

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**

№ 1 (7), 2019

No. 1 (7), 2019

*Щоквартальний
науковий
журнал*

*Quarterly
scientific
journal*

Харків
2019

Kharkiv
2019

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

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

Відповідальний секретар
Коваленко Андрій Анатолійович
д-р. техн. наук, доцент

Члени редколегії:

Артиух Роман Володимирович, канд. техн. наук;
Бабенко Віталіна Олексіївна, д-р. екон. наук, канд. техн. наук,
професор;
Безкоровайний Володимир Валентинович, д-р. техн. наук,
професор;
Гопесенко Віктор, д-р. техн. наук, професор (Латвія);
Зайцева Єлена, д-р. техн. наук, професор (Словаччина);
Зачко Олег Богданович, д-р. техн. наук, доцент;
Косенко Віктор Васильович, д-р. техн. наук, доцент;
Костін Юрій Дмитрович, д-р. екон. наук, професор;
Лемешко Олександр Віталійович, д-р. техн. наук, професор;
Лепейко Тетяна Іванівна, д-р. екон. 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);
Пушкар Олександр Іванович, д-р. екон. наук, професор;
Рубан Ігор Вікторович, д-р. техн. наук, професор;
Сетлак Галина, д-р. техн. наук, професор (Польща);
Семєнець Валерій Васильович, д-р. техн. наук, професор;
Соколова Людмила Василівна, д-р. екон. наук, професор;
Терзіян Ваган Якович, д-р. техн. наук, професор (Фінляндія);
Телстов Олександр Сергійович, д-р. екон. наук, професор;
Тимофєєв 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;
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

EDITORIAL BOARD

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

Assistant Editor
Kovalenko Andrey,
Dr. Sc. (Engineering), Associate Professor, Ukraine

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);
Gopayenko Vectors, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Latvia);
Zaitseva Elena, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Slovak
Republic);
Zachko Oleh, Dr. Sc. (Engineering), Associate Professor
(Ukraine);
Kosenko Viktor, Dr. Sc. (Engineering), Associate Professor
(Ukraine);
Kostin Yuri, Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);
Lepeyko Tetyana, Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);
Malyeyeva 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);
Pushkar Olexandr, Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);
Ruban Igor, Dr. Sc. (Engineering), Professor, (Ukraine);
Setlak Galina, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Poland);
Semenets Valery, Dr. Sc. (Engineering), Professor, (Ukraine);
Sokolova Lyudmila, Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);
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);
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

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 № 2 від 22 березня 2019 р.).

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

ЗМІСТ

- 5 **Ахієзер О. Б., Дунаєвська О. І., Шишкін М. А., Бутова О. А., Роговий А. І.**
Використання трикутних моделей нестационарних процесів при моделюванні варіабельності серцевого ритму (eng.)
- 16 **Бодяньський Є. В., Перова І. Г., Жернова П. Є.**
Онлайн нечітка кластеризація потоків даних високої розмірності на основі ансамблів нейронних мереж (eng.)
- 25 **Бологова Н. М., Рубан І. В.**
Дослідження моделей та методів обробки зображень та шляхи вдосконалення технологій розпізнавання маркерів в системах доповненої реальності (eng.)
- 34 **Великодний С. С.**
Метод представлення оцінки реінжинірингу програмних систем за допомогою проектних коефіцієнтів
- 43 **Владов С. І., Шмельов Ю. М., Дерев'яно І. Г., Дєрябіна І. О., Чижова Л. І.**
Ідентифікація зворотної багаторежимної моделі авіаційного двигуна ТВ3-117 на основі нейромережових технологій (eng.)
- 51 **Кадикова І. М., Ларіна С. О., Чумаченко І. В.**
Метод визначення очікувань зацікавлених сторін і їх коригування при стратегічному управлінні програмою проектів
- 59 **Косенко В. В., Гонєєнко В., Персіянова О. Ю.**
Моделі та прикладна інформаційна технологія логістики постачання в умовах коливань попиту (eng.)
- 69 **Литвиненко Д. П., Дорохіна А. А., Артюх Р. В.**
Аналіз інтересів та взаємодії учасників проекту розвитку транспортних систем (eng.)
- 75 **Марценюк В. П., Сверстюк А. С.**
Кібер-фізична модель імуносенсорної системи на гексагональній решітці з використанням різницевої рівняння популяційної динаміки (eng.)
- 85 **Момот Т. В., Ващенко О. М., Тесленко Р. Ю., Момот Д. Т.**
Стратегічний моніторинг зовнішнього середовища в системі забезпечення фінансово-економічної безпеки держави, регіону, суб'єктів господарювання (eng.)
- 93 **Попов А. В., Єлізева А. В., Губка С. О., Кривуля С. В.**
Розробка додатку з інформаційної підтримки логістичних бізнес-процесів будівельних послуг утеплення будинків (eng.)
- 102 **Прокопенков В. Ф., Кожин Ю. Н., Малых О. Н.**
Определение оптимального кольцевого маршрута, проходящего через заданное множество пунктов на карте
- 113 **Чернова Л. С.**
Ключова компетенція як основа управління інноваційними проектами (eng.)
- 121 **Филимончук Т. В., Волк М. А., Казмина Д. Р., Ольшанская Т. И., Рисухин М. В.**
Модифицированная информационная технология распределения заданий на ресурсы для систем облачных вычислений
- 130 **Ястремська О. М., Строкович Г. В.**
Основні тенденції інвестиційно-інноваційної активності суб'єктів господарювання в умовах євроінтеграції (eng.)
- 143 **Алфавітний показник**

CONTENTS

5	Akhiiezer O., Dunaievska O., Shyshkin M., Butova O., Rohoyi A. Use of triangular models of non-stationary processes in modeling variability of heart rhythm
16	Bodyanskiy Ye., Perova I., Zhernova P. Online fuzzy clustering of high dimension data streams based on neural network ensembles
25	Bolohova N., Ruban I. Image processing models and methods research and ways of improving marker recognition technologies in added reality systems
34	Velykodniy S. Method of presenting the assessment for reengineering of software systems with the project coefficients help
43	Vladov S., Shmelov Yu., Derevyanko I., Dieriabina I., Chyzhova L. Identification of rear model of TV3-117 aircraft engine based on the basis of neuro-multi-functional technologies
51	Kadykova I., Larina S., Chumachenko I. Method for determining and adjusting the expectations of stakeholders in the context of strategic management of the project program
59	Kosenko V., Gopejenko V., Persiyanova E. Models and applied information technology for supply logistics in the context of demand swings
69	Lytvynenko D., Dorokhina A., Artiukh R. Analyzing the interests and interaction of the participants of a transport system development project
75	Martsenyuk V., Sverstiuk A. Cyber-physical model of the immunosensor system at the hexagonal lattice with the use of difference equations of the population dynamics
85	Momot T., Vashchenko O., Teslenko R., Momot D. Strategic monitoring of the external environment in the system of ensuring the financial and economic security of the state, region, enterprise
93	Popov A., Yelizyeva A., Gubka S., Kryivulia S. Development of the application for the information support of logistic business processes of the construction services on buildings insulation
102	Prokopenkov V., Kozhyn Yu., Malykh O. Determination of the optimal circular route passing through the given set of points on the map
113	Chernova L. Key competence as a basis for innovation projects management
121	Filimonchuk T., Volk M., Risukhin M., Olshanska T., Kazmina D. The modified information technology for the distribution of resource tasks for cloud computing systems
130	Iastremska O., Strokovykh H. Main trends of investment and innovative activity of business entities in the conditions of european integration
143	Alphabetical index

