харків, Україна; email: tvmomot@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7397-3565>.

**Момот Татьяна Валерьевна** – доктор экономических наук, профессор, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, заведующая кафедры финансово-экономической безопасности, учета и аудита, Харьков, Украина.

**Momot Tetiana** – Doctor of Sciences (Economics), Professor, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Head of the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Auditing, Kharkiv, Ukraine.

**Сінчеськул Ірина Леонідівна** – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, асистент кафедри економіки підприємств, бізнес-адміністрування та регіонального розвитку, Харків, Україна; email: Iryna.Sincheskul@kname.edu.ua; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3814-4045>.

**Синчеськул Ирина Леонидовна** – Харьковская национальная академия городского хозяйства, асистент кафедры экономики предприятий, бизнес-администрирования и регионального развития, Харьков, Украина.

**Sincheskul Irina** – O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Assistant Professor of the Department of Business Administration and Regional Development, Kharkiv, Ukraine.

**Савенко Ксенія Сергіївна** – кандидат економічних наук, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, доцент кафедри міжнародного бізнесу та економічного аналізу, Харків, Україна; email: kseniasavenko13@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7458-1643>.

**Савенко Ксения Сергеевна** – кандидат экономических наук, Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнеця, доцент кафедры международного бизнеса и экономического анализа, Харьков, Украина.

**Savenko Kseniia** – PhD (Economics Sciences), Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Associate Professor of the Department of International Business and Economic Analysis, Kharkiv, Ukraine.

**Букрєєва Каріна Сергіївна** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри стратегічного управління, Харків, Україна, email: karina.bukrieieva@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1199-7227>.

**Букреева Карина Сергеевна** – кандидат технических наук, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", доцент кафедры стратегического управления, Харьков, Украина.

**Bukrieieva Karina** – PhD (Project Management), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of Strategic Management, Kharkiv, Ukraine.

## ЗБАЛАНСОВАНЕ УПРАВЛІННЯ ВЗАЄМВІДНОСИНАМИ ЗІ СТЕЙКХОЛДЕРАМИ У СФЕРІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Стаття присвячена дослідженню теоретичних засад і практичних аспектів управління взаємовідносинами зі стейкхолдерами теплопостачальних комунальних підприємств. **Предметом** дослідження є сукупність теоретичних, методичних і практичних аспектів щодо забезпечення збалансованого управління взаємовідносинами зі стейкхолдерами комунальних теплопостачальних підприємств. **Метою** статті є розробка теоретико-методичних положень та обґрунтування практичних рекомендацій щодо забезпечення збалансованого управління цими взаємовідносинами. **Завдання** роботи: дослідити та систематизувати понятійний апарат забезпечення управління взаємовідносинами зі стейкхолдерами комунальних теплопостачальних підприємств; обґрунтувати організаційні засади управління цими взаємовідносинами; запропонувати аналітико-прикладне забезпечення управління ними за збалансованою системою показників. У ході дослідження використано **методи**: абстрактно-логічний аналіз, теоретичного узагальнення, системного та статистичного аналізу, системний та статистичний аналіз, економіко-математичні методи, графічний метод. В роботі узагальнено економічні характеристики діяльності теплопостачальних комунальних підприємств та розроблено напрямки розвитку взаємовідносин зі стейкхолдерами у процесі реформування житлово-комунального господарства України на основі аналізу ефективності діяльності теплопостачальних підприємств в розвинених країнах Європи. Обґрунтовані стратегічні напрямки розвитку теплопостачальних комунальних підприємств шляхом забезпечення збалансованого управління взаємовідносинами зі стейкхолдерами. **Висновки**. Запропоновано застосовувати збалансовану систему показників, що дозволяє на основі оцінки фінансових і нефінансових індикаторів результативності діяльності підприємства визначити тенденції зміни кожної з чотирьох ключових сфер діяльності для досягнення мети КТП щодо задоволення суспільних потреб споживачів, одержання прибутку для розвитку підприємства, забезпечення інтересів його працівників та задоволення їх економічних і соціальних потреб на засадах узгодження інтересів стейкхолдерів.

**Ключові слова:** централізоване теплопостачання; комунальні теплопостачальні підприємства; управління взаємовідносинами; стейкхолдери; енергоефективність; організаційно-економічна модель.

## СБАЛАНСИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯМИ СО СТЕЙКХОЛДЕРАМИ В СФЕРЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Статья посвящена исследованию теоретических основ и практических аспектов управления взаимоотношениями со стейкхолдерами теплоснабжающих коммунальных предприятий. **Предметом** исследования является совокупность теоретических, методических и практических аспектов по обеспечению сбалансированного управления взаимоотношениями со стейкхолдерами коммунальных теплоснабжающих предприятий. **Целью** статьи является разработка теоретико-

методических положений и обоснование практических рекомендаций по обеспечению сбалансированного управления этими взаимоотношениями. **Задачи** работы: исследовать и систематизировать понятийный аппарат обеспечения управления взаимоотношениями со стейкхолдерами коммунальных теплоснабжающих предприятий; обосновать организационные основы управления этими взаимоотношениями; предложить аналитико-прикладное обеспечение управления ими сбалансированной системой показателей. В ходе исследования использованы **методы**: абстрактно-логический анализ, теоретического обобщения, системного и статистического анализа, системный и статистический анализ, экономико-математические методы, графический метод. В работе обобщены экономические характеристики деятельности теплоснабжающих коммунальных предприятий и разработаны направления развития взаимоотношений со стейкхолдерами в процессе реформирования жилищно-коммунального хозяйства Украины на основе анализа эффективности деятельности теплоснабжающих предприятий в развитых странах Европы. Обоснованные стратегические направления развития теплоснабжающих коммунальных предприятий путем обеспечения сбалансированного управления взаимоотношениями со стейкхолдерами. **Выводы**. Предложено применять сбалансированную систему показателей, позволяет на основе оценки финансовых и нефинансовых индикаторов результативности деятельности предприятия определить тенденции изменения каждой из четырех ключевых сфер деятельности для достижения цели КТП по удовлетворению общественных потребностей потребителей, получение прибыли для развития предприятия, обеспечение интересов его работников и удовлетворение их экономических и социальных потребностей на основе согласования интересов стейкхолдеров.

**Ключевые слова:** централизованное теплоснабжение; коммунальные теплоснабжающие предприятия; управление взаимоотношениями; стейкхолдеры; энергоэффективность; организационно-экономическая модель.

*Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions*

Момот Т. В., Сінческул І. Л., Савенко К. С., Букреєва К. С. Збалансоване управління взаємовідносинами зі стейкхолдерами у сфері теплопостачання. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2019. № 4 (10). С. 101–110. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.101>.

Momot, T., Sincheshkul, I., Savenko, K., Bukrieva, K. (2019), "Balanced management of stakeholder relationships in the heating sphere", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 101–110. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.101>.

V. PITERSKA

## CONCEPTUAL MODEL OF SCIENTIFIC ACTIVITY MANAGEMENT OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

The **subject** of study in the article is methods, models and mechanisms of management of scientific activity of higher education institutions. The **purpose** of the work is to develop a conceptual model for managing the academic activity of higher education institutions based on the concept of triple helix interaction, P2M standard and risk management methodology. The following **tasks** are solved in the article: analysis of the model of the triple helix interaction of higher education institutions, business structures and the state in the implementation of innovation activities, research of the feasibility of applying the P2M standard for the management of scientific activity of institutions of higher education, development of a conceptual model of management of scientific activity in institutions of higher education taking into account the risk management system. The following **methods** are used: project and program management methods, systems theory and systems analysis, risk management methods. The following **results** were obtained: a conceptual model of management of scientific activity of higher education institutions was developed, which allows, on the basis of risk-oriented methodology, to take into account the interests of all stakeholder groups of the University-State-Business (U – S – B) triple system. **Conclusions:** The use of the conceptual model of scientific management of higher education institutions will allow taking into account the interests of all stakeholder groups in accordance with the P2M standard by integrating various projects and processes of their activities into a common innovation program. International experience demonstrates the effectiveness of translating the results of higher education research projects into practice, with the combined efforts of universities, business entities and government institutions. The presented participants form the triple coil system "University-Business-State", which we will call the system "U – S – B". This system integrates the processes of scientific activity, production and various forms of state regulation that interact. The U – S – B model has obvious advantages - science senses production needs, the state takes incentive measures, business structures adapt to the needs of the population in new goods, services or technologies. This paradigm assumes that new knowledge and technologies resulting from the scientific activity of higher education institutions are channeled into the sphere of business and public institutions.

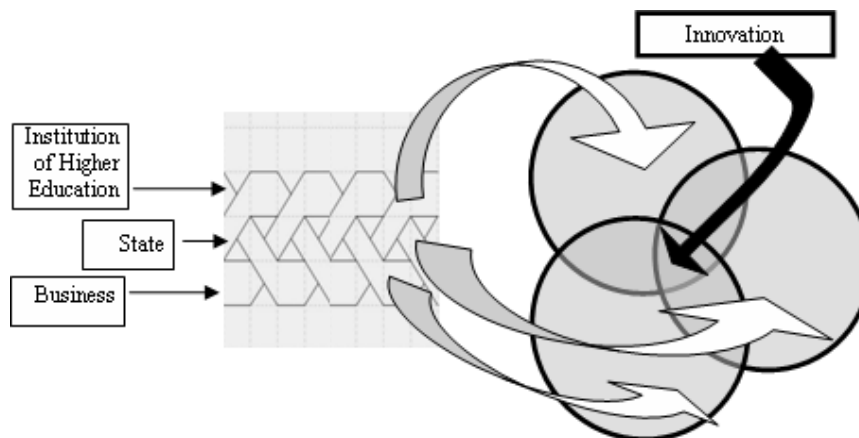
**Keywords:** research project; higher education institution; innovation program management.

### Introduction

In Ukraine, innovation has not yet become a proper means of enhancing the state's competitiveness. Therefore, the task of transition to an innovative model of development is very relevant given the current external and internal trends in the development of scientific and technological sphere. The primary task of forming an effective model of innovative development in Ukraine should be to focus not only on the possibility of mechanically restoring the necessary levels of state funding for the scientific and technical sphere. In the current situation, the practical impossibility of full financial support of innovative activity in the current state of public finances can be traced. Only establishing

adequate chains of interconnection of science, technology and production adequate to the modern market economy overcomes the problem of unpromising investment in the renewal of the scientific sphere. The level of support for innovation and technology transfer is reflected in the state, which is reflected in the general level of scientific and technological security, and the destruction of the financial foundations of the functioning of the scientific sector is increasingly increasing the technological dependence of the national economy.

International practice has proven the feasibility of using the triple helix model (fig. 1), which unites the efforts of universities, business structures and government bodies in implementing innovative projects [1].



**Fig. 1.** Triple helix model of innovation management

This paradigm assumes that knowledge and technology arise from the actions of higher education

institutions, business structures, and the state, which partially overlap [1]. It also implies that knowledge and technology are then transferred to an economy that is ultimately the main driver of innovation.

#### **Analysis of recent research and publications**

The experience of developing indicators of scientific activity of universities in real socio-economic conditions is studied in [2, 3].

The development of methods of evaluation, measurement, analysis of the development of the scientific and technical level of the industry, as well as models of project portfolio management under uncertainty are presented in [4, 5]. The system of enterprise standards for knowledge management in a project-managed organization is given in [6]. Innovative projects for forming the information infrastructure of the university's educational space are proposed in [7].

The study of mechanisms for managing high-tech programs and projects is given in [8]. The mathematical foundations of project management and portfolio management of high-tech industries are given in [9]. Models and mechanisms of management of educational networks and complexes, as well as planning mechanisms in the management of scientific projects are presented in [10, 11]. Development of model of organizational structure of university by means of project management system is carried out in [12]. The research conducted in [13] is devoted to the development of methodological bases of innovative project-oriented management of organizations.

The connection between the innovative component and the business opportunities is studied in [14]. In [15] mechanisms for financing the innovative development of the firm are developed. The mechanisms for managing organizational projects are described in [16]. Investigation of innovative thinking results in the formation of new project management methodologies takes place in the development of organizational systems management models presented in [17].

Regarding the problem of external environment of the innovation system and regulation of intellectual property issues, the papers [18, 19] propose mechanisms for managing the external environment of the project, which allows controlling the activities of interested persons in obtaining an innovative product. The creative technologies in program management proposed in [20] allow increasing the efficiency of program-oriented management of innovation activity. The systematic approach to project and program management, presented in [21], allows a comprehensive approach to solving the issues of effective implementation of innovative activities of the organization based on the interests of each of its participants.

The **purpose** of this article is to develop a conceptual model for managing the academic activity of higher education institutions based on the concept of triple helix interaction, P2M standard and risk management methodology.

#### **Presentation of the main material**

Higher education institutions are the most flexible of all known institutions in terms of knowledge generation and dissemination. It is the organizational structure and nature of universities that constantly supports the movement of human resources - new students come to them with their ideas, which, when they graduate, begin to work in the various fields of activity with which they share their knowledge. Acting as an equal institutional partner with business and the state, universities are one of the elements in the triple helix model and occupy a leading position in a knowledge-based society.

In this model, institutions of higher education, in the presence of the traditional role, fulfill new functions - in addition to educational activities, scientific research in the framework of cooperation with the state and business creates new knowledge. In the context of social and economic development, the new mission of universities is very often focused on the development of a specific resource in the region or of a particular invention - an innovative product resulting from the research activities of higher education institutions.

At the same time, the triple helix can be seen as an interaction between the institutional spheres: institutions of higher education, business structures and the state, as well as hybridization of the space of knowledge, the space of consensus and the space of innovation, that is, the model of the triple helix does not simply direct the necessary cooperation between institutions of the three activity, it is a model of space [1]. The basic principle of the triple helix model is to consider the institution of higher education as a key object of innovation. In the triple helix model, unlike the administrative-command model, the state has less control over business structures and universities. This allows initiatives to emerge from participants in these institutional spheres. At the same time, the state is beginning to play a more active role in promoting innovation than is happening in the market model. Thus, from different starting points there is a movement towards a more balanced hybrid model.

A key element of locally oriented international innovation policy is "smart specialization".

"Smart specialization" strategies, which are often designed to stimulate economic development and enhance the innovative competitiveness of regions, include a social dimension to deliver a more lasting impact. The use of the concept of helix in the context of the Smart Specialization Platform (RIS3) extends the popular triple helix paradigm, pointing to the fact that, alongside science, industry and the state, a key role in the innovation process is played by society, which is often the end user of innovation and therefore significantly influences innovation and creation of knowledge and technologies - through the demand and realization of the user function. Such a model is well suited to developing "smart specialization" strategies, despite the fact that such an approach requires more effort. Realizing the potential of this initiative and demonstrating its benefits implies an appropriate revision of innovation policies. In addition, there is a growing need for

quantitative assessment techniques for "smart specialization".

The European Union formulated its view of the European social market economy in a Europe 2020 strategy aimed at addressing structural problems through progress in three interconnected priority areas (fig. 2) [22]: "smart" knowledge-based economic growth and innovation; sustainable economic growth based on a more resource-efficient, green and competitive economy; inclusive economic growth through increased employment and economic, social and territorial integration. Increasing investment in innovation and entrepreneurship is at the heart of the Europe 2020 strategy and a crucial means of responding to the economic crisis [22]. The EU

consists of different countries and regions, each with a specific ecosystem of science and innovation, with a unique economic context and industrial infrastructure. Organizations strive to function as open systems operating under conditions of high turbulence, high risk, and trying to balance stability and consistency, on the one hand, and flexibility and readiness for change (to achieve higher levels of efficiency and organizational sustainability), on the other.

The triple helix model provides a stable environment of parallel relationships between national and regional authorities, the broader business community (industry) and science. This approach takes into account the role of each of these groups of innovation participants.

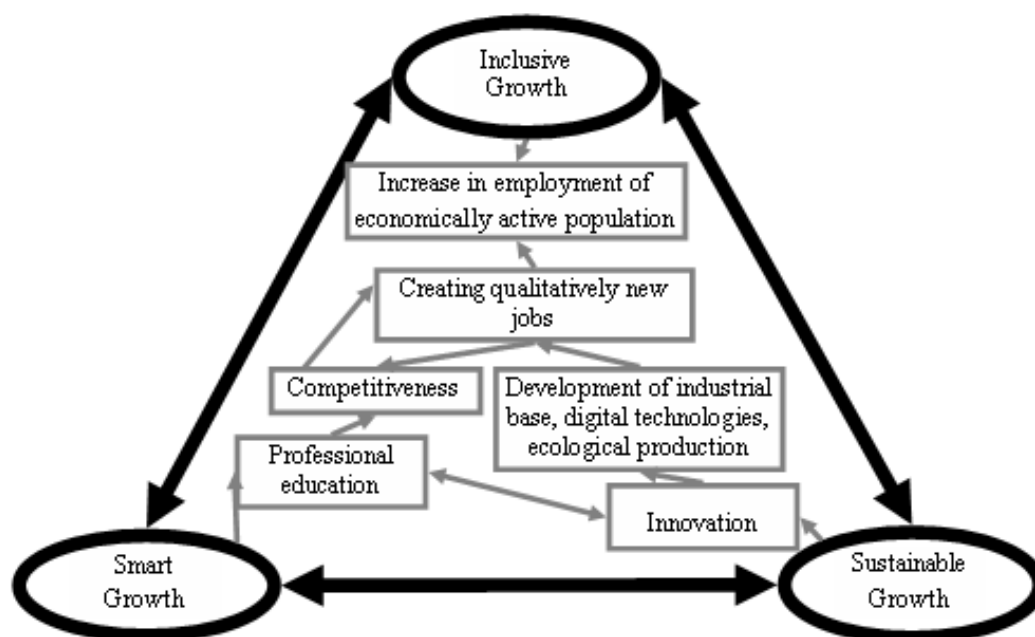


Fig. 2. Model of implementation of the Europe 2020 strategy [22]

The triple helix model integrates the efforts of higher education institutions, business structures and the state as the main drivers of the innovation process, effectively generalizing the experience of interaction between these elements of the innovation system. Their interaction promotes the development of technologies, sets the conditions for creating and implementing innovations. The triple helix model is widely used in the theory and practice of innovative development of knowledge-intensive industries in economically developed and developing countries [1]. Using this advanced knowledge of science, this model gains state and business support for the commercialization of research and development. Within the framework of the triple helix there is a gradual innovative development as a result of the constructive interaction of the scientific-educational complex (higher education institution), business and the state, both at national and regional levels. For the implementation of an innovative model at any level (national, regional) it is necessary on the one hand, the partnership of science, education, government and business, and on the other - a certain level of development of regional institutions [1]. The central core of the triple helix model is the concept of

the university's third mission. For a long time, universities were thought to have two missions: education and research. In recent decades, it has become apparent that universities should become active participants in economic and cultural development processes; to develop into organizations closely related to industry and society as a whole.