O. AKHIEZER, O. DUNAIEVSKA, M. SHYSHKIN, O. BUTOVA, A. ROHOVYI

USE OF TRIANGULAR MODELS OF NON-STATIONARY PROCESSES IN MODELING VARIABILITY OF HEART RHYTHM

The **subject** matter is a mathematical model describing the process of heart rhythm variability, which is based on the use of triangular models of non-stationary random processes in the Hilbert space. The **goal** of the research is to develop a mathematical model of non-stationary processes of cardiac activity based on a triangular model. This research was the basis for the development of a Matlab model that implements the proposed method for analyzing heart rate variability. **Tasks** are: to give a description of the variability heart rate as a non-stationary process in Hilbert space in terms of correlation functions; to research the possibility of constructing a correlation and spectral theory of a non-stationary process using triangular models; to synthesize the mathematical model of nonstationary process on the basis of correlation theory for solving mathematical processing and forecasting tasks on the basis of ECG data. Using the proposed mathematical method, we implemented the Matlab model of a heart signal generator, which allowed us to synthesize an ECG with different variability parameters in noisy conditions. **Methods** of mathematical statistics, simulation modeling, theory of random processes and control theory are used in this work. **Results** of this research are as follows: 1) It has been shown that the new approach to the description of the HRV as a random process in the application of the triangular model in the Hilbert space made it possible to obtain expressions for the correlation function. 2) The imitation simulation showed the sensitivity of the method within the 5% error rate under the conditions of different types of influence on HRV. The qualitative assessment of the possibilities of the proposed models to generate artificial ECG provided the possibility of visual analysis by the cardiologist of the identity of the interpretation of real ECG records. The identities of modeling results were checked on time samples of electrocardiographs of 7 patients from open PhysioNet cardiographic libraries on samples with the duration $T = 10$ s. 3) The standard low-frequency oscillations and "white noise" barrier are clearly differentiated on the applied correlation function by the distribution of spectral density power within the frequency range of 0,15–0,3 Hz. **Conclusion.** The simulation results confirmed the correctness of the theoretical conclusions about the possibility of using models based on the representation of non-stationary processes in a triangular Hilbert space.

Keywords: heart rhythm; non-stationary random process; electrocardio signal; correlation function; triangular model; simulation modeling.

Introduction

Currently, one of the topical problems of modern medicine is the development of new methods of mathematical analysis of the aggregate of quantitative characteristics, obtained as a result of registration of certain parameters and that reflect the state of the human body. The need for development of this direction is dictated by the possibility of using the proposed mathematical approach to determine the availability and the degree of various pathological changes, to identify the early stages of the development of any disease.

The basic information on the state of the systems, that regulate the heart rhythm, is enclosed in the "functions of the spread" of the parameters of the cardio signal. One of the methods for assessing the state of the mechanisms of regulation of physiological functions in the human body is the variability of the heart rhythm (VHR) [1]. In case of heart arrhythmia of different origins the use of special mathematical methods for the restoration of the stationarity of the process under research or of specific analytical approaches is required [2–4].

The structure of the heart rhythm includes not only oscillating components in the form of respiratory and non-respiratory waves, but also non-periodic processes (so-called fractal components). The origin of these components of the heart rhythm is associated with the multilevel and non-linear nature of the processes of regulation of the heart rhythm and the presence of transient processes. Thus, the rhythm of the heart is not a strictly stationary random process with ergodic properties [5].

At this time, there is no common methodology in which it is possible to analyze the properties of a non-stationary random process of any type, using its individual implementation. Therefore, stationary random processes are used to analyze non-stationary processes [6, 7]. This highlights the need for the development of special simulation methods, which can only be used for certain classes of non-stationary processes.

Most often these random processes of heart rhythm are unique and can not be repeated under statistically similar conditions. One of the main issues is the study of non-stationary random processes that are considered as functions or sequences in the corresponding spaces, using triangular and universal models. Furthermore, the triangular models give the opportunity to construct some "elementary" non-stationary processes, and, with the help of universal models, to collect from them more general classes of non-stationary random functions or sequences [8].

The objectivity of the interpretation of the variability of the heart rhythm depends on the choice of optimal approaches to the mathematical processing of a numerical array in the form of which it appears. The urgency of the topic is determined by the need to improve the methods of studying the process of forming the heart rhythm and mathematical models that allow the synthesis of artificial electrocardiograms (ECG). The development of the method of generation of artificial electrocardiograms with variations of parameters under one or another random law. This will simulate the ECG with more informativity.

Analysis of literary data and problem statement

The ECG signals can easily be described using three different approaches for any research such as: time domain, frequency domain, and frequency-time domain. The classic approach in electrocardiology is to use techniques for analyzing the time domain of the signal. As a rule, the ECG mathematical models are represented as a Fourier series [9], polynomial functions [10, 11] or by derivatives [12].

Such models determine the ECG value at any given time, often describing each segment or ECG deflection, but they are not always sufficient to describe all features of the ECG signal. In addition, due to a large number of variables, they are quite complex for further implementation.

A more realistic form of cardiac signal is provided by models in which individual elements are approximated by Gaussian functions. The variants of description and approximation of an ECG signal with application of Gaussian pulse and piecewise-specified function have been considered in the work [13].

The proposed mathematical models do not take into account the effect of internal and external perturbations on the heart rhythm, that limits their scope of application.

Some authors use the ECG signal simulation in one-dimensional and two-dimensional planes. The construction of a one-dimensional signal of its phase plane is considered in [14]. The application of this approach allows to analyze both the amplitude and the speed parameters of any elements of the ECG, and to detect deviations in them in comparison with the traditional analysis of the ECS in the time domain. Thereafter, this made it possible to approximate the ECG with interpolation models described in the works [15, 16].

The similar approaches are used in a number of other works. In [17], the model based on the Fourier analysis of the phase plane obtained from two synchronized cardio signals was considered. In [18], the proposed method for describing the dynamic system of the cardio signal by constructing a three-dimensional phase space and equations describes the trajectory of the motion of points in this space.

However, such interpolation models do not take into account the physical and biological features of the pathological states of human cardiovascular and respiratory systems.

The systematization of the results of the above-mentioned studies of the time domain suggests that the existing mathematical models allow to synthesize the cardio signal of a realistic form, considering it to be stationary.

For cases of non-stationary signals, which is a cardio signal, two approaches are used. First, the local Fourier transformation, which is a traditional one, it results in a frequency spectrum of the signal. In this case, the non-stationary signal, as with the stationary, is pre-divided into segments (windows) whose statistics do not change over time. The disadvantage of the Fourier transformation is that frequency components can not be localized over time, that is why it is sometimes impossible to get exhaustive

signal information. The second approach is a wavelet transformation. In this case, the non-stationary signal is analyzed by decomposition of the basic functions obtained from a certain prototype by compression, stretching and shifts [19].