### Results of the study

The partnership scheme of the higher education institution, business and state within the framework of the triple helix model is presented in fig. 3. One of the basic advantages of this approach is that it takes into account the nature of the demand for innovation. The presented participants form the triple coil system "University-Business-State", which we will call the system "U – S – B". This system integrates the processes of scientific activity, production and various forms of state regulation that interact. The U – S – B model has obvious advantages - science senses the needs of production, the state takes incentive measures, business structures adapt to the needs of the population in new goods, services or technologies.

This paradigm assumes that new knowledge and technologies resulting from the scientific activity of a higher education institution are channeled into the sphere of business and public institutions. The concept of the "triple helix" envisages a phased innovation development as a result of the constructive interaction of the scientific and educational complex, business and government at national and regional levels. The scientific direction is

determined by the effective research activities of the universities that implement basic and applied research. The mechanism of interaction between the higher education institution, the state and business in the U – S – B model includes three blocks: research conducted at the higher education institution; business that includes business structures; a state represented by regional and local authorities.

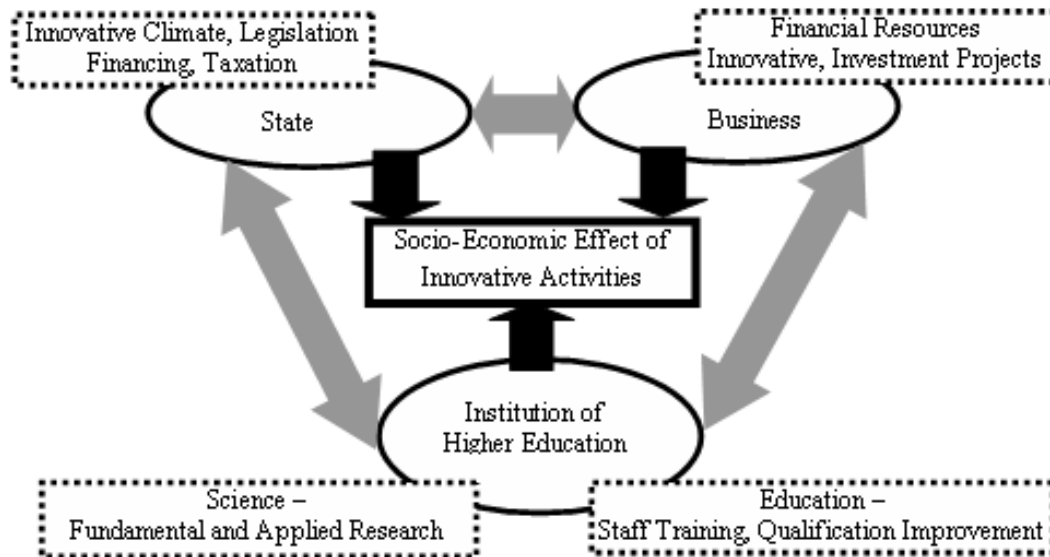


Fig. 3. Model of interaction between university, business and state in the framework of the triple helix

The system of cooperation between higher education institutions, the state and business consists of a set of state organizations, private enterprises and scientific institutions (universities), which work together to pursue effective innovation activities. Each participant of the U – S – B model makes a significant contribution to the implementation of innovative projects and the overall development of the innovative component of the region's economy. The parity contribution of the regional authorities is, first and foremost, in the provision of material and financial resources: land and structures, earmarked budget for innovation. The interaction of the higher education institution with business structures implies the active development and expansion of relations with the business environment in order to more effectively commercialize the results of intellectual and scientific activities and build the business reputation of a reliable business partner. Therefore, the appointment of such university interaction in the triple helix model implies the development of the scientific and technological complex and providing it with the necessary human resources through research, technology transfer to the economy and the formation of a system of business companies around the institution of higher education with the use of appropriate state mechanisms for managing scientific activity. Thus, a third mission of the University emerges, which assumes a significant role in the socio-economic development of the region through effective innovation activity.

The implementation of the University-State-Business model allows obtaining new opportunities for increasing the innovative potential of the state.

In this case, the application of the U – S – B model on the principles of the triple helix allows ensuring stable development of the economy based on innovations. Development of economically justified model of location of production forces and formation of points of growth allows increasing investment attractiveness and business activity in the state and development of human capital by raising educational and qualification level.

Another benefit of the U – S – B interaction model is the increase in employment through job creation, driven by innovation, and the increase in tax revenue from both innovative projects in the short and medium term and by reinvesting profits in the long run.

Thus, the application of the triple helix model "U – S – B" in the implementation of innovative activities allows us to use scientific, educational, industrial and labor potentials, which ensures the intensity and balance of development of the state innovation system. Within the U – S – B model, "higher education institutions are beginning to play an expanded role, putting the commercialization of knowledge as an academic goal.

The fundamental basis of the conceptual model of managing the scientific activity of higher education institutions is the methodology of project, portfolio and program management, according to which the scientific activity of the institution of higher education is realized through the implementation of the portfolio of scientific projects.

*Definition 1.* Scientific project - a complex of coordinated and managed activities implemented by a higher education institution and aimed at obtaining new

scientific results, the realization of which is limited by time and available resources [24].

*Definition 2.* The portfolio of scientific projects - a set of scientific projects and other works that are limited by the available resources of a higher education institution and aimed at effectively achieving its (institution) goals [24].

As a strategic goal of a higher education institution, most experts recommend using the competitiveness of a higher education institution. There are dozens of ratings in the world to determine this figure, however, at present there is no single methodological basis that would allow comprehensive consideration of all aspects of higher education.

In terms of scientific activity, the competitiveness of a higher education institution takes into account the following indicators: the material and technical basis for carrying out scientific research; qualification level of scientific and pedagogical staff; a contingent of teachers; number of scientific schools; the number of monographs prepared; the number of articles published; the number of patents received.

As already mentioned, Ukrainian higher education institutions are not able to put the results of scientific projects into practice. International experience in this endeavor unites the efforts of universities, business structures and government institutions. The complexity of implementing the triple U-S-B model is explained by the different goals of different participants. Thus, the strategic goal of state institutions is to improve the quality of life of the population in the respective territories. The value of the complex indicator of quality of life is calculated on the basis of the analysis of the set of criteria, grouped according to the relevant directions characterizing the quality of life of the population, safety; infrastructure development, population income and the state of the environment. For business structures, economic efficiency indicators (such as profit, profitability, etc.) remain the main ones. It is possible to take into account the interests of all stakeholder groups according to the P2M standard by integrating different projects and processes of their activities into a common innovation program [23].

*Definition 3.* Innovation program - a set of projects united for the single purpose of obtaining the socio-economic effect of implementing the results of innovative activities (implementation of an innovative product) [24].

Model management of innovative projects and programs is formed on the basis of the mission of the program or project, which assumes the need for application of program management. Program management focuses on integration activities to fully realize the program mission and integrate project ideas, their strategies, architecture, and controls during program implementation.

If we consider the stage of scientific activity of the institution of higher education, then many scientific projects may be presented within the framework of the innovation program implementation.

However, the purpose of the work of a higher education institution that carries out innovative activity is to include in the portfolio exactly those scientific projects

that will result in the higher competitiveness of a higher education institution. That is, in this case, the institution of higher education manages a portfolio of scientific projects, which allows, on the basis of setting priorities, to effectively achieve the strategic goals of the organization, taking into account the resource constraints. This situation involves obtaining income from the implementation of a portfolio of research projects, as well as dividends from the patenting of a result already obtained as a result of the pursuit of higher education by a higher education institution, which may be directed to new projects to be implemented by the organization in the future. Therefore, the institution of higher education forms and manages a portfolio of scientific projects. The scientific project is part of the innovation program.

Given the above information, the scientific project of the institution of higher education will be considered as an integral part of the innovation program, as well as the portfolio of scientific projects. The cost of research is certainly one of the necessary components of successful development, but because of the increased risk, most businesses around the world are being cautious about fundamentally new developments, preferring to slightly advance the already existing products and technologies.

The level of risk arising from the development and promotion of new products is directly dependent on the degree of novelty of the innovation: the higher the novelty, the higher the uncertainty of how the product will be perceived by the market [25].

One of the factors of successful existence and further development of an innovatively active enterprise is the ability to manage the risks of innovation, ie the ability to anticipate the financial costs necessary and sufficient to reduce the likelihood of risk situations, and in case of their occurrence, the ability to localize the negative consequences of these events. The enterprise innovation risk management system should be built on a single methodological basis, but it should have a different degree of detail depending on the type of innovation.

Thus, the activation of the innovation activity of domestic enterprises can be ensured only through the development of an effective mechanism for managing innovative risks, which minimizes the potential losses and maximizes profit through the development and implementation of risk-oriented management system in the enterprise, taking into account certain factors. Uncertainty innovation risk factors are all the risks that arise in the course of an innovation activity, which can be divided into two groups.

External factors are related to the state of the environment in which the innovation activity is implemented, and include risks related to the activities of the state, the environment and the environment.

Internal factors related to the internal environment of the scientific organization, institution of higher education, ie due to the peculiarities of the implemented scientific project: personnel risks associated with the staff of the organization, and technical risks associated with the property.

Therefore, the main sources of risk factors for innovation are stakeholders: business structures, higher

education institutions, the state, the natural environment, suppliers, buyers, competitors, society as a whole, and the staff of the organization.

When designing an innovative risk management system, it should be taken into account that different projects and their different stages have their risks and

potential profitability. Therefore, one of the main tasks of innovation activity is mutual connection of interests of all subjects of innovation activity.

Considering the above information, it is possible to propose a conceptual model of scientific project management (fig. 4).

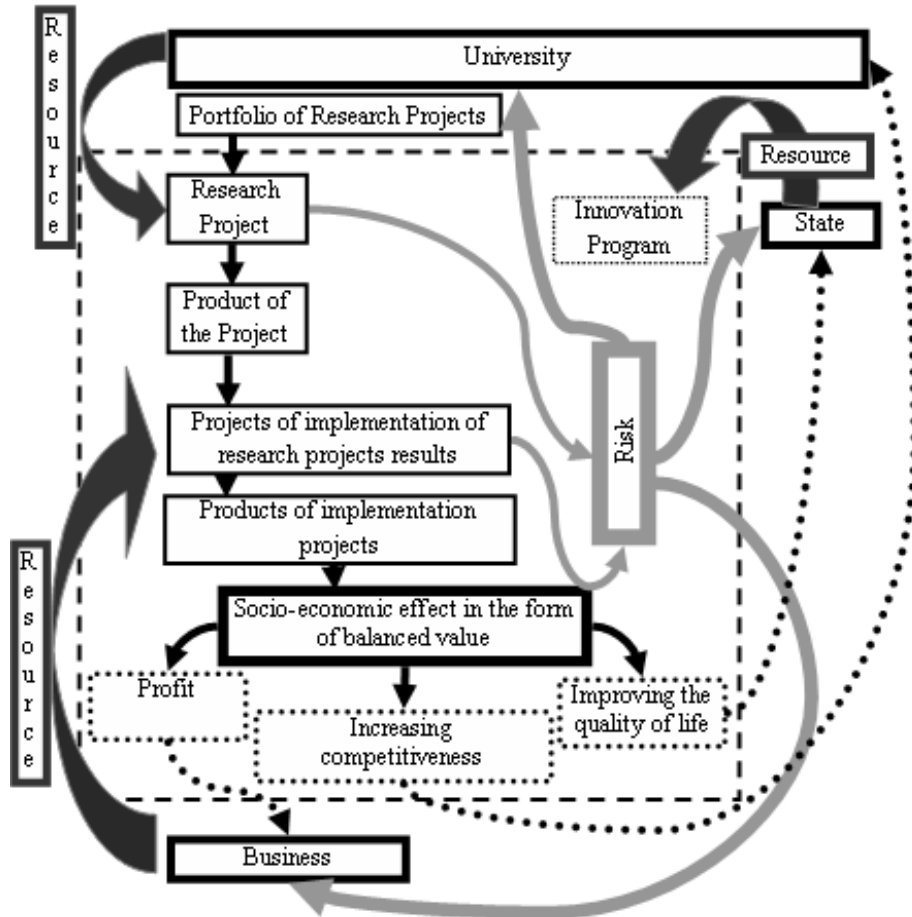


Fig. 4. Conceptual model of scientific project management

The fundamental basis of the conceptual model of managing the scientific activity of a higher education institution, as an integral part of the implementation of innovative activity, is the methodology of project, portfolio and program management, according to which the scientific activity of a higher education institution is implemented through the implementation of a portfolio of scientific projects.

### Conclusions

Higher education institution is not able to put the results of scientific projects into practice. International experience in this endeavor unites the efforts of universities, business structures and government institutions. The presented participants form the triple coil system "University-Business-State", which we will call the system "U – S – B". This system integrates the processes of scientific activity, production and various forms of state regulation that interact. The U – S – B model has obvious advantages - science senses the needs of production, the state takes incentive measures, business

structures adapt to the needs of the population in new goods, services or technologies. This paradigm assumes that new knowledge and technologies resulting from the scientific activity of a higher education institution are channeled into the sphere of business and public institutions. The complexity of implementing the U – S – B model is explained by the different goals of the different participants. The strategic goal of state institutions is to improve the quality of life of the population in the respective territories. It is recommended to use the competitiveness of the higher education institution as a strategic goal of the higher education institution. For business structures, the most important are the indicators of economic efficiency. It is possible to consider the interests of all stakeholder groups in accordance with the P2M standard by integrating different projects and processes of their activities into a common innovation program. A significant feature of innovation is its considerable uncertainty. The probability of successful implementation of the program should be taken into account when it is initiated and executed. To solve this problem, the concept uses risk management models and

methods in accordance with ISO 31000. The presence of significant risks forces businesses to be cautious about participating in innovative programs. However, it is only through the introduction of investments that the organization can accelerate the movement to its goal. In the work, using the analysis of the demand-supply function, it is proved that if traditional technologies, materials and equipment are used, the performance indicators will decrease over time, that is, the movement

of the organization will be slowed down. The conceptual model of scientific project management proves the necessity of developing methods and models of risk management in scientific projects of institutions of higher education, the model of innovation program architecture in the triple system "University-Business-State" ("U-S-B"), as well as the method of forming the scientific portfolio projects of higher education institution.

## References

1. Itskovich, G. (2010), "Triple Helix. Universities – Enterprises – State" ["Troynaya spiral'. Universitety–Predpriyatiya–Gosudarstvo"], *Innovation in action*, No. 3, P. 238–245.
2. Bushuyeva, N. (2007), *Models and methods of proactive management of organizational development programs [Modeli i metody proaktivnogo upravleniya programmami organizatsionnogo razvitiya]*, Kiev, Naukovii svit, 270 p.
3. Piterska, V., Lohinov, O., Lohinova, L., (2019), "Portfolio method of scientific activity management of higher education institutions" ["Portfel'nyy metod upravleniya nauchnoy deyatel'nost'yu zavedeniy vysshhego obrazovaniya"], *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (8), P. 86–96. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.8.086>
4. Bushuyev, S., Verenysh, O. (2018), Organizational maturity and project: Program and portfolio success (Book Chapter), *Developing Organizational Maturity for Effective Project Management*, P. 2–24.
5. Chumachenko, I., Docenko, N. (2011), "Formation of the holistic value of innovative projects and programs" ["Formirovaniye kholisticheskoy tsennosti innovatsionnykh proyektov i programm"], *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1(5), P. 14–16.
6. Kononenko, I. (2012), "Optimization of the project content according to the criteria of profit, time, cost, quality, risks" ["Optimizatsiya soderzhaniya proyekta po kriteriyam pribyl', vremena, stoimost', kachestvo, riski"], *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*, No. 1/10 (55), P. 13–15.
7. Piterska, V., Lohinov, O. and Lohinova, L. (2019), "Mechanism for forming an effective portfolio of research projects of institution of higher education", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (9), P. 99–108. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.9.099>
8. Chumachenko, I., Docenko, N., Kosenko, N., Sabadosh, L. (2011) "Formation of an adaptive project team" ["Formirovaniye adaptivnoy komandy proyekta"], *Project management and development of production*, Vol. (38), P. 67–71.
9. Pavlov, A., Chernov, S., Koshkin, K. (2006), *Mathematical bases of project management of high-tech industries [Matematicheskiye osnovy upravleniya proyektami naukoymkikh proizvodstv]*, Nikolaev, NUK, 200 p.
10. Bushuyev, S., Murzabekova, A., Murzabekova, S., Khusainova, M. (2017), "Develop breakthrough competence of project managers based on entrepreneurship energy", *Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2017*, P. 11–16. DOI: <https://doi.org/10.1109/STC-CSIT.2017.8099420>
11. Bushuyev, S., Bushuev, D., Bushuyeva N., Kozyr B. (2018), "Information technologies for project management competences development on the basis of global trends", *Information technology and learning tools*, Vol. 68, No. 6, P. 218–234. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v68i6.2684>
12. Kosenko, V., Persiyanova, E., Belotskiy, O. and Malyeyeva, O. (2017) "Methods of managing traffic distribution in information and communication networks of critical infrastructure systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (2), P. 48–55. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.048>
13. Vanyushkin, A. (2008), "Basis for the formation of a portfolio of high-risk projects" ["Osnovaniya dlya formirovaniya portfelya vysokoriskovykh proyektov"], *Project Management and Production Development*, No. 1 (25), P. 54–61.
14. Kononenko, I. (2010), "Model and method for optimizing enterprise project portfolios for the planning period" ["Model' i metod optimizatsii portfeley proyektov predpriyatiya dlya planovogo perioda "], *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*, No. ½ (43), P. 9–11.
15. Chernov, S. (2005), "Synergistic effect of project management in high-tech production", *Project Management and Production Development, East-Ukrainian National University*, Vol. 3. P. 57–62.
16. Piterska, V., Rudenko, S., Shakhov, A. (2018), "Development of the Method of Forming of the Architecture of the Innovation Program in the System "University-State-Business"", *International Journal of Engineering & Technology (UAE)*, Vol. 7 (4.3), P. 232–239. DOI: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19793>
17. Piterskaya, V., (2012), "On the problems of the development of scientific and technological parks in Ukraine" ["O problemakh razvitiya nauchno-tehnologicheskikh parkov v Ukraine"], *Problems of technology*, No. 3, P. 104–114.
18. Piterska, V., Kolesnikov, O., Lukianov, D., Kolesnikova, K., Gogunskii, V., Olekh, T., Shakhov, A., Rudenko, S. (2018), "Development of the Markovian model for the life cycle of a project's benefits", *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5/4 (95), P. 30–39. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.145252>
19. Kosenko, V., Gopejenko, V. and Persiyanova, E. (2019), "Models and applied information technology for supply logistics in the context of demand swings", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (7), P. 59–68. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.7.059>
20. Piterska, V., Shakhov, A. (2018), "Development of the Methodological Proposals for the Use of Innovative Risk-Based Mechanism in Transport System", *International Journal of Engineering & Technology (UAE)*, Vol. 7 (4.3), P. 257–261. DOI: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.20129>
21. Piterskaya, V. (2016), "Application of a project-oriented approach in the management of innovation activities" ["Zastosuvannya proektno-orientovanoho pidkhodu v upravlinni innovatsiynoyu diyal'nistyu"], *Bulletin of the National Technical University "KhPI"*, Vol. 1 (1173), P. 35–42. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-3000.2016.1173.7>

22. European Commission (2010), Europe 2020: A strategy for smart sustainable and inclusive growth, available at: [http://ec.europa.eu/europe2020/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/europe2020/index_en.htm) (last accessed 07.10.2019).
23. Project Management Association of Japan (2008), P2M. Program and Project Management Guidebook, 138 p.
24. Piterska, V. (2018), *Risk-oriented management of the scientific activity of higher education institutions within innovation programs* [Ryzyko-orientovane upravlinnya naukovoyu diyal'nistyuu zakladiv vyshchoyi osvity v ramkakh innovatsiynykh prohram], ONMU, Odessa, 368 p., available at: [http://www.osmu.odessa.ua/spec\\_rada/Piterska/Piterska\\_dis.pdf](http://www.osmu.odessa.ua/spec_rada/Piterska/Piterska_dis.pdf) (last accessed 10.10.2019).
25. ISO 31000 (2009), Risk management, available at: <https://www.iso.org/ru/publication/PUB100426.html> (last accessed 09.10.2019).