In cases where the heart rhythm is significantly non-stationary, that may be due to random effects, the most appropriate is the use of correlation analysis methods [4].

In this article we propose to use another approach, which is to consider the random process as a curve in a special Hilbert space. [6, 7]. This approach was used in the simulation modeling of non-stationary random processes in the technique [20].

The study of random scalar processes as mathematical objects of a rather complicated nature essentially reduces to the application of already regular functions. This allows the use of a well-designed functional analysis apparatus, in particular the theory of functional analysis and triangular models [21], for constructing a correlation and spectral theory of non-stationary random processes. The essence of the proposed transformation is the variability of cardiointervals as a random variable. With this approach, the correlation function of the dynamic series of cardiointervals for the ideal ECG and the one that is changed by this or that random process is determined.

Given that the cardio signals include deterministic, stochastic and chaotic components, this approach can be used for the analysis and modeling of heart activity processes.

The changing of the heart activity state in functional samples can be monitored visually or automatically using appropriate algorithms that take into account the non-stationarity and the non-linearity of the process. The ECG analysis can have an independent diagnostic and prognostic value. In practice, the repetition of samples is not always possible. Therefore, there is reason to believe that it is important to build a mathematical model of non-stationary process of heart activity, it will allow the simulation modeling of behavior of the heart in a variety of influences, leading to significant variations in its monitored parameter.

Purpose and objectives of the research

The purpose of the work is to develop a mathematical model of non-stationary processes of heart activity based on a triangular model.

To achieve this goal the following tasks were solved:

- give the description of the variability of the heart rhythm as a non-stationary process in the Hilbert space in terms of correlation functions;
- to study the possibility of constructing a correlation and spectral theory of a non-stationary process using triangular models for this;
- to construct a mathematical model of a non-stationary process based on the correlation theory for solving mathematical processing and prediction tasks based on ECG data.

Materials and methods for studying the variability of the heart rhythm. Study of the random process in the Hilbert space

The methods of mathematical statistics, simulation modeling, theory of random processes and control theory are used in this work.

The proposed method of using a triangular model may be used in cases when on the background of monotony of the rhythm there are sudden violations due to recording defects, to the appearance of various noises or to the occurrence of various types of arrhythmias, that can be represented as random processes.

Since the correlation function $K(t, s)$ is the kernel, which determines the random process $\xi(t)$ as a curve in the Hilbert space, the characteristic properties $\xi(t)$ are found in the properties of the function $K(t, s)$. The stochastic process $\xi(t)$ generated by the Cauchy problem is considered in this paper:

$$\begin{cases} \frac{d\xi(t)}{dt} = A(t)\xi(t) \\ \xi(0) = z_0 \end{cases} \quad (1)$$

With certain restrictions on operator $A(t)$, which is convenient to formulate in terms of $K(t, s)$, it is possible to analyze the random process $\xi(t)$. In applied problems they arrive, more often, to partial differential equations for the correlation function $K(t, s)$. In this connection, the classes of non-stationary evolutionarily depicted random processes generated by the equations for correlation functions are of interest, while non-linear evolution operator equations are obtained for the operator $A(t)$. The solution of these equations explicitly gives the possibility to obtain new spectral solutions of some classes of non-stationary random curves.

Since the random process $\xi(t)$ in the Hilbert space H_ξ , then

$$\xi(t) = e^{iAt} \xi(0), \quad (2)$$

so any stationary curve in this space has a representation (2), where A is a self-connected unbounded operator [6, 22].

Suppose $K(t, s)$ satisfies the equation

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial t^2} - \frac{\partial^2}{\partial s^2} \right) K(t, s) = 0. \quad (3)$$

For the ermitian integral of the function $K(t, s)$ we assume that the operator has form $A(t) = iA$. From the definition for the correlation function $K(t, s)$ [6, 22] and expression (2) for the random process $\xi(t)$ we have:

$$\frac{\partial^2 K}{\partial t^2} = \frac{\partial \left(\frac{\partial \langle \xi(t), \xi(s) \rangle}{\partial t} \right)}{\partial t} = \left\langle \left(\frac{dA(t)}{dt} + A^2(t) \right) \xi(t), \xi(s) \right\rangle, \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 K}{\partial s^2} = \left\langle \xi(t), \left(\frac{dA(s)}{ds} + A^2(s) \right) \xi(s) \right\rangle. \quad (5)$$

Then we get the ratio

$$\left\langle \left(\frac{dA}{dt} + A^2(t) \right) \xi(t), \xi(s) \right\rangle = \left\langle \xi(t), \left(\frac{dA}{ds} + A^2(s) \right) \xi(s) \right\rangle. \quad (6)$$

Or

$$\langle B(t)\xi(t), \xi(s) \rangle = \langle \xi(t), B(s)\xi(s) \rangle,$$

where $B(t) = \frac{dA}{dt} + A^2(t)$, which does not depend on t , from the ratio (6) we get self-adjoint operator $B = B^*$, and for $A(t)$ Riccati operator equation [23]:

$$\frac{dA}{dt} + A^2 = B. \quad (7)$$

Taking into account the previous assumptions, for the random process $\xi(t)$ we have a differential equation of second order with a constant operator coefficient:

$$\xi''(t) = \frac{d(\xi'(t))}{dt} = \frac{d(A(t)\xi(t))}{dt} = \left(\frac{dA(t)}{dt} + A^2(t) \right) \xi(t) = B\xi(t). \quad (8)$$

If you use the spectral decomposition and look for a solution of equation (7) in the form of

$$A = \int_{-\infty}^{+\infty} \phi(t, \lambda) dE_\lambda, \quad (9)$$

then for the function ϕ we obtain Riccati scalar equation, the solution of which is a function which depend from the spectrum of the operator the following form $\phi(t, \lambda) = \sqrt{\lambda} \operatorname{th} \sqrt{\lambda} t$ and, so

$$A(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \sqrt{\lambda} \operatorname{th} \sqrt{\lambda} t dE_\lambda, \quad (10)$$

and for the random process $\xi(t)$ from the equation (8) we get the spectral expression

$$\xi(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \operatorname{ch} \sqrt{\lambda} t d\zeta(\lambda), \quad (11)$$

where $d\zeta(\lambda) = dE_\lambda \xi_0$, that is $\zeta(t)$ – the standard curve in space H with orthogonal increments.

From the ratio (9) we have representation for the correlation function $K(t, s)$:

If the operator $B(t) \geq 0$ in equation (8), then $\lambda \in [0, +\infty)$

$$K(t, s) = \frac{1}{2} \int_0^{+\infty} \left[\operatorname{ch} \sqrt{\lambda} (t-s) + \operatorname{ch} \sqrt{\lambda} (t+s) \right] dF(\lambda). \quad (12)$$

If the operator $B(t) \leq 0$, then $\lambda \in (-\infty, 0]$

$$K(t, s) = \frac{1}{2} \int_0^{+\infty} \left[\cos \sqrt{\lambda} (t-s) + \cos \sqrt{\lambda} (t+s) \right] d\tilde{F}(\lambda), \quad (13)$$

where $\Delta F(\lambda) = \langle \zeta(\lambda + \Delta\lambda) - \zeta(\lambda), \zeta(\lambda + \Delta\lambda) - \zeta(\lambda) \rangle$; $\tilde{F}(\lambda) = -F(-\lambda)$.

It should be determined that from the ratio (11), the random process $\xi(t)$ can be represented as the sum of two

orthogonal random processes where $\xi(t) = \xi^{(1)}(t) + \xi^{(2)}(t)$,

$$\xi^{(1)}(t) = \int_0^{+\infty} \text{ch} \sqrt{\lambda t} d\zeta_1(\lambda), \quad \xi^{(2)}(t) = \int_0^{+\infty} \text{ch} \sqrt{\lambda t} d\zeta_2(\lambda).$$

Then, the correlation functions $K(j)(t, s)$, ($j = 1, 2$) are as follows (12) and (13) and

$$\langle \zeta_1(\lambda), \zeta_2(\lambda) \rangle = 0, \quad \forall \lambda \in [0, +\infty).$$

As an example, the case was considered when the operator has the following form:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & i\omega_1 & i\omega_1 \\ -i\omega_1 & 0 & i\omega_2 \\ -i\omega_1 & -i\omega_2 & 0 \end{pmatrix}, \quad (14)$$

where ω_1, ω_2 – some constant values, and $\xi(t) = \{f_1(t), f_2(t), f_3(t)\}$ – three-dimensional vector in spacel^2 . The coordinates $f_j(t)$, ($j = 1, 2, 3$) satisfy the following system of equations:

$$\begin{cases} \frac{df_1}{dt} = -\omega_1(f_1 + f_3) \\ \frac{df_2}{dt} = \omega_1 f_1 - \omega_2 f_3 \\ \frac{df_3}{dt} = \omega_1 f_1 + \omega_2 f_2 \end{cases}. \quad (15)$$

Then we have a matrix representation of the expression $-i \frac{d\xi}{dt} = A \cdot \xi$, the solution of which is a random process of appearance (2).

Since the operator $A(t)$ does not depend on t , then for the operator $B(t)$ we obtain the following form:

$$B(t) = \begin{pmatrix} 2\omega_1^2 & \omega_1\omega_2 & -\omega_1\omega_2 \\ \omega_1\omega_2 & \omega_1^2 + \omega_2^2 & \omega_1^2 \\ -\omega_1\omega_2 & \omega_1^2 & \omega_1^2 + \omega_2^2 \end{pmatrix}. \quad (16)$$

The random process $\xi(t)$ set by the system (15) and the operator $B(t)$ satisfy the equation (8).

If you enter coordinates $f_1(t) = \dot{y}(t)$, $f_2(t) = y(t)$, $f_3(t) = v(t)$, where $v(t)$ – "White noise", that is, oscillation with any frequencies and phases [24], and give the following value to the constants $\omega_1 = \sqrt{\frac{T_2}{2T_1}}$,

$\omega_2 = \sqrt{\frac{2}{T_1^2 T_2}}$, where T_1, T_2 – some time constants of the

dynamic link, then the differentiation of the first line and the substitution in it from the second and third lines of the system (15) gives the equation

$$\ddot{y}(t) = -\frac{T_2}{2T_1^2} \dot{y}(t) + \sqrt{\frac{T_2}{2T_1^2}} \cdot \sqrt{\frac{2}{T_1^2 T_2}} v(t) - \frac{T_2}{2T_1^2} \dot{y}(t) - \sqrt{\frac{T_2}{2T_1^2}} \cdot \sqrt{\frac{2}{T_1^2 T_2}} y(t).$$

$$T_1^2 \ddot{y}(t) + T_2 \dot{y}(t) + y(t) = v(t),$$

which defines the differential equation of the dynamic link of the second order, the correlation function of the random process $y(t)$ is given by the formula (13).

In this case, for the operator A in the expression (2) of the random process $\xi(t)$, the condition holds $I - A^* A = \langle \bullet, g \rangle g$, where g – channel operator vector A .

After taking elemental calculations, we obtain that

$$\frac{\partial^2}{\partial t \partial s} K(t, s) - K(t, s) = -\langle (I - A^* A) \xi(t), \xi(s) \rangle. \quad (17)$$

Since operator A is a quaternary operator of rank $r = 1$, then for formula (17) there is a representation

$$\frac{\partial^2}{\partial t \partial s} K(t, s) - K(t, s) = -\phi(t) \overline{\phi(s)}, \quad \text{where } \phi(t) = \langle e^{iAt} \xi_0, g \rangle.$$

Using the expression of the matrix exponent of the linear bounded operator A [6, 22], we obtain that

$$\phi(t) = -\frac{1}{2\pi i} \oint_{\Gamma} e^{i\lambda t} \langle \xi(0), f(\bar{\lambda}) \rangle d\lambda, \quad (18)$$

$$f(\bar{\lambda}) = (A^* - \bar{\lambda}I)^{-1} g,$$

where Γ – an arbitrary closed loop that covers the whole spectrum of the operator A .

If the model space is implemented as a Hilbert space l_2 , the operator is given as follows:

$$(\mathring{A}f)(k) = \lambda_k f(k) + i \sum_{j=k+1}^N f(j) \beta_j \beta_k \quad (k = \overline{1, N}). \quad (19)$$

Thus, the matrix expression for the operator has the form

$$\mathring{A} = \begin{pmatrix} \lambda_1 & i\beta_1\beta_2 & \dots & i\beta_1\beta_k & \dots \\ 0 & \dots & \dots & i\beta_2\beta_k & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \lambda_k & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}. \quad (20)$$

If you choose in this space the basis $\{h_k\}_{k=1}^{\infty}$: $h_1 = \{1, 0, 0, \dots\}$, $h_2 = \{0, 1, 0, \dots\}$, ... $h_k = \{0, 0, \dots, 0, 1, 0, \dots\}$, ...

Then the function $\phi(t)$ can be represented in the following form:

$$\phi(t) = \sum_{k=1}^{\infty} f_0(k) \left\{ -\frac{1}{2\pi i} \oint_c e^{i\lambda t} \overline{\dot{g}_k(\lambda)} d\lambda \right\}, \quad (21)$$

where $f_0(k) = \langle f_0, h_k \rangle$, $\dot{g}_k(\lambda) = \left\langle \left(\mathring{A}^* - \bar{\lambda}I \right)^{-1} g, h_k \right\rangle$.