Received 18.11.2019

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Пітерська Варвара Михайлівна** – доктор технічних наук, доцент, Одеський національний морський університет, професор кафедри експлуатації портів і технології вантажних робіт, Одеса, Україна; e-mail: varuwa@ukr.net; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5849-9033>.

**Питерская Варвара Михайловна** – доктор технических наук, доцент, Одесский национальный морской университет, профессор кафедры эксплуатации портов и технологии грузовых работ, Одесса, Украина.

**Piterska Varvara** – Doctor of Sciences (Engineering), Associate Professor, Odessa National Maritime University, Professor of the Department of Port Operations and Cargo Works Technology, Odessa, Ukraine.

## КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ НАУКОВОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

**Предметом** дослідження в статті є методи, моделі і механізми управління науковою діяльністю закладів вищої освіти. **Мета** роботи – розробка концептуальної моделі управління науковою діяльністю закладів вищої освіти на основі концепції потрійної спіральної взаємодії, стандарту P2M та методології управління ризиками. В статті вирішуються наступні **завдання**: аналіз моделі потрійної спіральної взаємодії закладів вищої освіти, бізнесових структур та держави при виконанні інноваційної діяльності, дослідження доцільності застосування стандарту P2M для управління науковою діяльністю закладів вищої освіти, розробка концептуальної моделі управління науковою діяльністю закладів вищої освіти в рамках інноваційних програм з урахуванням системи управління ризиками. Використовуються такі **методи**: методи управління проектами та програмами, теорія систем і системного аналізу, методи управління ризиками. Отримано наступні **результати**: розроблено концептуальну модель управління науковою діяльністю закладів вищої освіти, яка дозволяє на основі ризико-орієнтованої методології врахувати інтереси всіх груп стейкхолдерів триєдиної системи "Університет–Держава–Бізнес (U–S–B)". **Висновки**: Використання концептуальної моделі управління науковою діяльністю закладів вищої освіти дозволить врахувати інтереси всіх груп стейкхолдерів відповідно до стандарту P2M шляхом об'єднання різних проектів і процесів їхньої діяльності в загальну інноваційну програму. Міжнародний досвід показує ефективність впровадження результатів науково-дослідних проектів закладів вищої освіти у практику за умови об'єднання зусиль університетів, бізнесових структур та державних інституцій. Представлені учасники формують триєдину спіральну систему "Університет–Бізнес–Держава", яку будемо називати системою "U–S–B". Дана система об'єднує процеси здійснення наукової діяльності, виробництва і різних форм державного регулювання, які знаходяться у взаємодії між собою. Модель "U–S–B" має очевидні переваги – наука відчуває потреби виробництва, держава здійснює стимулюючі заходи, бізнесові структури пристосовуються до потреб населення в нових товарах, послугах або технологіях. Дана парадигма передбачає, що нові знання і технології, що виникають в результаті наукової діяльності закладів вищої освіти, направляються в сферу бізнесу і державних інституцій.

**Ключові слова**: науковий проект; заклад вищої освіти; управління інноваційною програмою; ризик.

## КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ЗАВЕДЕНИЙ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**Предметом** исследования в статье являются методы, модели и механизмы управления научной деятельностью учреждений высшего образования. **Цель** работы – разработка концептуальной модели управления научной деятельностью учреждений высшего образования на основе концепции тройного спирального взаимодействия, стандарта P2M и методологии управления рисками. В статье решаются следующие **задачи**: анализ модели тройного спирального взаимодействия заведений высшего образования, бизнес-структур и государства при выполнении инновационной деятельности, исследование целесообразности применения стандарта P2M для управления научной деятельностью заведений высшего образования, разработка концептуальной модели управления научной деятельностью заведений высшего образования в рамках инновационных программ с учетом системы управления рисками. Используются следующие **методы**: методы управления проектами и программами, теория систем и системного анализа, методы управления рисками. Получены следующие **результаты**: разработана концептуальная модель управления научной деятельностью заведений высшего образования, которая позволяет на основе риск-ориентированной методологии учесть интересы всех групп стейкхолдеров триединой системы "Университет–Государство–Бизнес (U–S–B)". **Выводы**: Использование концептуальной модели управления научной деятельностью учреждений высшего образования позволит учесть интересы всех групп стейкхолдеров в соответствии со стандартом P2M путем объединения различных проектов и процессов их деятельности в общую инновационную программу. Международный опыт показывает эффективность внедрения результатов научно-исследовательских проектов заведений высшего образования в практику при условии объединения усилий университетов, бизнес-структур и государственных учреждений. Представлены участники формируют триединую спиральную систему "Университет–Бизнес–Государство", которую будем называть системой "U–S–B". Данная система объединяет процессы

осуществления научной деятельности, производства и различных форм государственного регулирования, которые находятся во взаимодействии между собой. Модель "U-S-B" имеет очевидные преимущества – наука испытывает потребности производства, государство осуществляет стимулирующие меры, бизнес-структуры приспосабливаются к нуждам населения в новых товарах, услугах или технологиях. Данная парадигма предполагает, что новые знания и технологии, которые возникают в результате научной деятельности заведений высшего образования, направляются в сферу бизнеса и государственных институтов.

**Ключевые слова:** научный проект; заведение высшего образования; управления инновационной программой; риск.

*Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions*

Пітерська В. М. Концептуальна модель управління науковою діяльністю закладів вищої освіти. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2019. № 4 (10). С. 111–119. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.111>.

Piterska, V. (2019), "Conceptual model of scientific activity management of higher education institutions", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 111–119. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.111>.

---

В. И. РОМЕНСКИЙ, В. В. НЕВЛЮДОВА, Е. Ю. ПЕРСИЯНОВА

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СБОРОЧНО-СВАРОЧНОЙ ОСНАТКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

**Предметом** исследования в статье являются вопросы, связанные с повышением требований к рабочим параметрам и качеству изделий. В приборостроении, машиностроении, оборонной и других отраслях промышленности выпускаемые изделия в своем составе имеют сварные металлоконструкции, изготовление которых требует применения большого количества сборочно-сварочных приспособлений. Затраты на проектирование и изготовление сборочно-сварочной оснастки по трудоемкости достигают 20–25% от общей суммы трудоемкости изготовления самого изделия. Одним из эффективных способов, которые позволяют уменьшить материальные и трудовые затраты, есть повышение ее долговечности и надежности. Учитывая особые условия эксплуатации данной оснастки (присутствие сварочных брызг), долговечность её работы зависит от методов защиты рабочих поверхностей оснастки. **Целью** есть разработка технологических методов повышения срока службы сборочно-сварочной оснастки на основе исследований надежности и долговечности защитных покрытий, которые защищают рабочие поверхности приспособлений с учетом влияния комплекса технологических факторов. **Задачи:** изучение условий эксплуатации сборочно-сварочной оснастки с целью определения основных факторов, которые определяют надежность и долговечность оснастки, определение отказов в процессе эксплуатации; исследование надежности существующих защитных средств с целью определения направления по разработке оптимального состава покрытия, разработка оптимального состава защитного покрытия, стойкого к воздействию сварочных брызг и износу при механическом трении элементов металлоконструкций относительно поверхностей оснастки. Получены следующие **результаты:** В статье представлены данные исследования авторами существующих средств защиты поверхностей сборочно-сварочных приспособлений, разработан классификатор основных факторов влияющих на надежность и долговечность сборочно-сварочной оснастки и классификатор отказов в процессе эксплуатации оснастки. **Выводы:** Разработана методология по определению стойкости защитных покрытий от воздействия сварочных брызг и механического перемещения элементов сварных конструкций.

**Ключевые слова:** сборочно-сварочная оснастка; защитные покрытия; сварочные брызги; толщина защитной пленки; расстояние поверхности от зоны сварки; виды сварки; долговечность; стойкость покрытия.

### Введение

Решение актуальной задачи технологического обеспечения надежности и долговечности специальных и переналаживаемых сборочно-сварочных приспособлений применяемых для изготовления металлоконструкций приборостроения (блоков, стоек, шкафов) оборонного машиностроения (гусеничных и колесных машин).

Необходимость решения такой задачи обусловлена относительно низкими показателями надежности и долговечности существующих защитных покрытий, предохраняющих рабочие поверхности сборочной и сборочно-сварочной оснастки от воздействия сварочных брызг, которые составляют 1,5 – 2 года при многократном их нанесении. Конструкторско-технологический анализ разработки, изготовления и эксплуатации сборочно-сварочной оснастки позволил определить основные технологические факторы, влияющие на работоспособность оснастки и выявить отказы возникающие в процессе эксплуатации приспособлений. На основании анализа существующих средств защиты поверхностей сборочно-сварочной оснастки, применив специально разработанную установку, получена количественная оценка стойкости покрытий воздействию расплавленных капель металла (модель сварочной брызги), летящих в определенном направлении и бомбардирующих одну и ту же элементарную площадку поверхности до полного прожигания

покрытия и сплавления с основным металлом.

Предложен метод аналитического расчета с экспериментальной проверкой оптимального состава покрытия содержащего в составе наполнителя дисульфид-молибдена и графит, а в качестве пленкообразующего – эпоксидный лак, разбавленные смесью растворителей. Разработана методика определения вероятности попадания сварочных брызг в одно и тоже место поверхности при выполнении сборочных и сборочно-сварочных операций в течение длительного времени (1 год), что позволило определить срок службы разработанного покрытия.

### Анализ последних исследований и публикаций

Базой для повышения конкурентоспособности и возрастание экспертного потенциала Украины, должно стать увеличение выпуска технологической, наукоемкой продукции, технологическое обновление производства, в том числе и технологического оборудования для производства изделий радиоэлектронного приборостроения (ИРП) [1-4].

Особым значением для технологического обновления производства, автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий (АКИТ) в будущем будет создание и использование в нем нового технологического оборудования, в том числе и сборочно-сварочной оснастки в которой собирают и сваривают основные базовые детали приборов, механизмов, робототехнических комплексов. Одним из основных элементов в конструкции указанных

изделий есть сварные металлические конструкции (корпуса, стенды, станины, шкафы, блоки, шасси и др.), производство которых требует высокой точности изготовления, а как следствие применения большого количества специальной сборочно-сварочной оснастки (приспособлений, стендов, кантователей, манипуляторов и др.).

Затраты на проектирование и изготовление сборочно-сварочной оснастки по трудоемкости приравниваются 20 – 25% от общей суммы изготовления самого изделия.

При подготовке производства новых изделий, в период освоения промышленной установочной партии, конструкторско-технологическая документация изменяется до 40%, что, в свою очередь требует переработку изготовленной оснастки или новое её изготовление.

Это накладывает дополнительную нагрузку на инструментальное производство предприятия, требует дополнительных материальных и трудовых затрат, и приводит к тому, что фактические объемы оснастки в 1,2 – 1,5 раза выше предусмотренной проектной технологией, что создает несоответствие между возможностями производства и потребностью предприятия.

Решением этой проблемы является применение обратимой оснастки из взаимозаменяемых стандартных элементов, позволяющих использовать их многократно в течение длительного времени [5]. Однако, учитывая особенности эксплуатации

специальной и обратимой сборочно-сварочной оснастки, (воздействия сварочных брызг), эффективность ее применения во многом зависит от надежных, долговечных и удобных в эксплуатации средств защиты рабочих поверхностей.

Существующие средства защиты, разрабатываемые индивидуально каждым предприятием для своих нужд (на основании проб и ошибок), обеспечивают средний срок службы оснастки в течение 1,5 – 4 лет за счет многократного нанесения различных видов покрытий или защитных экранов. Данные методы малоэффективны, так как требуют дополнительного времени на приготовление, нанесение, снятие покрытий; увеличивают материальные и трудовые затраты, снижают культуру производства.

В результате анализа отечественной и зарубежной литературы по вопросу исследования надежности и долговечности защитных средств, предохраняющих рабочие поверхности оснастки и быстроизнашивающихся деталей сварочного оборудования (наконечников, мундштуков и сопел горелок) от воздействия сварочных брызг при сварке и механического износа при перемещении деталей сварной конструкции в оснастке в процессе сборки был разработан классификатор существующих средств защиты (табл. 1), определены основные факторы влияющие на защитное покрытие (табл. 2) и виды отказов защитных пленок (табл. 3).

**Таблица 1.** Виды защиты поверхностей сборочно-сварочной оснастки и металлоконструкций от сварочных брызг

Средства защиты	Назначение и способ применения	Срок службы	Удобство эксплуатации
<i>Отечественный опыт</i>			
Экраны, кожухи	Защита металлоконструкций, установка в зоне сварки	До 6 месяцев	Не удобны, поверхность защищают частично
Водные эмульсии, содержащие: концентрат сульфатно-спиртовой барды; мел; мыло; кальцинированная сода; жидкое стекло с добавлениями циркония; алюминиевая пудра-декстрин; мел-тальк-декстрин; порошок графита и алюмофосфат; кремнийорганическая жидкость – алюминиевый порошок и др.	Защита металлоконструкций. Наносится кистью или распылением	Разового применения снимается щеткой	Не удобны, постоянно требуют повторного нанесения и снятия.
Смазки, содержащие: цирконий – путаль – растворитель 646; Циркон – маршалит поливинил – бутираль растворитель 646; окись хрома – стеорин – бензин; грунт ВЛ – 02, ВЛ – 023; Силиконовые смазки 06 - 01	Защита металлоконструкций, специальных приспособлений, наносится кистью	Разового применения, снимается щеткой со сварочными брызгами	Не удобны, постоянно требуют повторного нанесения и снятия
Защитные покрытия, содержащие: кремний – органическую жидкость ГКЖ – 94 и декстрин; мыло, техническое масло, вода; канифоль – железный сурик, парафин; графит – жидкий кремний; краска ЯН – 7А; маршалит, алюминиевая пудра, вода	Защита деталей сварочного оборудования: сопел, наконечников, и мундштуков горелок при сварке	Разового применения, выгорает в процессе горения сварочной дуги.	Не удобны, постоянно требуют повторного нанесения и снятия
Защитные покрытия, содержащие: алюминиевую пудру, графит, клей 4НБ, или БФ – 88, огнеупорный лак ФГ – 9, суспензии на основе дисульфида молибдена (ВНИИ- НП – 213, ВНИИ НП – 229, ВНИИ – НП – 230); лак 67	Ручной оснастки наносится из пульверизатора или кистью	От 3-х месяцев до 1 года	Удобны в применении, однако требуют повторного нанесения по мере выгорания покрытия

## Конец таблицы 1

<i>Зарубежный опыт (Япония, США, Германия, Голландия, Франция)</i>			
Лакокрасочные материалы с добавками; каменноугольная смола ксилол; органические соединения титана; трихлоретан; алюминиевый порошок; льняное масло; стерильная кислота; графит; смола; растворитель	Защита металлоконструкций наносится кистью или распылением	Разового применения, снимается щеткой или выгорает	Не удобно
Составы, содержащие: керосин, бензин, органическое масло, камфору, скипидар, лигнин – целлюлоза - вода	Защита металлоконструкций наносится кистью или распылением	Разового применения, снимается щеткой	Не удобно
Силикон – шпатель 200Т: грунтовка содержащая стиролыглат полиэроалкидной смолы, эпоксидный отвердитель, окись железа, пигмент, сульфат, бензин	Защита сопел горелок и металлоконструкций, наносится окунанием, кистью или распылением	Разового применения, снимается щеткой	Не удобно
Покрытие "Vloxide" на основе алюминиевого порошка; графитовая смазка; смазка содержащая: производные целлюлозы, гликоля жирных концентратов; смачивающего состава, фосфорной кислоты	Защита металло конструкций	Разового применения, удаляется щеткой	Не удобно

Таблица 2. Классификация факторов влияющих на защитные покрытия поверхностей сборочно-сварочной оснастки

Наименование фактора	Вид фактора		Характер действия	Степень влияния
	конструкторский	технологический		
Механическое воздействие:				
- материал из которого изготовлена оснастка	+		Систематический	Существенная
- термическая обработка поверхностей оснастки		+	Систематический	Существенная
- величина заусенцев на торцах элементов сварных конструкций		+	Случайный	Малая
- масса собираемых конструкций	+		Систематический	Существенная
- величина перемещения элементов металлоконструкции (путь) при установке и закреплении в приспособлении		+	Систематический	Существенная
Воздействие сварочных брызг:				
- пространственное расположение поверхности относительно сварочной дуги (вертикальное, горизонтальное, под углом)	+		Систематический	Доминирующая
- расстояние поверхности элементов оснастки от сварочной дуги	+		Систематический	Доминирующая
- способ защиты поверхности (вид покрытия)		+	Систематический	Доминирующая
- вид сварки		+	Систематический	Доминирующая
- марка сварочных электродов или проволоки		+	Систематический	Доминирующая
- режим сварки		+	Случайный	Малый
- время воздействия брызг металла на рабочие поверхности оснастки		+	Систематический	Доминирующая
- материал из которого изготавливается оснастка		+	Систематический	Доминирующая
- толщина наносимой пленки защитного покрытия на поверхность оснастки		+	Систематический	Доминирующая

Таблиця 3. Класифікація отказів в процесі сборочно-сварочних операцій

Вид отказа	Характер проявления	Характер изменения
Приработочные. Износ защитной пленки поверхности оснастки при механическом трении (сборке приспособления и установке элементов сварной конструкции)	Изменение толщины защитной пленки, потеря точности приспособления, забоины, задиры. Изменение качественного состояния поверхности, неровность поверхностей	Внезапный (постепенный)
Прогар защитной пленки поверхности при воздействии сварочных брызг	Изменение толщины защитной пленки, сплавление сварочных брызг с поверхностью, контакт сварочного электрода (сварочной проволоки) с поверхностью приспособления, потеря точности сборки приспособления, отсутствие собираемости сопрягаемых деталей оснастки	Постепенный
Прогар защитной пленки, направление металла на поверхности оснастки при зажигании сварочной дуги	Неплотное прилегание элементов металлоконструкции к поверхности приспособления или деталей и узлов приспособления между собой, отсутствие токоподвода, увеличение напряжения и силы тока, пробой и сплавление в местах пробоя	Постепенный (внезапный)

По результатам проведенного анализа установлено, что степень воздействия сварочных брызг зависит от следующих технологических факторов: вида сварки, марки электрода или сварочной проволоки, времени выполнения сварочных операций в течение года работы, расстояния зоны сварки от рабочих поверхностей оснастки, характера расположения поверхностей относительно зоны сварки, вида защитного покрытия, толщины защитной пленки покрытия, марки материала, из которого изготовлены элементы оснастки, класса чистоты поверхностей оснастки.