For further calculations, an expression for the resolvent of the operator is found \mathring{A}^* . Considering

$$R_{\mathring{A}^*}(\lambda) = \left(\mathring{A}^* - \lambda I \right)^{-1} \mathring{g} = f, \quad \text{we got}$$

$$R_{\overset{\circ}{A}}(\lambda) = \frac{\beta_k}{\lambda_k - \lambda} \prod_{j=1}^{k-1} \frac{\lambda_j - \lambda}{\lambda_j - \lambda}. \quad (22)$$

For the function $\overline{\dot{g}_k(\lambda)}$ the following formula is used (22):

$$\overline{\dot{g}_k(\lambda)} = \frac{\beta_k}{\lambda_k - \lambda} \prod_{j=1}^{k-1} \frac{\overline{\lambda_j} - \lambda}{\overline{\lambda_j} - \lambda} = \frac{\sqrt{2\text{Im}\lambda_k}}{\lambda_k - \lambda} \prod_{j=1}^{k-1} \frac{\overline{\lambda_j} - \lambda}{\overline{\lambda_j} - \lambda}. \quad (23)$$

Having added

$$\Lambda_k(t) = -\frac{1}{2\pi i} \sqrt{2\text{Im}\lambda_k} \oint_c e^{i\lambda t} \frac{1}{\lambda_k - \lambda} \prod_{j=1}^{k-1} \frac{\overline{\lambda_j} - \lambda}{\overline{\lambda_j} - \lambda} d\lambda, \quad (24)$$

we got

$$\phi(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \xi_0(k) \Lambda_k(t). \quad (25)$$

The formula (24) shows that the function $\Lambda_k(t)$ is uniquely constructed on the spectrum of the operator A , and $\Lambda_k(t)$ can be represented as

$$\Lambda_k(t) = \sum_{j=1}^k P_{k,j}(t) e^{i\lambda_j t}, \quad (26)$$

where $P_{k,j}(t)$ – a polynomial, the degree of which is one point less than the multiplicity of the eigenvalue λ_j .

Determination of the correlation function of the random process

If the random process has the following look:

$$\xi(t) = \xi e^{i\lambda_0 t}, \quad (27)$$

where the average value of ξ is zero, and λ_0 is a real constant ($\lambda_0 = \overline{\lambda_0}$).

Such process describes the periodic oscillation of the circular frequency λ_0 with a random amplitude and a random phase. In this case

$$\xi(t) = \xi (\xi_1 \cos \lambda_0 t + \xi_2 \sin \lambda_0 t) + i(\xi_1 \sin \lambda_0 t - \xi_2 \cos \lambda_0 t), \quad (28)$$

where $\xi = \xi_1 - i \cdot \xi_2$.

The actual part of each implementation can be represented by a sinusoidal of the following form $\eta(t) = a \sin(\lambda_0 t + \theta)$, where $a = \sqrt{\xi_1^2 + \xi_2^2}$,

$$\sin \theta = \frac{\xi_1}{\sqrt{\xi_1^2 + \xi_2^2}}, \quad \cos \theta = \frac{\xi_2}{\sqrt{\xi_1^2 + \xi_2^2}}, \quad \text{with } a \text{ and } \theta$$

varying from implementation to implementation.

For this case let's consider the model space l^2 , and the operator $\overset{\circ}{A}$ in the form of: $\overset{\circ}{A}t = \lambda_0 t$. This is a case for an operator with a discrete spectrum and, by the expression (26), the Λ -function has the form of $\Lambda(t) = p_0 e^{i\lambda_0 t}$, where p_0 – constant value. Then for $\varphi(t)$ we will get the following expression $\phi(t) = c_0 p_0 e^{i\lambda_0 t} = \zeta_0 e^{i\lambda_0 t}$.

Since $\text{Im} \overset{\circ}{A} = 0$ and the operator $\overset{\circ}{A}$ has completeness, in this case it is a dissipative asymptotically fading process, whose correlation function can be found by the following formula

$$K(t, s) = b e^{i(t-s)\lambda_0}, \quad (29)$$

where b is the mathematical expectation of the square of the amplitude, proportional to the mean energy of the oscillation per unit time.

It should be noted that the correlation function does not depend on the statistical characteristics of the phase of oscillation. It is obviously possible to show that any stationary process can be obtained as a boundary of the sequence of processes with a discrete spectrum. Thus, each random process $\zeta(t)$ can be arbitrarily well approximated by a linear combination of harmonic oscillations. The random stationary processes of general form are obtained by considering the linear combinations of the processes of the type (27).

Having considered the processes that are the superposition of n -random periodic oscillations with different frequencies

$$\zeta(t) = \sum_{k=1}^n \xi_k e^{i\lambda_k t}, \quad (30)$$

where $M \zeta_1 = M \zeta_2 = \dots = M \zeta_n = 0$, taking into account that $M \zeta(t) = 0$, we have

$$M \xi(t + \tau) \overline{\xi(t)} = M \sum_{k=1}^n |\xi_k|^2 e^{i\lambda_k \tau} + M \sum_{\substack{k,m=1 \\ (k \neq m)}}^n \xi_k \overline{\xi_m} \left(e^{i(\lambda_k - \lambda_m)\tau + i\lambda_k \tau} + e^{-i(\lambda_k - \lambda_m)\tau + i\lambda_k \tau} \right). \quad (31)$$

In order for the random process (30) to be stationary in the narrow sense, it is necessary that the last expression (31) does not depend on t . As the functions $e^{i(\lambda_k - \lambda_m)t}$ and $e^{-i(\lambda_k - \lambda_m)t}$ ($k \neq m$) are linearly independent, there fore, this expression does not depend on t , in case if $M \xi_k \overline{\xi_m} = 0$, with $k \neq m$.

Thus, the random process (30) will be stationary, if $\xi_k (k = \overline{1, n})$ – are uncorrelated random variables with value of zero. Consequently, $\zeta(t)$ describes the superposition n of non-correlated (in particular, independent) oscillations with different frequencies and random amplitudes and phases.

Since the correlation function of the sum of uncorrelated random processes is equal to the sum of the correlation functions of these processes, then by virtue of expression (29) for the correlation function of the stationary random process (30) we have

$$K(t-s) = \sum_{k=1}^n b_k e^{i\lambda_k(t-s)}, \quad (32)$$

where the coefficients $b_k > 0$ determine the average energy of the individual harmonic oscillations included in the expression (30), and λ – multitude $\{\lambda_k\}_{k=1}^n$ in this case, is

the spectrum of a random process. Considering in equality (32) $t - s = 0$, we have

$$K(0) = \sum_{k=1}^n b_k. \quad (33)$$

Thus, in the case of superpositions of the periodic oscillations with uncorrelated amplitudes the middle energy of the cardio pulse equals the sum of the energies of certain periodic components.

In order for the process (30) to be valid, the number n is to be pair (equal $2n$) and $2j$ summands (30), must fall into j pairs of complex additions. In this case the random process $\zeta(t)$ can be represented in the following form:

$$\zeta(t) = \sum_{l=1}^j a_l (\sin \lambda_l t + \theta_l), \quad (34)$$

where taking into account (28) $M\eta_k \zeta = 0$ at all index values, and $M\eta_k \eta_l = M\zeta_k \zeta_l = 0$ at $t_k \neq 1$, a

$$M\eta_l^2 = M\zeta_l^2 = b_l, \quad \sin \theta_l = \frac{\eta_l}{\sqrt{\eta_l^2 + \zeta_l^2}}, \quad \cos \theta_l = \frac{\zeta_l}{\sqrt{\eta_l^2 + \zeta_l^2}},$$

$$a_l = \sqrt{\eta_l^2 + \zeta_l^2}, \quad (l = \overline{1, n}).$$

The correlation function (32) taking into account the variable $\tau = t - s$ can be represented as:

$$K(\tau) = \sum_{l=1}^j b_l \cos \lambda_l \tau. \quad (35)$$

The obtained theoretical conclusions provide the basis for further simulation modeling.

Results of mathematical modeling of heart rhythm variability

A computer simulation modeling method for heart rhythm variability has been developed on the basis of the mathematical model of the correlation function of the non-stationary random process with a discrete spectrum. A series of simulation experiments has been conducted to confirm and statistically substantiate the adequacy of the developed model. The heart rhythm system is a dynamic system. The dynamics of heart rhythm changes is constantly influenced by the central nervous system (CNS) and the vegetative-vascular system (VVS), respiratory oscillations, blood oxygen saturation and other characteristics [25]. The HRV signal can be represented as a periodic curve formed by a common overlay of high-frequency and low-frequency oscillations.

If we assume that the input of the system simulating the cardio signal is "white noise", then there is an occasional process at the output reflecting the variability of the heart rhythm.

Each implementation $X_v(t)$ of the random process $\zeta(t)$ can be represented as follows:

$$X_v(t) = Y_1^v(t) + Y_2^v(t), \quad (36)$$

$$Y_1^v(t) = a_0^v, \quad Y_2^v(t) = \sum_{\omega=1}^{10} a_\omega^v \sin(\omega t + \theta_\omega^v), \quad (37)$$

where $Y_1^v(t)$ – an occasional process that is a particular case of a random stochastic process with the value $t = 0$, $Y_2^v(t)$ – random process, and θ_ω^v – initial phases. It is proved that the correlation function of the stochastic process $X_v(t)$ has the following form:

$$K_{X_v(t)}(\tau) = |a_0^v|^2 + \sum_{\omega=1}^{10} 2\pi |a_\omega^v|^2 \cos \omega \tau. \quad (38)$$

In [8] the connection between the correlation function $KX(\tau)$ of the random process $\zeta(t)$ and its spectral density is considered $SX(\omega)$. It is shown that the spectral density $SX(\omega)$ is equal to the square of the amplitude-frequency characteristic of the link or system.

Using the mathematical model of heart rhythm variability, presented in [25], with slight simplifications, when simulating you should take into account the low-frequency oscillations of the central nervous system to the sinus node and oscillatory behavior of blood pressure.

Thus, the transfer function of the forming dynamic system of cardiac pressure, which transforms the "white noise" $v(t)$ into a random process $\zeta(t)$, can be represented

$$W(p) = \frac{k}{(T_{11}^2 p^2 + T_{12} + 1)(T_{21}^2 p^2 + T_{22} + 1)}, \quad (39)$$

the spectral density has an analytical form

$$S_x(p) = \frac{k^2}{\left[(1 - \omega^2 T_{11}^2)^2 + \omega^2 T_{12}^2 \right] \left[(1 - \omega^2 T_{21}^2)^2 + \omega^2 T_{22}^2 \right]}. \quad (40)$$

The result of the simulation of the influence of random processes on the character of the VHR is presented as a series of two vibrational dynamic links with

transmitting functions $W_1(p) = \frac{k}{(T_{11}^2 p^2 + T_{12} + 1)}$;

$W_2(p) = \frac{1}{(T_{21}^2 p^2 + T_{22} + 1)}$, equations of which are written

in the form of:

$$\begin{cases} T_{11}^2 \ddot{y}(t) + T_{12} \dot{y}(t) + y(t) = kv(t); \\ T_{21}^2 \ddot{X}(t) + T_{22} \dot{X}(t) + X(t) = y(t). \end{cases} \quad (41)$$

In the normal form the Cauchy system (41) looks like:

$$\begin{cases} \dot{x}_1(t) = x_2(t); \\ \dot{x}_2(t) = -\frac{1}{T_{11}^2} x_1(t) - \frac{T_{12}}{T_{11}^2} x_2(t) + \frac{k}{T_{11}^2} v(t); \\ \dot{x}_3(t) = x_4(t); \\ \dot{x}_4(t) = -\frac{1}{T_{21}^2} x_3(t) - \frac{T_{22}}{T_{21}^2} x_4(t) + \frac{k}{T_{21}^2} x_1(t) \end{cases}, \quad (42)$$

where $x_1(t) = y(t)$, $x_2(t) = \dot{y}(t)$, $x_3(t) = X(t)$, $x_4(t) = \dot{X}(t)$.

The solution of the system (42) uses the Runge-Kutta method [18, 22]. This method has a high degree of

accuracy and, despite its complexity, is the most suitable for algorithmization. In addition, the important advantage of this method is the possibility of applying an "alternate step".

The simulation of heart rhythm variability was performed in Simulink / Matlab software using Runge-Kutta 4th order method with variable step of integration.

The initial data were obtained by digitizing the real ECG of seven patients from open PhysioNet cardiographic libraries [26]. The simulation was carried out on samples of duration $T = 10$ s.

The temporary indices of artificial ECG series, generated using the developed mathematical model [27], are comparable to those of real ECG series with the same

spectral characteristics, therefore the obtained models on this criterion can be considered substantial and adequate.

The fig. 1 shows the synthesized ECG signals and signal-noise functions: red lines – basic ECG signal, blue lines - random signal.

According to fig. 1 and taking into account the conclusions of Section 4, the correlation functions obtained (fig. 2) and the spectral density power distribution functions (fig. 3).

Correlation functions for ECG signals, corresponding fig. 1, pictured on fig. 2.

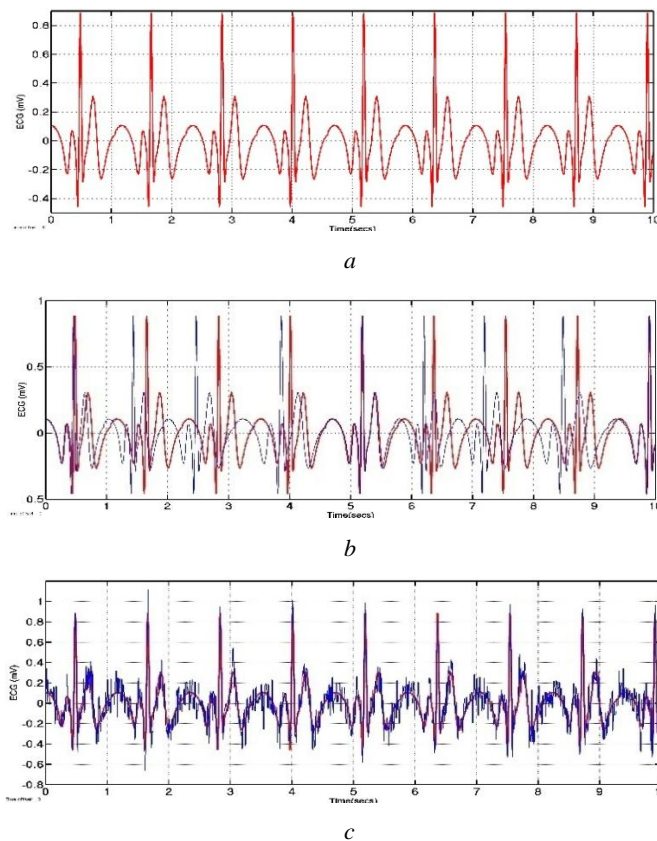


Fig. 1. Synthesized ECG signals and signal-noise functions: *a* – basic ECG signal excluding HRV and noise; *b* – ECG signal with a change in cardiac rhythm in random law; *c* – ECG signal with the addition of perturbation of the type of "white noise"