Степень влияния механического износа зависит от длины пути перемещения элемента оснастки относительно друг друга при сборке в течение года эксплуатации, марок материалов трущихся пар, вида покрытия и толщины покрытия, шероховатости и твердости поверхностей оснастки.

Для определения оптимального состава защитного покрытия из множества известных покрытий, применяемых для защиты специальной и обратимой оснастки были отобраны наиболее надежные и удобные в эксплуатации: твердые смазки на основе дисульфида молибдена –  $MoS_2$  (разработанные Всесоюзным научно-исследовательским институтом нефтяных переработок) – ВНИИ – НП210, ВНИИ НП – 213, ВНИИ НП – 229, ВНИИ – НП – 230, фторорганическая смола – ФБР 74Д, поливинилбунтираль – БФ – 2, графит – кремнийорганическая жидкость.

Одной из основных нерешенных проблем при определении стойкости защитных покрытий воздействию сварочных брызг – это направить полет сварочных брызг в одном направлении для бомбардировки одной и той же элементарной площадки поверхности, что не позволяет определить срок службы покрытия поверхности сборочно-сварочной оснастки. Из существующих видов

покрытий не определен оптимальный состав покрытия обеспечивающий оптимальный срок службы оснастки.

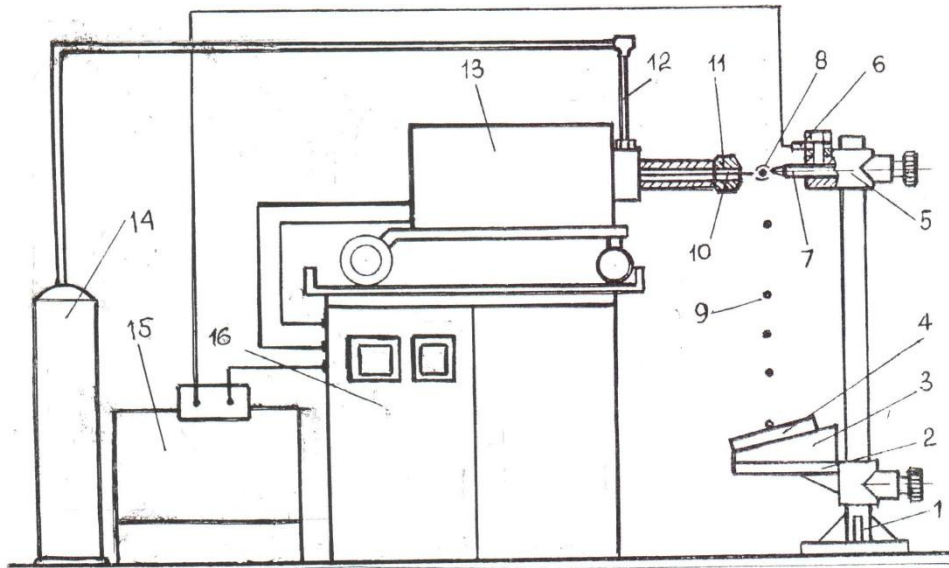
**Цель настоящей работы** – разработка специальной установки позволяющей получить расплавленные капли металла (модель сварочной брызги) образованные в результате сварочного процесса плавки между плавящимися и неплавящимися (вольфрамовый) электродами, а также разработка оптимального защитного покрытия рассчитанного аналитически и экспериментально подтвержденного, обеспечивающего максимальную стойкость воздействию экспериментальным каплям.

С целью определения стойкости существующих защитных покрытий воздействию сварочных брызг была разработана специальная установка (рис. 1) позволяющая моделировать сварочные брызги в виде капель металла, падающих вертикально вниз и бомбардирующих одну и ту же элементарную площадку поверхности образца до полного прогара пленки покрытия.

Покрытия наносились на металлические образцы размерами 150 x 15 x 10 мм методом распыления по соответствующей технологической документации. Толщина покрытия составляла, в среднем, 20 – 25 мкм.

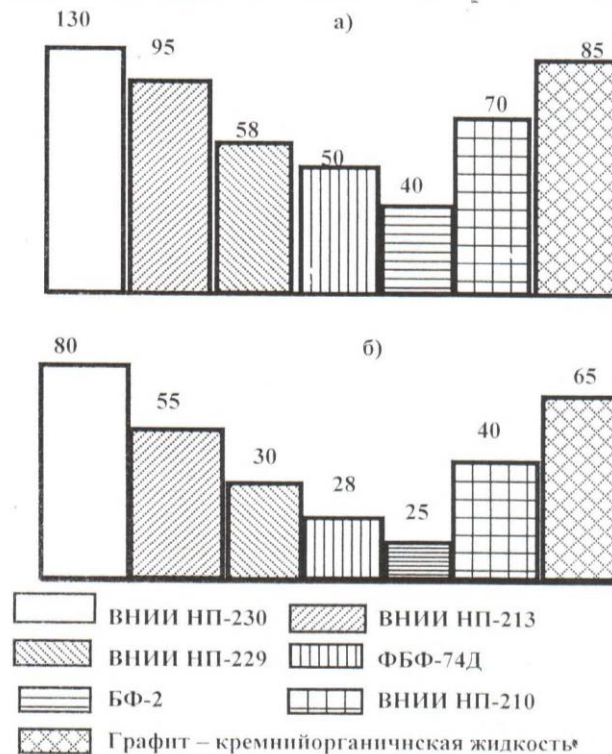
Основным материалом образцов были сталь 20 и чугун ВЧ – 50 – 32, материал из которого, в основном, изготавливают базовые элементы обратимой сборочно-сварочной оснастки.

Образцы с нанесенным покрытием устанавливались на столик экспериментальной установки и подвергались воздействию сварочных капель на двух расстояниях 300мм и 50 мм, соответствующих предпочтительному расположению поверхностей элементов оснастки от сварочной дуги. Результаты экспериментальных исследований приведен на диаграмме (рис. 2).



1 – штатив; 2 – базовый столик; 3 – угловая подставка; 4 – испытуемый образец; 5 – держатель; 6 – токоподвод; 7 – неплавящийся электрод; 8 – сварочная дуга; 9 – капли металла; 10 – плавящийся электрод; 11 – сварочная горелка – электродержатель; 12 – подвод газа, 13 – механизм подачи проволоки; 14 – баллон с Ar.; 15 – сварочный преобразователь; 16 – шкаф управления

Рис. 1. Схема установки для определения стойкости защитных покрытий воздействию сварочных брызг



а) – расстояние испытуемого образца от сварочной дуги 300 мм;

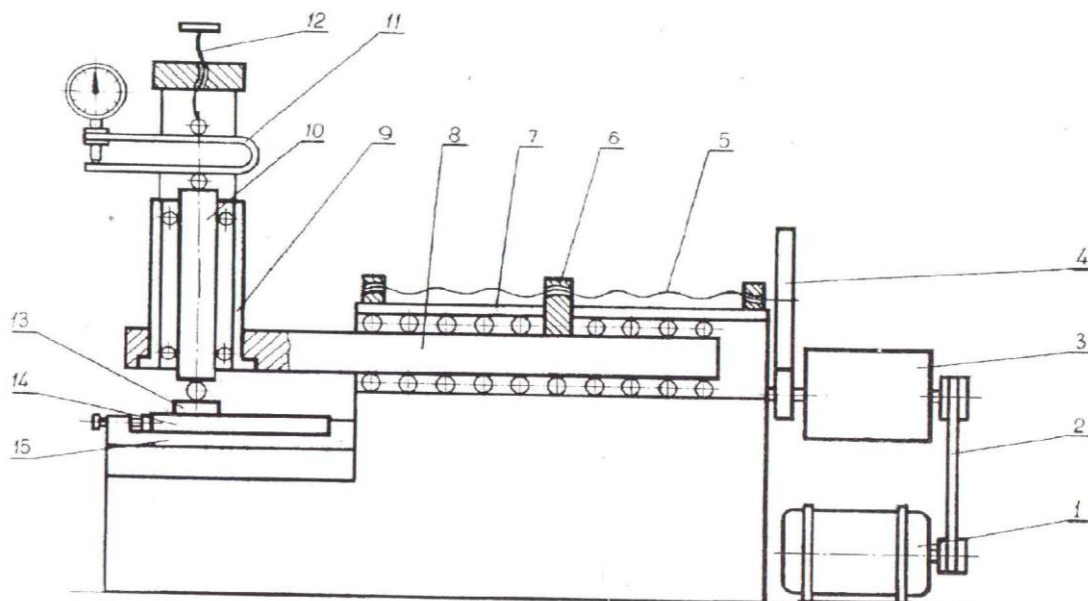
б) – расстояние испытуемого образца от сварочной дуги – 50 мм.

Рис. 2. Диаграмма стойкости защитных покрытий воздействию экспериментальных капель металла

Наиболее стойким оказалось покрытие на основе дисульфида молибдена  $MoS_2$  (ВНИИ – НП – 230).

Марка основного материала, на котором были нанесены покрытия на стойкость пленки существенного влияния не оказывало.

Сравнительные экспериментальные исследования покрытий при механическом перемещении проводились по методу возврата – поступательного скольжения на трёхобразцовой машине трения МИГ – 1 (рис. 3) при удельном давлении 0,5 МПа и скорости перемещения 0,1 м/с (близкими к производственным условиям).



1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – коробка скоростей; 4 – смежные шестерни; 5 – ходовой винт; 6 – гайка; 7 – роликовые направляющие; 8 – ползун; 9 – нагружающая головка; 10 – оправка; 11 – динамометр; 12 – опорный винт; 13 – испытуемый верхний образец; 14 – испытуемый нижний образец; 15 – державка

Рис. 3. Кинематическая схема рабочего узла машины трения МИГ – 1

Лучшие результаты при механическом перемещении показало покрытие ВНИИ – НП – 230. Исследования покрытий на основе  $MoS_2$  (ВНИИ – НП – 210, ВНИИ НП -213, ВНИИ НП – 229, ВНИИ НП – 230) показали, что стойкость их различная и определяется количественным и качественным составами: наполнителя –  $MoS_2$  и пленкообразующего (кремний – органические смолы, силикат натрия или эпоксидного лака) (рис. 4).

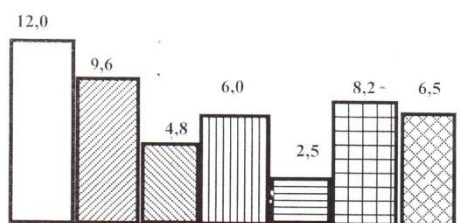


Диаграмма стойкости покрытий (тыс. м) при механическом трении пар трения сталь ст 3 не покрытая (верхний образец) по стали 20 покрытой.

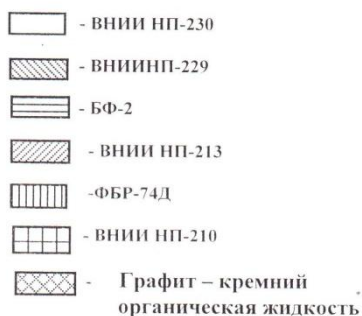


Рис. 4. Диаграмма стойкости покрытий (тыс. м.) при механическом трении пар сталь 3 не покрытая (верхний образец) по стали 20 покрытой (нижний образец)

Из литературных источников [6, 7, 8] известно, что наибольшую стойкость воздействию сварочных брызг имеют покрытия на основе дисульфида молибдена, содержащего в своем составе одну часть наполнителя  $MoS_2$  и две части пленкообразующего (эпоксидного лака). ЭП – 074, разбавленных смесью растворителей.

Учитывая то, что  $MoS_2$  не электропроводный материал, а графит электропроводный, в нашем случае состав покрытия должен быть электропроводный для обеспечения выполнения сварочных операций в оснастке, было принято решение разработать оптимальный состав, не меняя пленко – образующие компоненты, с различным процентным отношением  $MoS_2$  и графита.

Выбор оптимального состава покрытия проводили при помощи метода одномерной минимизации на основе метода Фибоначчи [9].

Состав "G" – определяли аналитически с экспериментальной проверкой полученных результатов. Варьируемыми факторами в данной задаче являлись количество введенного в покрытие дисульфида молибдена  $N_{MoS_2}$  ( $x_1$ ) и графита  $N_c$  ( $x_2$ ). Экспериментальную зависимость для "G" искали в виде функции  $G = \phi(x_1, x_2)$ .

Основные ограничения и условия проведения эксперимента приведены в табл. 4 и 5.

Таблица 4. Ограничения эксперимента

№ п/п	Наименование	Показатели
1	Марка основного материала образца	Сталь 20
2	Шероховатость поверхности	2,5 – 1,25 Ra
3	Толщина покрываемой пленки	от 25 до 30 мкм
4	Расстояние поверхности образца от зоны сварки	120 мм
5	Плавающий электрод и его диаметр	проволока Св 0.8Г2С диаметром 1,6 мм
6	Расположение поверхности образца относительно зоны сварки	под углом 15°

Таблица 5. Условия проведения исследования по определению стойкости покрытий воздействию сварочных брызг

Факторы	Содержание %	
	H <sub>MoS2</sub>	H <sub>c</sub>
Код		
Основной уровень (x <sub>io</sub> )	50	50
Интервал варьирования (Δx <sub>i</sub> )	45	45
Верхний уровень (+)	95	95
Нижний уровень (-)	5	5

Функция "G" является непрерывной функцией по совокупности переменных на прямоугольнике

$$\{(x_1, x_2) | 5 \leq x_1 \leq 95, 5 \leq x_2 \leq 95\}.$$

Факторы связаны зависимостью  $x_1 + x_2 = 100$  поэтому стойкость состава покрытия воздействию капель металла определялась в зависимости от одного фактора  $G = G(x_1, x_2) = G(x_1, 100 - x_1) = \phi(x_1)$

$\phi(x_1)$  - непрерывна на сегменте (5;95).

Экспериментально установлено, что

$$\phi(50) = G(50; 50) > G(5; 95) = \phi(5),$$

$$\phi(50) = G(50; 50) > G(95; 5) = \phi(95).$$

Заменим  $x_1$  на  $x$ , получим  $G(x)$ .

K-ое приближение  $x_k$  точки максимума  $\bar{x}$  одна из точек  $y_k, z_k$  удовлетворяющих условию

$$y_k - a_{k-1} = \epsilon_{k-1} - z_k,$$

где  $a_{k-1}, \epsilon_{k-1}$  – концы отрезка последовательности.

Наибольшую точность определения точки максимума при заданном числе шагов ( $n = 6$ ) и точности  $\epsilon = 5\%$  гарантирует метод Фибоначчи.

Число шагов "n" есть наименьшее число, удовлетворяющее неравенство:

$$F_{n+1} \leq \frac{1}{\epsilon} (\epsilon_o - a_o) \geq F_{n+2},$$

где  $F$  – число Фибоначчи:

$$(F_1 = F_2 = 1, F_n = F_{n-1} + F_{n-2}, n \geq 3),$$

$\epsilon_o$  – окончание исследуемого отрезка сегмента, (95);  $a_o$  – начало исследуемого отрезка сегмента, (5).

Тогда получим:

$$F_{n+1} \leq \frac{1}{5} (95 - 5) \leq F_{n+2} = F_{n+1} \leq 18 \leq F_{n+2},$$

$$F_{n+1} \leq 18 \leq F_{n+2} \text{ или } F_{6+1} < 18 < F_{6+2}.$$

Первый шаг

$$y_1 = a_o + \frac{F_n}{F_{n+2}} (\epsilon_o - a_o),$$

$$z_1 = a_o + \epsilon_o - y_1.$$

Экспериментально определяем  $\phi(y_1), \phi(z_1)$  и получаем:

$$a_1 = \begin{cases} a_o, \phi(y_1) \geq \phi(z_1); \\ y_1, \phi(y_1) < \phi(z_1); \end{cases}$$

$$b_1 = \begin{cases} z_1, \phi(y_1) \geq \phi(z_1); \\ b_o, \phi(y_1) < \phi(z_1); \end{cases}$$

$$x_1 = \begin{cases} y_1, \phi(y_1) \geq \phi(z_1); \\ z_1, \phi(y_1) < \phi(z_1). \end{cases}$$

$k$  – й шаг ( $2 \leq k \leq n$ ).

Пусть известны  $a_{k-1}, \epsilon_{k-1}, \phi(y_{k-1}), \phi(z_{k-1})$ .