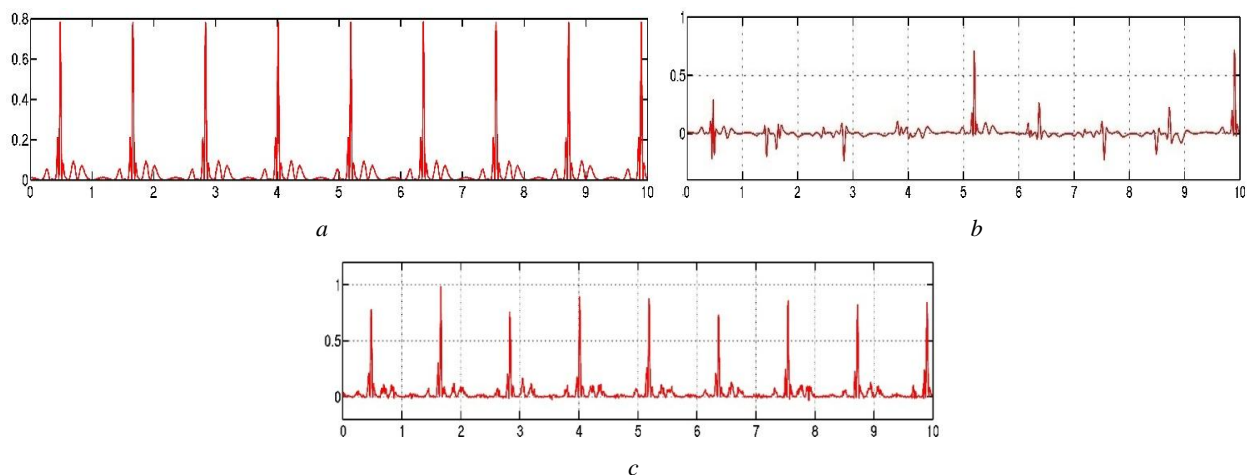


Fig. 2. Correlation functions for ECG signals

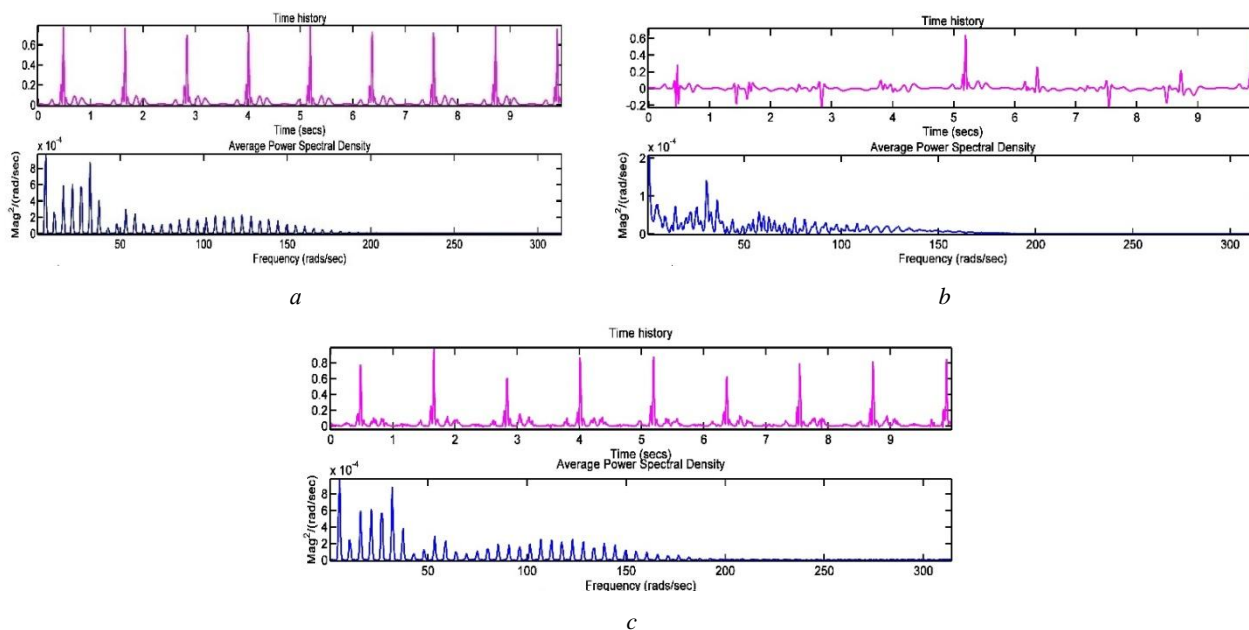


Fig. 3. Distribution of spectral density power

The developed simulation model allows to consider and to simulate a random process as a superposition of elementary random variables for confirmation of theoretical assumptions.

Discussion of the results of the study of the influence of random processes on the variability of the heart rhythm.

The obtained results of mathematical modeling indicate that the proposed method for studying non-stationary random processes can be used to simulate random processes in cardio signals.

As a result, correlation functions have been obtained for various random processes. Indeed, from the fig. 2, a the correlation function is periodic with the period of R-R interval, this allows to conclude that the correlation coefficients approach the maximum value at the moments of the R-deflections of the ECG.

With the appearance of the variability of the heart rhythm, one can observe that the correlation function of fig. 2, b has both positive and negative peaks with oscillatory character of influence. This indicates the presence of components with frequencies of 0.17-0.3 Hz, reflecting the influence of sympathetic and parasympathetic activity of the central nervous system.

The analysis of the correlation function, obtained with the help of the triangular model, showed a high sensitivity, even at noisy areas of the ECG, and allowed to accurately identify the influence of both external and internal factors on the human heart rhythm.

It should be noted that during the modeling of the effect of "white noise" (10-4 W) it was found that it does not affect the distribution of power of spectral density. The obtained result can be explained by the fact that its spectral density is a constant throughout the frequency range (fig. 3, b). The proposed method can be used when the spectrum of the analyzed signal has clearly expressed peaks. Indeed, in fig. 3, it is possible to observe the presence of both low-frequency and high-frequency

sections in the distribution curve of the spectral density of the simulated signal. This indicates the sensitivity of the method in the analysis of the effects of both the sympathetic and parasympathetic CNS branches on the HRV. These parts correspond to the previous assumed availability of oscillation circuits with different steady time.

The direction of further research may relate to a more detailed identification of the effects of random processes on HRV, as well as methods of hardware implementation of the determination of the parameters of the ECG [28].

The proposed method opens up additional possibilities for refinement and improvement of the model, bringing it to the level of the maximum full quantitative description of the experimental data.

Conclusions

1. It has been shown that the new approach to the description of the HRV as a random process in the application of the triangular model in the Hilbert space made it possible to obtain expressions for the correlation function.

2. The imitation simulation showed the sensitivity of the method within the 5 % error rate under the conditions of different types of influence on HRV. The qualitative assessment of the possibilities of the proposed models to generate artificial ECG provided the possibility of visual analysis by the cardiologist of the identity of the interpretation of real ECG records. The identities of modeling results were checked on time samples of electrocardiographs of 7 patients from open PhysioNet cardiographic libraries on samples with the duration $T = 10$ s.

3. The standard low-frequency oscillations and "white noise" barrier are clearly differentiated on the applied correlation function by the distribution of spectral density power within the frequency range of 0,15–0,3 Hz.