Если  $\phi(y_{k-1}) \geq \phi(z_{k-1})$  то вычисляем

$$y_k = a_{k-1} + \epsilon_{k-1} - z_{k-1}.$$

Экспериментально определяем  $\phi(y_k)$  и полагаем

$$z_k = y_{k-1}, \phi(z_k) = \phi(y_{k-1}).$$

Если  $\phi(y_{k-1}) < \phi(z_{k-1})$  тогда полагаем  $y = z_{k-1}$ ,

$$\phi(y_k) = \phi(z_{k-1}).$$

Вычисляем  $z_k = a_{k-1} + \epsilon_{k-1} - z_{k-1}$  и экспериментально определяем  $\phi(z_k)$ .

Теперь можно определить:

$$a_k = \begin{cases} a_{k-1}, \varphi(y_k) \geq \varphi(z_k); \\ y_k, \varphi(y_k) < \varphi(z_k); \end{cases}$$

$$b_k = \begin{cases} z_k, \varphi(y_k) \geq \varphi(z_k); \\ b_{k-1}, \varphi(y_k) < \varphi(z_k); \end{cases}$$

$$x_1 = \begin{cases} y_k, \varphi(y_k) \geq \varphi(z_k); \\ z_k, \varphi(y_k) < \varphi(z_k); \end{cases}$$

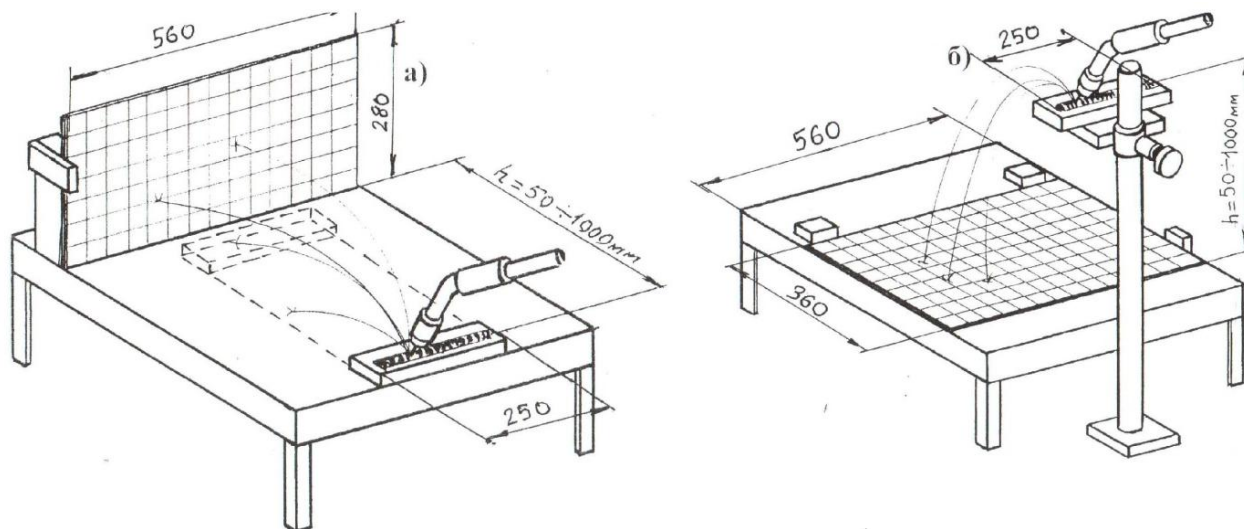
В результате исследований установлено, что наибольшей стойкостью "m" воздействию капель металла ( $300 \pm 4$ ) шт. обладает покрытие, которое содержит в своем составе одну часть наполнителя (75% дисульфида молибдена и 25% графита) и две части эпоксидного лака, разбавленных смесью растворителей до необходимой концентрации [10].

Срок службы данного состава определяли через отношение стойкости "m" к среднему количеству сварочных брызг "N" приходящих на одну и ту же элементарную площадку поверхности сборочно-

сварочной оснастки за определенное время (один год) выполнения сварочных операций.

Значения N исследовали при помощи метода макетирования [11]. Рабочие поверхности приспособлений заменяли листами трансформаторного железа (экранами) с нанесенной координатной сеткой. Габаритные размеры экранов для ручной электродуговой сварки составляли 480x320 мм для полуавтоматической сварки в среде углекислого газа 480x240 мм.

Экраны устанавливали на специальные стеллы (рис. 5) и вдоль экранов, на образцах из стали 3, проплавливали сварные швы длиной 250 мм. Образцы на стенде располагали на расстояниях 60, 120, 240, 360, 480, 600, 720 мм от экранов. Исследовали плотность разбрызгивания металла на вертикальное и горизонтальное расположение экранов. На каждом расстоянии проплавливали по 10 сварочных валиков. Следы от сварочных брызг на экране после каждого наложения сварного шва, переносили на миллиметровую бумагу.



а) – вертикальное расположение поверхности; б) – горизонтальное расположение поверхности

Рис. 5. Схема установки испытываемых поверхностей (экранов) относительно зоны сварки

Десять картин с экранов накладывали на один и тот же лист бумаги. Частоту попадания  $N$  определяли из выражений:

При ручной электродуговой сварке

$$N_{p.d.c} = \frac{t_{p.d.c} \cdot N_{экс.p.d.c}}{t_{экс.p.d.c}}$$

При полуавтоматической сварке в среде углекислого газа

$$N_{CO_2} = \frac{t_{CO_2} \cdot N_{экс.CO_2}}{t_{экс.CO_2}}$$

где  $t_{p.d.c}$ ,  $t_{CO_2}$  – основное время, на протяжении которого проходили сварочные операции Тс, или сборочные (прихватка) (Тп) в течение одного года эксплуатации оснастки;  $t_{экс.p.d.c}$ ,  $t_{экс.CO_2}$  – время, в

течении которого выполнялась 10 – кратная наплавка экспериментального сварного валика длиной 250 мм и равно 3 и 1,5 часа, соответственно для, ручной и полуавтоматической сварке;  $N_{экс.p.d.c}$ ,  $N_{экс.CO_2}$  – среднее количество сварочных брызг, оседающих на элементарную площадку  $\Delta F$  (10x10 мм) из выражения:

$$N_{экс.p.d.c} = \frac{1}{10} \frac{n_{p.d.c} \cdot 100}{1600} F_{бр.p.d.c}$$

$$N_{экс.CO_2} = \frac{1}{10} \frac{n_{CO_2} \cdot 100}{1600} F_{бр.CO_2}$$

где  $n_{p.d.c}$ ,  $n_{CO_2}$  – максимальное количество сварочных брызг, приходящихся на площадку  $F = 40 \times 40$  мм;  $F_{бр.p.d.c}$ ,  $F_{бр.CO_2}$  – среднее значение площади сварочных

брызг, покрывающих поверхность приспособления, зависят от их диаметра и расстояния пролета и колеблются: для ручной дуговой сварки от 1,22 до 8,15 мм<sup>2</sup>; для полуавтоматической в среде CO<sub>2</sub> – от 1,22 до 1,67 мм<sup>2</sup>;

$\frac{1}{10}$ ,  $\frac{100}{1600}$  – значения пересчета для 10 – кратной

наплавки и перехода от  $F = 40 \times 40$  мм к  $\Delta F = 10 \times 10$  м.

Учитывая специфику работы элементов обратимой сборочно-сварочной оснастки, не все элементы участвуют в сборке приспособления, а следовательно, их поверхности не постоянно подвергаются воздействию сварочных брызг при сварке и прихватке при сборке. Были выявлены четыре группы элементов оснастки участвующих в технологическом процессе создания приспособлений поверхности которых работают в одинаковых условиях.

1 группа подвергалась воздействию сварочных при сварке в течение  $T_c = 307,5$  часа и прихватке  $T_n = 101,0$  часа;

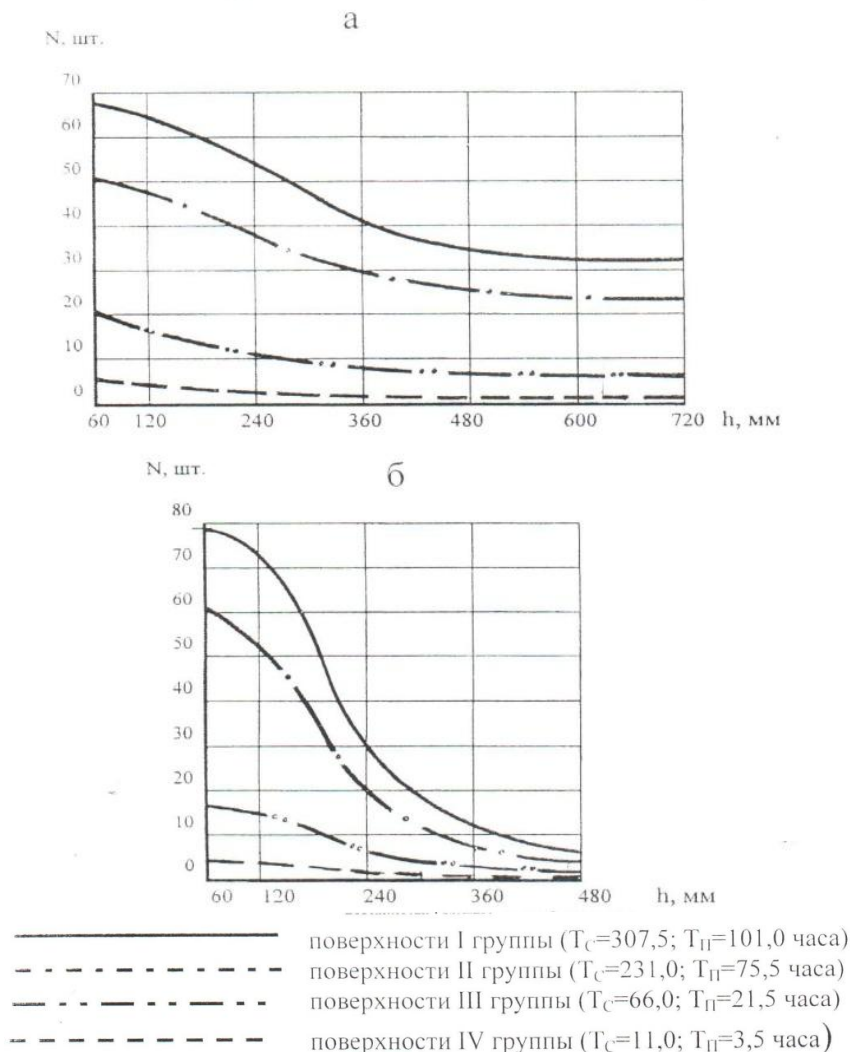
2 группа  $T_c = 231,0$  часа;  $T_n = 75,5$  часа;

3 группа  $T_c = 66,0$  час.;  $T_n = 21,5$  часа;

4 группа  $T_c = 11,0$  час.  $T_n = 3,5$  часа.

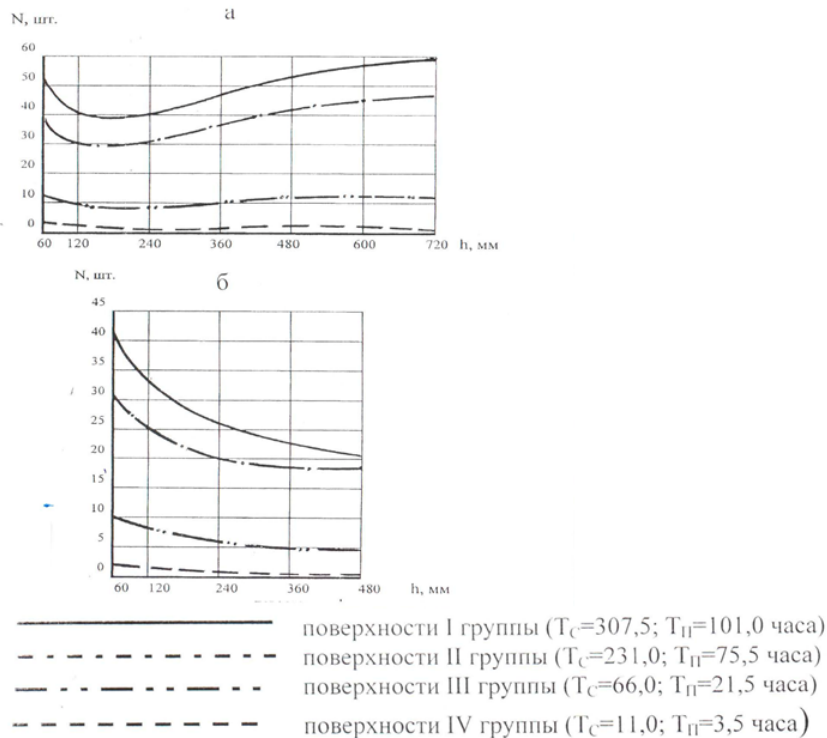
В результате экспериментальных и аналитических исследований были получены графические зависимости сварочных брызг приходящихся на элементарную площадку  $\Delta F$  в зависимости от расположения поверхности (горизонтальное или вертикальное) относительно сварочной дуги, расстояние от сварочной дуги, вида сварки и применении определенной группы элементов оснастки.

При проведении сварочных операций ( $T_c$ ) графики количества сварочных брызг оседающих на элементарную площадку  $\Delta F$  приведены на рис. 6 и 7 а при проведении сборочно-сварочных работ ( $T_n$ ) на рис. 8 и 9.



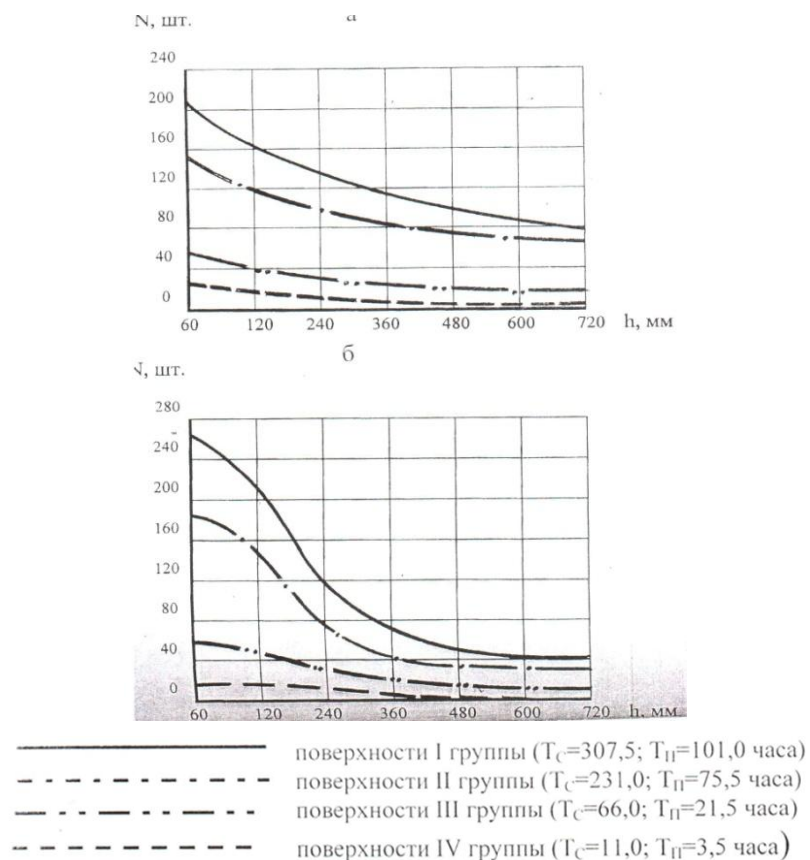
а) – ручная электродуговая сварка электродами УОНИ 13/45; б) – полуавтоматическая сварка в среде CO<sub>2</sub>

**Рис. 6.** Количество сварочных брызг  $N$  оседающих на элементарную площадку  $\Delta F$  расположенную в вертикальном положении при выполнении сварочных операций ( $T_c$ ), на различных расстояния ( $h$ ) от зоны сварки



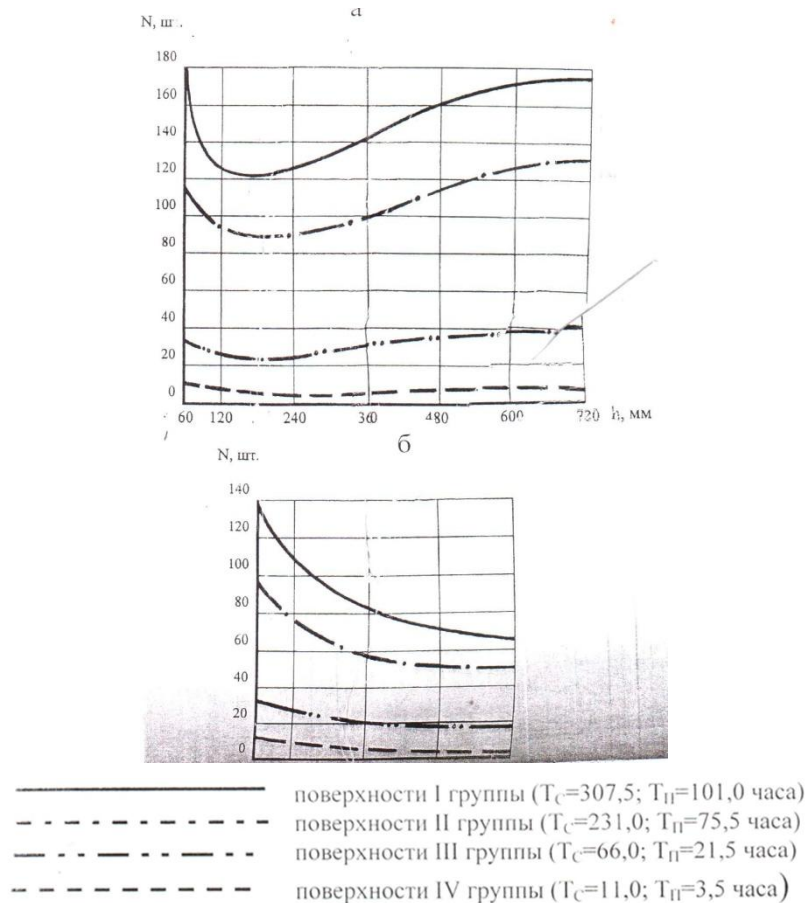
а) – ручная электродуговая сварка; б) – полуавтоматическая сварка в среде  $CO_2$

**Рис. 7.** Количество сварочных брызг  $N$  оседающих на элементарную площадку  $\Delta F$  расположенную в горизонтальном положении при выполнении сварочных операций ( $T_c$ ), на различных расстояния  $h$  от зоны сварки



а) – ручная электродуговая сварка; б) – полуавтоматическая сварка в среде  $CO_2$

**Рис. 8.** Количество сварочных брызг  $N$  оседающих на элементарную площадку  $\Delta F$  расположенную в вертикальном положении при выполнении сборочно-сварочных операций ( $T_n$ ) на различных расстояния  $h$  от зоны сварки



а) – ручная электродуговая сварка; б) – полуавтоматическая сварка в среде  $CO_2$

**Рис. 9.** Количество сварочных брызг  $N$  оседающих на элементарную площадку  $\Delta F$  расположенную в горизонтальном положении при выполнении сборочно–сварочных операций ( $T_n$ ) на различных расстояния  $h$  от зоны сварки

Определив, таким образом количественную вероятность попадания сварочных брызг в одно и тоже место поверхности в течение года эксплуатации ( $N$ ) и предварительно определив стойкость защитного покрытия воздействию экспериментальных капель металла получаемых на экспериментальной установке ( $m$ ), через их отношением находим срок службы ( $t_m$ ) сборочно–сварочной оснастки в зависимости от воздействия экспериментальных расплавленных капель металла при влиянии комплекса технологических факторов:

$$t_{m_{p.d.c}} = \frac{m_{p.d.c}}{N_{p.d.c}}, \quad t_{m_{CO_2}} = \frac{m_{CO_2}}{N_{CO_2}}.$$

В результате экспериментальных исследований и аналитических расчетов было установлено, что срок службы покрытия при влиянии экспериментальной капли металла зависит от:

- вида сварки (ручная электродуговая или полуавтоматическая в среде углекислого газа);
- толщины защитной пленки покрытия;
- группы поверхностей;
- расстояния пролета капли металла от зоны сварки до экспериментального образца;
- расположения поверхности относительно зоны сварки;

и составляет, в среднем, от 3 до 15 лет при одноразовом нанесении покрытия.

Для определения реального срока службы предложенного защитного покрытия от воздействия реальной сварочной брызги, были проведены исследования, где были определены температура экспериментальной капли и температура сварочной брызги. Их отношение позволило получить переводной температурный коэффициент, который показал, что температура сварочной брызги меньше экспериментальной, а следовательно, реальный срок службы предложенного покрытия значительно выше. Данные проведения данных исследований будут приведены в следующей статье.

## Выводы

Рассмотрены вопросы исследования условий эксплуатации сборочно-сварочной оснастки методом математической статистики установлены значимые факторы, определяющие надежность и долговечность рабочих поверхностей: вид покрытия, толщина пленки, марка электродов, марка основного материала оснастки, пространственное расположение поверхностей и их расстояние относительно сварочной дуги.

Анализ состояния вопроса на предприятиях отрасли и литературных источников показал, что существующие защитные покрытия являются покрытиями многоразового нанесения, что вызывает неудобство в эксплуатации и обеспечивает срок службы оснастки с покрытием до 2 лет.

Основным методом повышения надежности и долговечности работающих поверхностей сборочно-сварочных приспособлений является нанесение защитного покрытия, разработанного и представленного в данной статье состава, который содержит одну часть наполнителя ( $75\pm 5\%$  дисульфида

молибдена и  $25\pm 5\%$  графита) и две части эпоксидного лака разбавленных смесью растворителей при 1–2 разовом нанесении, которое обеспечивает срок службы оснастки 6–8 лет. Данные покрытия, обработанные с помощью метода и планирования эксперимента, математической статистики и ЭВМ показали, что стойкость защитных покрытий воздействию сварочных брызг описывается многофакторным линейным полиномом, а стойкость покрытия при механическом трении – кубической параболой.

### Список литературы

1. Роменский В. И., Подобедов В. В. Классификация факторов, влияющих на долговечность сборочно-сварочной оснастки, *Сборник "Вестник" ХГПУ*. 1999. Вып. 63, С. 44–47.
2. Подобедов В. В., Роменский В. И. Состояние перспективы и концепция развития сборочно-сварочной оснастки в машиностроении. *Международный научно-технический сборник. Резание и инструмент в технологических системах ХГПУ*. 2000. Вып. 58. С. 34–38.
3. Жолтневич Н. Д., Подобедов В. В., Роменский В. И. Технологическая оснастка для серийного производства сварных конструкций. *Труды Государственного аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского ХАИ "Авиационно-космическая техника и технология*. 2000. Вып. 14. С. 102–104.
4. Подобедов В. В., Буденный М. М. Определение стойкости защитного покрытия, предохраняющего рабочие поверхности сборочно-сварочной оснастки от воздействия сварочных брызг. *Високі технології в машинобудуванні ХГПУ*. 2000. Вип. 1. С. 194–199.
5. Роменский В. И., Яшков И. О. Разработка параметрической модели для создания модуля автоматизированной сборочно-сварочной оснастки при производстве изделий радиоэлектронного приборостроения. *Технология приборостроения*. 2015. № 2. С. 47–53.
6. Роменский В. И. Исследование надежности и долговечности поверхностей сборочно-сварочных приспособлений для сварочного производства. *Вестник машиностроения*. 1976. № 11. С. 69–70.
7. Роменский В. И., Жолткевич Г. Н. Защита поверхностей элементов универсально – сборных приспособлений для сборочно-сварочного производства. *Научно-технический сборник. Вопросы оборонной техники. Серия XVII*. 1978. Вып. 104. С. 67–71.
8. Роменский В. И., Жолткевич Г. Н. Исследование стойкости защитных покрытий воздействию сварочных брызг и механическому трению. *Производственно – технический бюллетень*. 1981, № 11. С. 33–36.
9. Карманов В. Г. Математическое программирование. М.: Наука, 1975. № 1. 272 с.
10. Подобедов В. В., Роменский В. И., Жолткевич Г. Н. Разработка оптимального состава защитного покрытия предохраняющего рабочие поверхности специальной сборочно-сварочной оснастки от воздействия сварочных брызг. *Вестник ХГПУ*. 2000. № 104. С. 32–37.
11. Подобедов В. В., Роменский В. И. Исследование плотности рассеивания сварочных брызг на рабочие поверхности сборочно-сварочной оснастки при выполнении сварочных операций. *Вестник ХГПУ*. 2000. № 110.
12. Кривов, Г. О., Зворикін, К. О. Виробництво зварних конструкцій. Київ : КВІЦ, 2011. 896 с.
13. Карпенко А. С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві. Київ : «Арістей», 2005. 268 с.
14. Dávid Michal, Peter Košťál, Šimon Lecký and Štefan Václav (2018), "Rationalization of Robotic Workstation in Welding Industry", *Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology*, Vol. 26, Issue 42, P. 159–164. DOI: <https://doi.org/10.2478/rput-2018-0019>
15. Rodriguez et al, (2015), "Procedure for quality inspection of welds based on macro-photogrammetric three-dimensional reconstruction", *Journal of Optics and Laser Technology*, Vol. 73, P. 54–62.
16. Yusof, F., Jamaluddin, M. F. (2014), "Welding Defects and Implications on Welded Assemblies", *Comprehensive Materials Processing*, Vol. 6, P. 125-134. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00605-1>
17. Kah, P. and Martikainen, J. (2012), "CURRENT TRENDS IN WELDING PROCESSES AND MATERIALS: IMPROVE IN EFFECTIVENESS", *Reviews on Advanced Materials Science*, No. 30, P. 189–200.

### References

1. Romenskiy, V. I., Podobedov, V. V. (1999), "Classification of factors affecting the durability of assembly and welding equipment" ["Klassifikatsiya faktorov, vliyayushchikh na dolgovechnost' sborochno-svarochnoy osnastki"], *Collection "Vestnik" KHPU*, Issue 63, P. 44–47.
2. Podobedov, V. V., Romenskiy, V. I. (2000), "Prospect state and the concept of development of assembly and welding equipment in mechanical engineering. International scientific and technical collection" ["Sostoyaniye perspektivy i kontseptsiya razvitiya sborochno-svarochnoy osnastki v mashinostroyeni"], *Cutting and tooling in technological systems of KHGPU*, Issue 58, P. 34–38.
3. Zholtnevich, N. D., Podobedov, V. V., Romenskiy, V. I. (2000), "Tooling for serial production of welded structures" ["Tekhnologicheskaya osnastka dlya seriynogo proizvodstva svarnykh konstruksiy"], *Proceedings of the State Aerospace University, NOT, Zhukovsky KhAI "Aerospace Engineering and Technology*, Issue 14, P. 102–104.
4. Podobedov, V. V., Budenny, M. M. (2000), "Determination of the resistance of the protective coating protecting the working surfaces of assembly and welding equipment from the effects of welding spatter" ["Opredeleniye stoykosti zashchitnogo pokrytiya,

- predokhranyayushchego rabochiye poverkhnosti sborochno-svarochnoy osnastki ot vozdeystviya svarochnykh bryzg"], *High technology in machine-driven equipment of KSPU*, Vol. 1, P. 194–199.
5. Romenskiy, V. I., Yashkov, I. O. (2015), "Development of a parametric model for creating a module for automated assembly and welding equipment in the manufacture of electronic devices" ["Razrabotka parametricheskoy modeli dlya sozdaniya modulya avtomatizirovannoy sborochno-svarochnoy osnastki pri proizvodstve izdeliy radioelektronnogo priborostroyeniya"], *Instrumentation Technology*, No. 2. P. 47–53.
  6. Romenskiy, V. I. (1976), "Investigation of the reliability and durability of surfaces of assembly-welding devices for welding production" ["Issledovaniye nadezhnosti i dolgovechnosti poverkhnostey sborochno-svarochnykh prispособleniy dlya svarochnogo proizvodstva"], *Bulletin of mechanical engineering*, No. 11, P. 69–70.
  7. Romenskiy, V. I., Zholtkevich, G. N. (1978), "Protection of surfaces of elements of universally prefabricated devices for assembly and welding production" ["Zashchita poverkhnostey elementov universal'no – sbornykh prispособleniy dlya sborochno-svarochnogo proizvodstva"], *Scientific and technical collection. Questions of defense technology. Series XVII*, Issue 104, P. 67–71.
  8. Romenskiy, V. I., Zholtkevich, G. N. (1981), "Investigation of the resistance of protective coatings to the effects of welding spatter and mechanical friction" ["Issledovaniye stoykosti zashchitnykh pokrytiy vozdeystviyu svarochnykh bryzg i mekhanicheskomu treniyu"], *Production - technical bulletin*, No. 11, P. 33–36.
  9. Karmanov, V. G. (1975), *Mathematical programming [Matematicheskoye programmirovaniye]*, Moscow : Nauka, No. 1. 272 p.
  10. Podobedov, V. V., Romenskiy, V. I., Zholtkevich, G. N. (2000), "Development of the optimal composition of the protective coating that protects the working surfaces of special assembly and welding equipment from the effects of welding spatter" ["Razrabotka optimal'nogo sostava zashchitnogo pokrytiya predokhranyayushchego rabochiye poverkhnosti spetsial'noy sborochno-svarochnoy osnastki ot vozdeystviya svarochnykh bryzg"], *Bulletin of KhPGU*, No. 104, P. 32–37.
  11. Podobedov, V. V., Romenskiy, V. I. (2000), "Study of the dispersion density of welding spatter on the working surfaces of assembly-welding equipment during welding operations" ["Issledovaniye plotnosti rasseivaniya svarochnykh bryzg na rabochiye poverkhnosti sborochno-svarochnoy osnastki pri vypolnenii svarochnykh operatsiy"], *Bulletin of KHPTU*, No. 110.
  12. Krivov, G. O., Zvorkin, K. O. (2012), *Manufacture of welded structures [Vyrobnystvo zvarnykh konstruksiy]*, Kyiv : KVIT, 896 p.
  13. Karpenko, A. S. (2005), *Technological Equipment in Welding Production [Tekhnologichna osnastka u zvaryval'nomu vyrobnystvi]*, Kyiv : Aristy, 268 p.
  14. Dávid Michal, Peter Košťál, Šimon Lecký and Štefan Václav (2018), "Rationalization of Robotic Workstation in Welding Industry", *Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology*, Vol. 26, Issue 42, P. 159–164. DOI: <https://doi.org/10.2478/rput-2018-0019>
  15. Rodriguez et al, (2015), "Procedure for quality inspection of welds based on macro-photogrammetric three-dimensional reconstruction", *Journal of Optics and Laser Technology*, Vol. 73, P. 54–62.
  16. Yusof, F., Jamaluddin, M. F. (2014), "Welding Defects and Implications on Welded Assemblies", *Comprehensive Materials Processing*, Vol. 6, P. 125-134. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00605-1>
  17. Kah, P. and Martikainen, J. (2012), "CURRENT TRENDS IN WELDING PROCESSES AND MATERIALS: IMPROVE IN EFFECTIVENESS", *Reviews on Advanced Materials Science*, No. 30, P. 189–200.

Поступила (Received) 20.11.2019

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Роменський В'ячеслав Іванович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харків, Україна; email: [vladyslav.romenskiy@nure.ua](mailto:vladyslav.romenskiy@nure.ua); ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9472-8021>.

**Роменский Вячеслав Иванович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, Харьков, Украина.

**Romenskiy Vjacheslav** – PhD (Engineering Sciences), Senior Researcher – Kharkiv National University of Radioelectronics, Associate Professor of the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine.

**Невлюдова Вікторія Валеріївна** – кандидат технічних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, старший викладач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харків, Україна; email: [d\\_tapr@nure.ua](mailto:d_tapr@nure.ua), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1158-5089>.

**Невлюдова Виктория Валерьевна** – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, старший преподаватель кафедры компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, Харьков, Украина.

**Nevliudova Viktoriia** – PhD (Engineering Sciences), Kharkiv National University of Radioelectronics, Senior Lecturer at the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine.

**Персіянова Олена Юрїївна** – Державне підприємство "Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості", інженер науково-дослідного відділу, Харків, Україна; email: [persikqw@gmail.com](mailto:persikqw@gmail.com); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3578-4653>.

**Персиянова Елена Юрьевна** – Государственное предприятие "Южный государственный проектно-конструкторский и научно-исследовательский институт авиационной промышленности", инженер научно-исследовательского отдела, Харьков, Украина.

**Persyanova Elena** – State Enterprise "Southern National Design & Research Institute of Aerospace Industries", Research Engineer, Kharkiv, Ukraine.

## ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ОСНАСТКИ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ВИРОБІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

**Предметом** дослідження в статті є питання, пов'язані з підвищенням вимог до робочих параметрів і якості виробів. У приладобудуванні, машинобудуванні, оборонної та інших галузях промисловості вироби, які випускаються, в своєму складі мають зварні металоконструкції, виготовлення яких вимагає застосування великої кількості складально-зварювальних пристосувань. Витрати на проектування і виготовлення складально-зварювальної оснастки по трудомісткості досягають 20-25% від загальної суми трудомісткості виготовлення самого виробу. Одним з ефективних способів, які дозволяють зменшити матеріальні та трудові витрати, тобто підвищення її довговічності і надійності. З огляду на особливі умови експлуатації даної оснастки (присутність зварювальних бризок), довговічність її роботи залежить від методів захисту робочих поверхонь оснастки. **Метаю** є розробка технологічних методів підвищення терміну служби складально-зварювальної оснастки на основі досліджень надійності та довговічності захисних покриттів, які захищають робочі поверхні пристосувань з урахуванням впливу комплексу технологічних факторів. **Завдання:** вивчення умов експлуатації складально-зварювальної оснастки з метою визначення основних чинників, які визначають надійність і довговічність оснастки, визначення відмов у процесі експлуатації; дослідження надійності існуючих захисних засобів з метою визначення напрямку по розробці оптимального складу покриття, розробка оптимального складу захисного покриття, стійкого до впливу зварювальних бризок і зносу при механічному терті елементів металоконструкцій щодо поверхонь оснастки. Отримано наступні **результати:** У статті представлені дані дослідження авторами існуючих засобів захисту поверхонь складально-зварювальних пристосувань, розроблено класифікатор основних факторів, що впливають на надійність і довговічність складально-зварювальної оснастки і класифікатор відмов в процесі експлуатації оснастки. **Висновки:** Розроблено методологію щодо визначення стійкості захисних покриттів від впливу зварювальних бризок і механічного переміщення елементів зварних конструкцій.

**Ключові слова:** складально-зварювальна оснастка; захисні покриття; зварювальні бризки; товщина захисної плівки; відстань поверхні від зони зварювання; види зварювання; довговічність; стійкість покриття.

## TECHNOLOGICAL METHODS OF IMPROVING THE RELIABILITY OF STORAGE AND WELDING EQUIPMENT IN THE PRODUCTION OF RADIO-ELECTRONIC DEVICE PRODUCTS

The **subject** of the study in the article is the increasing requirements for working parameters and product quality. In instrument-making, mechanical engineering, defense and other industries manufactured products are composed of welded metal structure. Manufacture of these products requires the use of a large number of assembly and welding devices. The cost of labor intensity on design and manufacture of assembly and welding equipment reach 20–25% of the total labor intensity of manufacturing the product itself. One of the effective ways to reduce material and labor costs is to increase its durability and reliability. Taking into account the special conditions of use of this equipment (the presence of welding splashes), the durability of its operation depends on the methods of protection of the working surfaces of the equipment. The **goal** is to develop technological methods for increasing the life of the assembly and welding equipment based on studies of the reliability and durability of protective coatings that protect the working surfaces of devices, taking into account the impact of a set of technological factors. **Objectives:** to study the operating conditions of the assembly and welding equipment in order to determine the main factors that determine the reliability and durability of the equipment, determine the failures in the process of operation; investigation of the reliability of existing protective equipment in order to determine the direction of development of the optimum coating composition, the development of the optimal composition of the protective coating, resistant to the influence of welding splashes and wear during mechanical friction of the structural elements relative to the surfaces of the equipment. The following **results** were obtained. The article presents the research data of the authors of existing means of protection of surfaces of assembly and welding devices, the classifier of the main factors influencing reliability and durability of assembly and welding equipment and the classifier of failures in the course of equipment operation are developed. **Conclusions:** A methodology for determining the stability of protective coatings against the influence of welding splashes and mechanical movement of elements of welded structure has been developed.

**Keywords:** assembly and welding equipment; protective coatings; welding splashes; thickness of the protective film; distance of surface from welding zone; types of welding; durability; stability of the coating.

### *Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions*

Роменський В. І., Невлюдова В. В., Персіянова О. Ю. Технологічні методи підвищення надійності складально-зварювальної оснастки при виробництві виробів радіоелектронного приладобудування. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2019. № 4 (10). С. 120–133. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.120>.

Romenskiy, V., Nevliudova, V., Persiyanova, E. (2019), "Technological methods of improving the reliability of storage and welding equipment in the production of radio-electronic device products", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 120–133. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.120>.

M. MOZHAIEV, N. KUCHUK, M. USATENKO

## THE METHOD OF JITTER DETERMINING IN THE TELECOMMUNICATION NETWORK OF A COMPUTER SYSTEM ON A SPECIAL SOFTWARE PLATFORM

Relevance of the study: When choosing a platform, the quality criteria for computer system service depend significantly on the parameters of the basic telecommunications network. Therefore, the telecommunications network has strict requirements. In addition, the network must satisfy a number of constraints that are set by the computer system. Only the fulfillment of these conditions will allow the computer system to solve its tasks. Also, when constructing, modifying and operating telecommunication networks, there is a rather common problem with no digital signal processing, network synchronization and stability. The tasks of ensuring temporary requirements for system transactions: it is necessary to find the most significant QoS parameters that allow dynamic network reconfiguration to ensure the fulfillment of temporary requirements for system transactions. **Subject** of study: jitter of the telecommunication network. The **purpose** of the article is to develop a method of prompt calculation of jitter values of a telecommunication network for dynamic adjustment of network parameter. **Results** of the study: The analysis of the influence of nonstationarity of data transmission in the telecommunication subsystem of the investigated computer system was carried out. The classification of jitter and causes leading to its occurrence has been made. The results of the analysis of the factors that improve the quality of data transmission in the network due to the operational jitter frequency calculation are presented. Researches of the resolution characteristics of coherent acousto-optic spectro-analysers are carried out in the work. Analytical ratios for the output signal were obtained for two monochromatic radio signals at the input, taking into account the effects of nonlinear interaction of the output signals and the a priori dependence of the location and width of the diffraction spot on the frequency of the investigated signal. The most significant qualitative and quantitative characteristics of frequency separation are shown in the example of two monochromatic signals, which differ only in carrier frequencies. These analytical ratios were experimentally verified by simulation of the system. **Conclusions.** As a result of the research, a method of increasing the resolution of acousto-optic spectro analyzers was proposed due to the features of coherent signal interaction in the frequency jitter computation process. It is based on the method of operative calculation of jitter value of telecommunication network, which allows performing dynamic adjustment of network parameters.

**Keywords:** computer system; telecommunication network; jitter.

### Introduction

Computer systems find applications in diverse spheres of human society: industry, business, science and education, finance and infrastructure projects, construction and law enforcement. Depending on the purpose of the system, the appropriate software platform is selected for its construction. Such a platform defines the behavior of the underlying telecommunications network. In particular, such platforms are currently popular: cloud, converged, hyper-converged. When choosing a platform, the quality criteria for computer system service depend significantly on the parameters of the underlying telecommunications network. Therefore, stringent requirements are set before the formed telecommunication network. In addition, the network must meet a number of limitations that are imposed by the computer system. Only the fulfillment of these conditions will allow the computer system to solve its tasks. Also, the construction, modification and operation of telecommunications networks raise a fairly common problem with digital signal processing, network synchronization and its stability.

### Problem statement

In the course of functioning of the computer system on the special software platform the task is set to fulfill the temporary requirements for system transactions. This task becomes most significant when choosing centralized control platforms (converged and hyper converged) [1, 2]. The query execution time depends on both the quality of

service (QoS) parameters of the underlying telecommunications network and the architecture of the computer system. However, in systems with centralized control, the effect of architecture is much smaller. Thus, the task of securing system transaction temporary requirements can be formulated as follows: it is necessary to find the most essential QoS parameters that allow for dynamic network reconfiguration to ensure compliance with system transaction temporary requirements.

### Literature analysis

An analysis of the influence of telecommunication network parameters on the quality of service (QoS) has been the subject of many scientific papers [3–21]. So, in [3–6] the influence of channel capacity was studied. In [7, 8], the influence of network architecture is analyzed. In [4, 5], the main emphasis is placed on the architecture of a computer system. In [9–12], packet queues were analyzed. A complex approach for QoS analysis was proposed in [13, 14]. In addition, there is a separate question about the relationship of QoS indicators and the fulfillment of the requirements for transactions of a computer system [15–20]. In [21], the basic parameters of the basic telecommunication network that affect the quality of transaction execution of a computer system are identified. In particular, it has been shown that when choosing special platforms with centralized control (convergent and hyper converged), the importance of jitter plays an important role. Jitter is the least researched parameter in telecommunication networks. The quality of dynamic reconfiguration of telecommunication network

parameters, in particular, is determined by the accuracy of determining the jitter value.

### Purpose of the article

The aim of the article is to develop a method for the operational calculation of the jitter of a telecommunication network for dynamic reconfiguration of network parameters.

#### 1. Jitter – Signal Approach

The object of study is jitter (phase jitter), the phenomenon of phase modulation of the received signal (both analog and digital). Currently, two approaches to determining jitter are most widely used - in terms of phase and in terms of frequency. It is known that the frequency and phase parameters are connected by a simple relation, i.e. both approaches are equivalent. The description of jitter as the phase instability of the received digital signal is most often used in theoretical studies. This led to the emergence of definitions of jitter as phase fluctuations. But in practice, there are objective difficulties in measuring the phase. Therefore, an applied representation of jitter appeared as a variation in the frequency of the received signal. In this representation, the amplitude and frequency of the received signal become the main parameters of the jitter.

Recently, much attention has been paid to the use of optical methods in the analysis of data of various natures [22–24], which is due to the specific capabilities of such methods: parallel processing, high speed and frequency of optical signals, etc.

These capabilities are realized, for example, in modern acoustic-optical spectrum analyzers, which are distinguished by the simplicity of design and parallel processing of signals in a wide frequency band and in almost real time [22]. Using the advantages of non-search spectral analysis and expanding the band of simultaneously analyzed frequencies in acoustic-optical spectrum analyzers necessitates a deeper analysis of their resolution.

In most studies on the resolution of acousto-optic spectrum analyzers, these studies are carried out using the Rayleigh criterion [22, 23]. This happened historically, by analogy with the resolution of most optical instruments, for example, telescopes. But unlike the study of natural sources of radiation, for example, stars whose radiation is incoherent, in acoustic-optical spectrum analyzers, coherent laser radiation is used. Estimates of the resolution, carried out by the Rayleigh criterion [23], show that when a signal  $\Delta f/f \approx 0,01$  is detuned, the pulses are no longer distinguishable, regardless of the signal delay time.

Thus, the resolution of acoustic-optical spectrum analyzers, based on the application of the Rayleigh criterion, is much less than the potential resolution of the measuring system, which, as is known from the general theory of radar, is determined by the pulse width  $\Delta f = 1/\tau_u$  or the diffraction grating parameters of the spectrum analyzer.

#### 2. Analysis of the causes of jitter and methods for its measurement

Measuring jitter parameters is becoming increasingly important throughout the life cycle of digital systems. Currently, the development and implementation of new standards for fast data transfer (such as InfiniBand, PCI Express, 10-Gigabit Ethernet, etc.) is underway with data transfer rates exceeding and significantly 1 Gb/s. At these speeds, given the analog nature of the signal, to ensure the reliability of the signal, it is necessary to allocate a significant part of the computing resource. Obtaining a trustworthy result is possible when performing rather complicated procedures for setting up the corresponding elements of a telecommunication network.

For more accurate jitter measurements, it is necessary to analyze the nature of the occurrence of this effect and its classification.

Most often, jitter is caused by amplitude and phase noise, both internal and external origin.

Usually, jitter is divided into two main classes: random (random jitter - RJ) and regular (deterministic jitter - DJ). Random jitter is caused by stochastic noise processes that exist in the entire elemental base and components of a telecommunication system. For a random jitter, the Gaussian distribution is believed to be valid. Therefore, such a jitter is characterized by well-known statistical values: average value and standard deviation. Random jitter is a consequence of such physical processes as: - thermal noise (thermal noise) - is caused by the flow of electrons in the conductors and increases with increasing bandwidth, temperature and thermal resistance; - shot noise (shot noise) - the noise of electrons and holes in semiconductors, which increases depending on the bias current and the measured frequency band; - flicker noise - noise whose spectrum is inversely proportional to frequency, the so-called pink noise.

Regular jitter is caused by the influence on the signal of the processes occurring in the equipment of a telecommunication system, and it can also appear depending on the methods of representing the transmitted data. System jitter depends on the characteristics of the digital system.

Examples of system jitter sources:

- crosstalk from emitted or transmitted signals;
- the effect of dispersion during signal propagation;
- mismatch of resistances.

The dependence of the appearance of jitter on the method of presenting data is most significant when the coding scheme or other characteristics of the transmitted data cause network jitter, which appears on the receiver side. Sources of data-dependent jitter are:

- intersymbol interference;
- distortion of the duty cycle of the pulse sequence;
- periodicity of a pseudo-random binary sequence.

The study of jitter in the frequency domain allows us to determine the main causes that caused it. Sources of deterministic jitter can be determined by analyzing the line (discrete) spectrum of the received signal. When analyzing the frequency spectrum, phase noise or jitter spectrum studies are carried out. In this case, the jitter is related to the frequency shift of the received signal

relative to its carrier frequency. Studies of phase noise make it possible to provide the most accurate jitter estimate due to the significantly higher signal sampling frequency and the ability to control the frequency band. It is easy to determine the deterministic jitter by the peaks in the spectrum using crystal oscillators with phase-locked loop.

Another method for studying frequency jitter is to use the fast Fourier transform (FFT). The FFT method is not as accurate as to measure weak phase noise, but it is not replaceable if you need to quickly and easily view significant processes.

In general, differentiation of jitter into components is not a way to determine it, but it is important in the practical field - both for finding the causes of malfunctions and for assessing the reliability of development. If it is possible to isolate deterministic jitter, and then to calculate the trend of the standard deviation of random jitter, then it will be possible to estimate the bit error rate (BER) and determine the boundaries of the system's performance without using the lengthy measurements that are required to determine the BER with an accuracy of about 10-12 at 95% certainty.

The easiest way is to evaluate the jitter according to the eye diagram. An eye diagram is a summary view of all bit periods of a measured signal superimposed on one another. Fig. 1 shows a histogram of the transition region of the eye diagram.

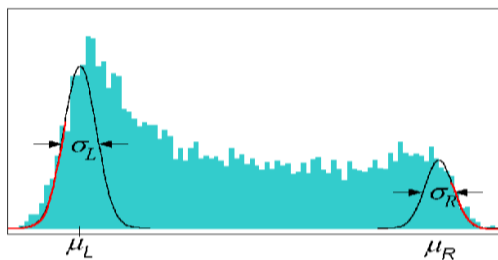


Fig. 1. Histogram of the transition region of the eye diagram

$$E_1(x_1, t) = Ar(x_1) \cdot s\left(t - \frac{x_1 + D/2}{v}\right) \exp\left[i(\omega_L t - k_L z_1 + k_L x_1 \operatorname{tg} \theta)\right], \quad (1)$$

where  $A$  characterizes the modulating effect of an acoustic wave on laser radiation passing through an acoustic-optical modulator.

In the output plane of the acoustic-optical spectrum analyzer, the field will be written as

$$E_2(x_2, t) = \int dx_1 E_1(x_1, t) \exp\left(i \frac{2\pi}{\lambda F} x_1 x_2\right). \quad (2)$$

Using expression (1), formula (2) can be transformed to

$$E_2(x_2, t) = Av \exp(-i\omega_x T/2) \int_0^T d\tau \exp(i\omega_x \tau) \cdot s(t - \tau), \quad (3)$$

where the negligible factor  $\exp[i(\omega_L t - k_L z_1)]$  is omitted and the designation  $\omega_x = v \left( \frac{2\pi}{\lambda F} x_2 + k_L \operatorname{tg} \theta_i \right)$  is

Along the edges of the diagram, random jitter has the greatest impact, while deterministic jitter components dominate in the center. To determine the parameters of random jitter along the edges of the histogram, you need to "enter" the graphs of the Gauss function and calculate the statistical characteristics of the random process (mathematical expectation and variance) from them.

Thus, the quality of determining jitter in the frequency representation requires improving the accuracy of measuring the frequency of the received signal, which, in turn, necessitates increasing the resolution of modern spectrum analyzers. At present, acousto-optic spectrum analyzers are widely used, which make it possible to determine the spectrum of the signal under investigation with high speed. At the same time, for measuring jitter, as noted above, the high resolution capability of this device is important. Further research will be devoted to assessing the resolution of acousto-optic spectrum analyzers taking into account coherent interaction.

### 3. Basic relationships and formulations

The structural diagram of the spectrum analyzer, together with the main analytical relationships characterizing the processes occurring in acoustic-optical spectrum analyzers, are quite fully described in [22]. We use these data to formulate the problem of studying the interaction of two monochromatic radio signals of close frequency and determining the limiting values of the resolution of acousto-optic spectrum analyzers.

We assume that the input of the analyzer receives a radio signal  $s(t)$ , which is converted into a traveling acoustic wave  $r(x_1) \cdot s\left(t - \frac{x_1 + D/2}{v}\right)$  propagating with a speed  $v$ . In the linear approximation, the field of the light wave of the first diffraction order is represented as

introduced, and  $T = \frac{D}{v}$  - the duration of the time sample corresponding to the time aperture  $D$ . In the formula (3) and everywhere below, the dependence of the field  $E_2$  on  $x_2$  by  $\omega_x = \omega(x_2)$  is clearly reflected.

### 4. Resolution of two monochromatic radio signals

Let two monochromatic radio signals of unit amplitude, but with different carrier frequencies, simultaneously arrive at the input of a nonlinear analyzer  $\omega_a$  ( $a = 1, 2$ ):

$$S(t) = S_1(t) + S_2(t),$$

$$\text{where } S_a(t) = \sin(\omega_a t + \phi_a). \quad (4)$$

Substituting (4) into (3) gives:

$$E_2(\omega_x, t) = E^{(1)}(\omega_x, t) + E^{(2)}(\omega_x, t), \quad (5)$$

where the term  $E^{(a)}(\omega_x, t)$  is the corresponding response to the  $a$ -th input radio signal ( $a = 1, 2$ ).

Thus, taking into account the nonlinearity of the elements of the recording device, and also by virtue of (5), the total recorded signal can be written in the form

$$U(\omega_x, t) = U_1(\omega_x, t) + U_2(\omega_x, t) + U_{1,2}(\omega_x, t), \quad (6)$$

where

$$U_a(\omega_x, t) = |E_2^a(\omega_x, t)|^2 \quad (7)$$

represents the input signal if there is only the  $a$ -th signal at the input, and the third term

$$U_{1,2}(\omega_x, t) = E^{(1)}(\omega_x, t) * \overline{E^{(2)}(\omega_x, t)} \quad (8)$$

arises as a result of interference of the first two (a bar above means complex conjugation). Unlike [23], we did not integrate over time the amplitudes of the received signal. Thus, the features of the acoustic-optical spectrum analyzer as a device in which the coherent signals interact are taken into account.

### 5. Numerical calculations and discussion of the results

The most significant qualitative and quantitative characteristics of frequency resolution can be seen already on the example of two monochromatic signals that differ only in carrier frequencies.

Fig. 2 illustrates the results of the calculation of the output signal using formulas (7), (8) for a significant frequency mismatch of monochromatic radio signals. Obviously, in this case it is possible to resolve the radio signals using the traditional method (for example, [22-24]). The authors are more interested in the magnitude of the diffraction spot  $\Delta\omega_{x1,2}$ . Due to the specific conditions of propagation of radio signals in an acoustic-optical spectrum analyzer, each input signal at a certain frequency corresponds not only to its value  $\Delta\omega_{x1,2}$ , but also to its own width of the diffraction spot  $\Delta\omega_x$ . This can be verified by calibrating an acoustic-optical spectrum analyzer. Thus, it is possible to significantly increase the resolution of the acousto-optic spectrum analyzer, since each independent frequency of the input signal corresponds to two independent parameters.

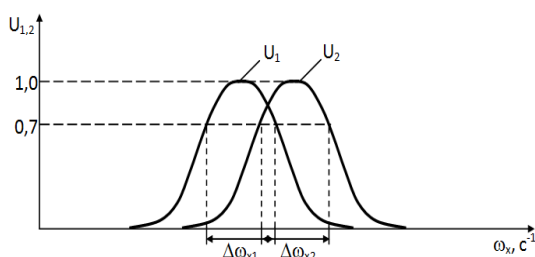


Fig. 2. The output signal with a large value of the detuning of the carrier frequency

Fig. 3 presents the results of calculations of the output signal with a small value of the frequency detuning of the input radio signals.

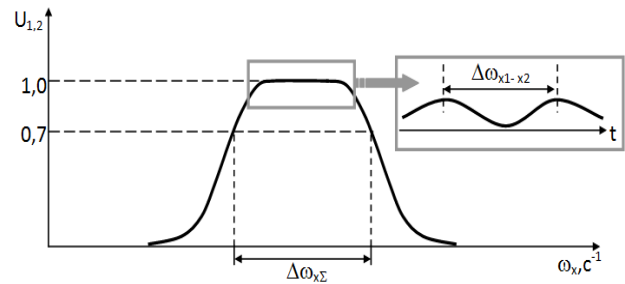


Fig. 3. The output signal with a small value of the mismatch of the carrier frequency

The main difference between these calculations and those performed in [24] is that in the common part of two radio signals at different frequencies, fluctuations in the amplitude of the output signal with frequencies much lower than the carrier frequencies of the monochromatic radio signals under study can be detected. Calculations (7), (8) were performed without integration over time, which made it possible to detect, determine and identify beats, i.e. oscillations at combination frequencies, which is impossible under the assumptions on which previous studies were based. Then, by measuring and analyzing the values  $\Delta\omega_{x\Sigma}$  and frequencies of the beats  $\Delta\omega_{x1-x2}$ , it is possible to significantly increase the frequency resolution of the acoustic-optical spectrum analyzer.

For this, it is necessary, firstly, from time to time to calibrate the acousto-optic spectrum analyzer as  $\Delta\omega_x = f(s(t))$ , that is, as a function of the input signal, as well as to allocate the maximum value of the carrier frequency detuning (beats). This algorithm can make it possible to approximate the limiting values of the frequency resolution of radio signals by acoustic-optical spectrum analyzers to the predicted by the general theory of radar.

As a result of the studies conducted in this work, a method was proposed for increasing the resolution of coherent acousto-optic spectrum analyzers due to the peculiarities of coherent signal interaction. Using a method for increasing the resolution of acousto-optic spectrum analyzers due to the peculiarities of coherent interaction of signals in calculating jitter will significantly increase control over the quality of signal transmission over data transmission channels of a telecommunication network, which will undoubtedly provide the prerequisites for improving the quality indicators of the entire computer system. The proposed method for the operational calculation of the jitter value of a telecommunication network will allow for dynamic reconfiguration of network parameters.

### Conclusions

The article analyzes the influence of non-stationary data transmission in the telecommunication subsystem of the investigated automated system. The role of jitter on

the quality of information transfer in a telecommunication network is investigated. The classification of jitter and the reasons leading to its occurrence are carried out. The results of the analysis of factors improving the quality of data transmission in the network due to the on-line calculation of frequency jitter are presented. The paper studies the resolution features of coherent acousto-optic spectrum analyzers. Analytical relations are obtained for the output signal with two monochromatic radio signals at the input, taking into account the effects of nonlinear interaction of the output signals and the a priori dependence of the location and width of the diffraction spot on the frequency of the signal under study. The given analytical relationships were experimentally verified by simulation of the system. The simulation results

confirmed their agreement with the previously obtained theoretical ones. As a result of research, a method was proposed for increasing the resolution of acoustic-optical spectrum analyzers due to the peculiarities of coherent interaction of signals in the process of calculating frequency jitter. On its basis, a method has been developed for the operational calculation of the jitter of a telecommunication network, which allows dynamic reconfiguration of network parameters.

It is advisable to devote further research to studying methods for increasing the resolution of acousto-optic spectrum analyzers to the theoretically maximum possible limits using optimal signal processing methods. This will improve the quality of dynamic reconfiguration of network parameter.

## References

1. Merlac, V., Smatkov, S., Kuchuk, N., Nechausov, A. (2018), "Resources Distribution Method of University e-learning obtained on the Hyperconvergent platform", *Conf. Proc. of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Service and Technologies. DESSERT 2018. Ukraine, Kyiv, May 24-27, 2018*, P. 136–140. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409114>
2. Kuchuk, N., Artiukh, R. and Nechausov, A. (2017), "Method of building the semantic network of distributed search in e-learning", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (2), P. 62–69. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.062>
3. Whitt, W. (1983), "The Queuing Network Analyzes", *Bell System Tech. I.*, Vol. 62, No. 9, P. 2779–2815.
4. Kuchuk, G. A. (2007), "Traffic management of multiservice distributed telecommunication network" ["Upravlinnya trafikom mul'tyservisnoyi rozpodilenoymi telekomunikatsionoyi merezhi"], *Management, navigation and communication systems*, Kyiv : TsNII NiU, Issue 2, P. 18–27.
5. Svyrydov, A., Kovalenko, A., Kuchuk, H. (2018), "The pass-through capacity redevelopment method of net critical section based on improvement on/off models of traffic", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 2, P. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
6. Kuchuk, G. A., Kovalenko, A. A., Lukov-Chuiko, N. V. (2017), "A method for minimizing the average packet delay in virtual cloud support network connections" ["Metod minimizatsiyi seredn'oyi zatrymky paketiv u virtual'nykh z'yednannyakh merezhi pidtrymky khmarnoho servisu"], *Management, navigation and communication systems*, No. 2 (42), P. 117–120.
7. Kuchuk, G. A., Ruban, I. V., Davikoza, O. P. (2013), "Conceptual approach to synthesis of information and telecommunication network structure" ["Kontseptual'nyy pidkhid do syntezy struktury informatsiyno-telekomunikatsionoyi merezhi"], *Systems of information processing: collection of scientific works*, No. 7 (114), P. 106–112.
8. Lemeshko, O., Yevdokymenko, M., Yeremenko, O. (2019), "Model of data traffic QoS fast rerouting in infocommunication networks", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (9), P. 6–13. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.9.127>
9. Kosenko, V. (2017), "Mathematical model of optimal distribution of applied problems of safety-critical systems over the nodes of the information and telecommunication network", *Advanced Information Systems*, Vol. 1, No. 2, P. 4–9. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.01>
10. Kovalenko, A., Kuchuk, H. (2018), "Methods for synthesis of informational and technical structures of critical application object's control system", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 1, P. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
11. Zykov, I., Kuchuk, N., Shmatkov, S. (2018), "Architecture synthesis of the computer system of transaction control e-learning", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 3, P. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>
12. Gelenbe, E., Pujolle, G. (2010), *Analysis and synthesis of computer systems* (2nd Edition), *Advances in Computer Science and Engineering : Texts*, Vol. 4, 309 p.
13. Kuchuk, N., Mohammed, A. S., Shyshatskyi, A. and Nalapko, O. (2019), "The method of improving the efficiency of routes selection in networks of connection with the possibility of self-organization", *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, No. 8(1), P. 1–6, DOI: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2019/0181.22019>.
14. Kuchuk, G., Kharchenko, V., Kovalenko, A., Ruchkov, E. (2016), "Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems", *East-West Design & Test Symposium (EWDTs)*, P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/EWDTs.2016.7807655>
15. Mozhaev, O., Kuchuk, H., Kuchuk, N., Mozhaev, M., Lohvynenco, M. (2017), "Multiservice network security metric", *IEEE Advanced information and communication technologies-2017, Proc. of the 2th Int. Conf. Lviv, 2017*, P. 133–136.
16. Kosenko, V. (2017), "Principles and structure of the methodology of risk-adaptive management of parameters of information and telecommunication networks of critical application systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (1), P. 75–81. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.046>
17. Kuchuk, G. A., Kovalenko, A. A., Mozhaev, A. A. (2010), "An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assessment", *Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010.– Kiev: NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, 2010*, P. 158–160.
18. Kliuiev, O., Mozhaiev, M., Uhrovetskyi, O., Mozhaiev, O., Simakova-Yefremian, E. (2019), "Method of forensic research on image for finding touch up on the basis of noise entropy", *2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT 2019 – Proceedings*.

19. Gavrylenko, S. (2019), "Synthesis of identification measurements in the computer system of critical purpose", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (8), P. 36–43. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.8.036>
20. Filimonchuk, T., Volk, M., Risukhin, M., Olshanska, T., Kazmina, D. (2019), The modified information technology for the distribution of resource tasks for cloud computing systems, *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (7), P. 121–129. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.7.121>
21. Davydovskiy, Y., Reva, O., Artiukh, O., Kosenko, V. (2019), "Simulation of computer network load parameters over a given period of time", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (9), P. 72–80. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.9.072>
22. *Optical processing of radio signals in real time*, [Opticheskaya obrabotka radiosignalov v real'nom vremeni], Ed. S.V. Kulakova, Moscow : Radio and communications, 1989, 136 p.
23. Akayev, A. A., Mayorov, S. A. (1988), *Optical methods of information processing* [Opticheskiye metody obrabotki informatsii], Moscow : Higher school, 237 p.
24. Kuchuk, G., Kovalenko, A., Komari, I. E., Svyrydov, A., Kharchenko, V. (2019), "Improving big data centers energy efficiency: Traffic based model and method. Studies in Systems, Decision and Control", *Springer Nature Switzerland AG*, Vol. 171, P. 161–183. DOI: [http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4\\_8](http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8).

Received 20.11.2019

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Можасв Михайло Олександрович** – кандидат технічних наук, Харківський науково-дослідний інститут судових експертиз ім. засл. проф. М.С. Бокаріуса, завідувач лабораторії комп'ютерно-технічних, телекомунікаційних досліджень та досліджень відео-, звукозапису, Харків, Україна; email: [mikhail.mozhayev@hniise.gov.ua](mailto:mikhail.mozhayev@hniise.gov.ua); ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1566-9260>.

**Можасв Михаил Александрович** – кандидат технических наук, Харьковский научно-исследовательский институт судебных экспертиз им. засл. проф. Н.С. Бокариуса, заведующий лабораторией компьютерно-технических, телекоммуникационных исследований и исследований видео-, звукозаписи, Харьков, Украина.

**Mozhaiev Mykhailo** – PhD (Engineering Sciences), Kharkiv SRI Examinations named Dist. prof. N.S. Bokarius, Head of Laboratory on Speech and Audio Computer Engineering and Telecommunication.

**Кучук Ніна Георгіївна** – кандидат педагогічних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри обчислювальної техніки та програмування, Харків, Україна; email: [nina\\_kuchuk@ukr.net](mailto:nina_kuchuk@ukr.net); ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0784-1465>.

**Кучук Нина Георгиевна** – кандидат педагогических наук, доцент, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", доцент кафедры вычислительной техники и программирования, Харьков, Украина.

**Kuchuk Nina** – PhD (Pedagogy Sciences), Associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor of the Computer Engineering and Programming Department, Kharkiv, Ukraine; email: [nina\\_kuchuk@ukr.net](mailto:nina_kuchuk@ukr.net); ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0784-1465>.

**Усатенко Максим Віталійович** – Національний юридичний університет імені Ярослава Мудрого, студент інституту підготовки кадрів для органів юстиції України, Харків, Україна; email: [usatenko@hniise.gov.ua](mailto:usatenko@hniise.gov.ua); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8480-6666>.

**Усатенко Максим Витальевич** – Национальный юридический университет имени Ярослава Мудрого, студент института подготовки кадров для органов юстиции Украины, Харьков, Украина.

**Usatenko Maksym** – Yaroslav Mudryi National Law University, Student of Institute of Training for Justice Bodies of Ukraine, Kharkiv, Ukraine.

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ДЖИТЕРА В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ НА СПЕЦІАЛЬНІЙ ПРОГРАМНІЙ ПЛАТФОРМІ

Актуальність дослідження. При виборі платформи критерії якості обслуговування комп'ютерної системи істотно залежать від параметрів базової телекомунікаційної мережі. Тому перед телекомунікаційною мережею ставлять жорсткі вимоги. Крім того, мережа повинна задовольняти низці обмежень, які поставлені комп'ютерною системою. Тільки виконання цих умов дозволить комп'ютерній системі вирішити поставлені перед нею завдання. Також при побудові, модифікації і експлуатації телекомунікаційних мереж виникає досить загальна проблема щодо цифрової обробки сигналів, синхронізації мережі та її стабільності. Завдання забезпечення часових вимог до системних транзакцій: необхідно знайти найбільш істотні параметри QoS, що дозволяють проводити динамічне переналадження мережі для забезпечення виконання часових вимог до системних транзакцій. **Предмет** дослідження: джитер телекомунікаційної мережі. **Метою** статті є розробка методу оперативного розрахунку значення джитера телекомунікаційної мережі для проведення динамічного переналадження мережевих параметрів. **Результати** дослідження. Проведено аналіз впливу нестационарності передачі даних в телекомунікаційній підсистемі досліджуваної комп'ютерної системи. Досліджено роль джитера на якість передачі інформації в телекомунікаційній мережі. Проведено класифікацію джитера і причин, що призводять до його виникнення. Наведено результати аналізу факторів, що поліпшують якість передачі даних в мережі за рахунок оперативного обчислення частотного джитера. В роботі проведені дослідження особливостей роздільної здатності когерентних акустооптичних спектроаналізаторів. Отримано аналітичні співвідношення для вихідного сигналу при двох монохроматичних радіосигналах на вході, що враховують ефекти нелінійної взаємодії вихідних сигналів і априорну залежність розташування і ширини

дифракційної плями від частоти досліджуваного сигналу. Найбільш суттєві якісні та кількісні характеристики частотного розділення показані на прикладі двох монохроматичних сигналів, що відрізняються тільки несучими частотами. Наведені аналітичні співвідношення були експериментально перевірені за допомогою імітаційного моделювання системи. **Висновки.** В результаті досліджень було запропоновано спосіб підвищення роздільної здатності акустооптичних спектроаналізаторів за рахунок особливостей когерентної взаємодії сигналів в процесі обчислення частотного джитера. На його базі розроблено метод оперативного розрахунку значення джитера телекомунікаційної мережі, який дозволяє провести динамічне перенастроювання мережевих параметрів.

**Ключові слова:** комп'ютерна система; телекомунікаційна мережа; джитер.

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЖИТТЕРА В ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ НА СПЕЦИАЛЬНОЙ ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЕ

Актуальность исследования. При выборе платформы критерии качества обслуживания компьютерной системы существенно зависят от параметров базовой телекоммуникационной сети. Поэтому перед телекоммуникационной сетью ставят жесткие требования. Кроме того, сеть должна удовлетворять ряду ограничений, которые поставлены компьютерной системой. Только выполнение этих условий позволит компьютерной системе решить поставленные перед ней задачи. Также при построении, модификации и эксплуатации телекоммуникационных сетей возникает достаточно общая проблема по цифровой обработке сигналов, синхронизации сети и ее стабильности. Задача обеспечения временных требований к системным транзакциям: необходимо найти наиболее существенные параметры QoS, позволяющие проводить динамическую перенастройку сети для обеспечения выполнения временных требований к системным транзакциям. **Предмет** исследования: джиттер телекоммуникационной сети. **Целью** статьи является разработка метода оперативного расчета значения джиттера телекоммуникационной сети для проведения динамической перенастройки сетевых параметров. **Результаты** исследования. Проведен анализ влияния нестационарности передачи данных в телекоммуникационной подсистеме, исследуемой компьютерной системы. Исследована роль джиттера на качество передачи информации в телекоммуникационной сети. Проведена классификация джиттера и причин, приводящих к его возникновению. Приведены результаты анализа факторов, улучшающих качество передачи данных в сети за счет оперативного вычисления частотного джиттера. В работе проведены исследования особенностей разрешающей способности когерентных акустооптических спектроанализаторов. Получены аналитические соотношения для выходного сигнала при двух монохроматических радиосигналах на входе, учитывающие эффекты нелинейного взаимодействия выходных сигналов и априорную зависимость местоположения и ширины дифракционного пятна от частоты исследуемого сигнала. Наиболее существенные качественные и количественные характеристики частотного разрешения показаны на примере двух монохроматических сигналов, отличающихся только несущими частотами. Приведенные аналитические соотношения были экспериментально проверены посредством имитационного моделирования системы. **Выводы.** В результате исследований был предложен способ повышения разрешающей способности акустооптических спектроанализаторов за счет особенностей когерентного взаимодействия сигналов в процессе вычисления частотного джиттера. На его базе разработан метод оперативного расчета значения джиттера телекоммуникационной сети, который позволяет провести динамическую перенастройку сетевых параметров.

**Ключевые слова:** компьютерная система; телекоммуникационная сеть; джиттер.

### Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Можасв М. О., Кучук Н. Г., Усатенко М. В. Метод визначення джитера в телекомунікаційній мережі комп'ютерної системи на спеціальній програмній платформі. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2019. № 4 (10). С. 134–140. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.134>.

Mozhaiev, M., Kuchuk, N., Usatenko, M. (2019), "The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 134–140. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.134>.

**АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК**

Бакурова А.В.	5
Безкоровайний В.В.	24
Букресєва К.С.	101
Бушуєв Д.А.	77
Бушуєв С.Д.	14
Бушуєва В.Б.	77
Бушуєва Н.С.	77
Васюта К.С.	33
Владов С.І.	44
Гобов Д.А.	24
Грибанова С.А.	44
Гусарова О.В.	44
Заприво́да А.А.	14
Захарченко І.В.	33
Зачко О.Б.	85
Зоц Ф.Ф.	33
Кобилкін Д.С.	85
Ковальчук О.І.	85
Козир Б.Ю.	14
Котляров К.Г.	44
Куропатенко О.В.	24
Кучук Н.Г.	134
Маковейчук О.М.	55
Маслюк І.О.	92
Міхнов Д.К.	69
Міхнова А.В.	69
Можаєв М.О.	134
Момот Т.В.	101
Невлюдова В.В.	120
Пасічник М.С.	5
Персіянова О.Ю.	120
Пилипенко Л.М.	44
Пітерська В.М.	111
Роменський В.І.	120
Савенко К.С.	101
Сінческул І.І.	101
Терещенко Е.В.	5
Усатенко М.В.	134
Чиркова К.С.	69
Шмельов Ю.М.	44

**ALPHABETICAL INDEX**

Bakurova Anna	5
Beskorovainyi Vladimir	24
Bukrieva Karina	101
Bushuiev Denis	77
Bushuyev Sergey	14
Bushuieva Victoria	77
Bushuyeva Nataliya	77
Vasyuta Kostantiv	33
Shmelov Yurii	44
Gobov Denys	24
Hrybanova Svitlana	44
Husarova Oksana	44
Zapryvoda Alina	14
Zakharchenko Irina	33
Zachko Oleh	85
Zots Fedor	33
Kobylkin Dmytro	85
Kovalchuk Oleh	85
Kozyr Boris	14
Kotliarov Kyrylo	44
Kuropatenko Olexij	24
Kuchuk Nina	134
Makoveichuk Oleksandr	55
Masliuk Iryna	92
Mikhnov Dmutro	69
Mikhnova Alina	69
Mozhaiev Mykhailo	134
Momot Tetiana	101
Nevliudova Viktoriia	120
Pasichnyk Mariia	5
Persiyanova Elena	120
Pylypenko Liudmyla	44
Piterska Varvara	111
Romenskiy Vjacheslav	120
Savenko Kseniia	101
Sincheskul Irina	101
Tereschenko Elina	5
Usatenko Maksym	134
Chyrkova Kateryna	69
Shmelov Yurii	44

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**СУЧАСНИЙ СТАН НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА  
ТЕХНОЛОГІЙ В ПРОМИСЛОВОСТІ**

**Щоквартальний науковий журнал**

№ 4 (10), 2019

Відповідальний за випуск *А. А. Коваленко*  
Комп'ютерна верстка *О. Ю. Персіянова*

**АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:**

Україна, 61166, м. Харків, проспект Науки, 14

Тел.: +38 (057) 704-10-51

Веб-сайт: <http://itssi-journal.com>

E-mail: [journal.itssi@gmail.com](mailto:journal.itssi@gmail.com)

---

Формат 60×84/8. Умов. друк. арк. 16,50. Тираж 150 прим.

Відруковано з готових оригінал-макетів в типографії ФОП Андреев К.В.  
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.  
Запис №24800170000045020 від 30.05.2003.

61166, Харків, вул. Серпова, 4, тел. 063-993-62-73  
e-mail: [ep.zakaz@gmail.com](mailto:ep.zakaz@gmail.com)