References

1. Malik, M., Camm, A. J., Bigger, G. (1996), "Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use", *Circulation*, No. 93 (5), P. 354–381.
2. Baevskiy, R. M., Ivanov, G. G. (2001), "Variabelnost serdechnogo ritma: teoreticheskie aspekty i vozmozhnosti klinicheskogo primeneniya", *Ul'trazvukovaya i funktsionalnaya diagnostika*, No. 3, P. 108–127.
3. Akselroad, S., Gordon, D., Ubel, F. A., Shannon, D. C., Barger, A. C., Cohen, R. J. (1981), "Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat to beat cardiovascular control", *Science*, P. 213–220.
4. Homaeinezhad, M. R., Erfanian Moshiri-Nejad, M., Naseri, H. (2014), "A correlation analysis-based detection and delineation of {ECG} characteristic events using template waveforms extracted by ensemble averaging of clustered heart cycles", *Computers in Biology and Medicine*, No. 44, P. 66–75.
5. Baevskiy, R. M., Ivanov, G. G., Chereykin, L.V. (2001), "Analiz variabelnosti serdechnogo ritma pri ispolzovanii razlichnykh elektrokardiograficheskikh sistem: metodicheskie rekomendatsii", *Vestnik aritmologii*, No. 24, P. 65–86.
6. Pod redaktsiey Prokhorova, S. A. (2007), *Prikladnoy analiz sluchaynykh protsessov*, Samara : SNC RAN, 582 p.
7. Bulnskiy, A. V., Shiriaev, A. N. (2005), *Teoriya sluchaynykh protsessov*, Moscow : Fizmatlit, 408 p.
8. Akhiezer, E. B., Pirotti, E. L. (2003), "Garmonicheskie predstavleniya sluchaynykh protsessov v dinamicheskikh sistemah", *Vestnik Nacionalnogo tekhnicheskogo universiteta "KhPI"*, No. 6, P. 157–161.
9. Richkov, A. Y., Tsubulskiy, V. R., Sergeychik, O. I., Kopilova, L. N. (2004), "Spektralniy analiz normalnoy ECG", *Vestnik aritmologii*, No. 35, P. 52.
10. Jokic, S., Delic, V., Peric, Z., Prco, S., Sakac, D. (2011), "Efficient ECG modeling using polynomial functions", *Electronics and Electrical Engineering*, No. 4 (110), P. 121–124.
11. Kovacs, P. (2012), "ECG signal generator based on geometrical features", *Annales Universitatis Scientiarum Budapestinensis de Rolando Eötvös Nominatae, Sectio Computatorica*, No. 37, P. 247–260.
12. Rosliakova, A. V., Chuprakov, P. G. (2012), "Sravnitelniy analiz algoritmov obnaruzeniya R-zubtsa elektrokardiosignala", *Viatskiy meditsinskiy vestnik*, No. 2, P. 29–35.
13. Abramov, M. V. (2010), "Aproksimatsii eksponentami vremennogo kardiologicheskogo riada na osnove ECG", *Vestnik kibernetiki*, No. 9, P. 85–91, available at : <http://www.ipdn.ru/rics/vkyindex.htm>.
14. Fainzilberg, L. S. (2004), "Komp'yutorni analiz i interpretatsiya elektrokardiogramm v fazovom prostranstve", *Sistemni doslidzhennya ta informatsiyni tekhnologii*, No. 1, P. 32–46.
15. Fainzilberg, L. S., Bekler, T. Y., Glushauskane, G. A. (2011), "Matematicheskaya model porozhdeniya iskustvennoy elektrokardiogrammi s zadannimi amplitudno-vremennimi kharakteristicami informativnykh fragmentov", *Problemi upravleniya i informatiki*, No. 5, P. 61–72.
16. Fainzilberg, L. S. (2015), "Generalized method of processing cyclic signals of complex form in multidimension space of parameters", *Journal of automation and information sciences*, No. 47 (3), P. 24–39.
17. Degtiariov, S. V., Filist, S. A., Titov, V. S., Ribochkin, A. F. (2013), "Klasifikatsiya sostoyaniya serdechno-sosudistoy sistemi po analizu fazovogo portreta dvukh kardiosignalov", *Nauchnie vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta, Seriya : Meditsina. Farmatsiya*, No. 11 (154), P. 65–72.
18. Kazakov, D. V. (2012), "Kvaziperiodicheskaya dvukhkomponentnaya dinamicheskaya model dlia sinteza kardiosignala s ispolzovaniem vremennykh riadov i meyuod Runge-Kutta chetvertogo poriadka", *Komputernie issledovaniya i modelirovaniye*, Vol. 4, No. 1, P. 143–154.
19. Ebrahimzadeh, A., Khazae, A. (2009), "An efficient technique for classification of electrocardiogram signals", *Advances in Electrical and Computer Engineering*, No. 9 (3), P. 89–93.
20. Akhiezer, E. B., Pirotti, E. L. (2010), "Metodika imitacionnogo modelirovaniya nestatsionarnykh stokhasticheskikh protsessov na primere davleniya v tsilindrakh sistemi transmissii", *Sistemi obrabotki informatsii*, No. 6, P. 49–54.
21. Livshits, M. S., Yantsevich, A. A. (1979), *Operator colligations in Hilbert spaces*, Wiley, New York, 208 p.
22. Kruglov, V. M. (2018), *Sluchaynie protsessy v 2h chastyakh : 2-e izdanie*, Moscow : Yurayt, 276 p.
23. Zolotariov, V. A., Yantsevich, A. A. (1991), "Nestatsionarnie krivie v gilbertovykh prostranstvakh i nelineynye operatornie uravneniya. Teoriya operatorov, subgarmonicheskie funktsii", *sb. Nauchnykh trudov FNINT AN USSR*, Kyiv, P. 54–60.
24. Manis, G., Alexandridi, A., Nikolopoulos, S., Davos, K. (2005), "The Effect of White Noise and False Peak Detection on HRV Analysis", *Conference Paper. Conference: 2nd International Conference on Informatics in Control Automation and Robotics, At Barcelona. Spain*.
25. Romanova, G. V. (2011), "Programmaya realizatsiya matematicheskoy modeli variativnosti serdechnogo ritma", *Programmie producti s sistemi*, No. 1, P. 152–155.
26. The research resource for complex physiologic signals, available at : <https://www.physionet.org>.
27. Shyshkin M., Butova O., Fetiukhina L., Akhiezer O., Dunaievska O. (2018), "Matlab ECG signal model based on frequency transformation", *Bulletin of NTU "KhPI". Series : New solutions in modern technologies*, Kharkiv : NTU "KhPI", No. 26 (1302), P. 140–147. DOI:10.20998/2413-4295.2018.26.20.
28. Shyshkin, M. A., Kolesnik, K. V. (2015), "Nechetkaya sistema opredeleniya parametrov QRS-kompleksa EKG v telemeditsine", *Trudi XVI Mejdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Sovremehnie informatsionnie i elektronnie tekhnologii: SIET-2015"*, Ukraina, Odessa, Vol. 1, P. 42–43.

Received 05.03.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ахієзер Олена Борисівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", професор кафедри комп'ютерної математики і аналізу даних, Харків, Україна; e-mail: akhiezer.cmds@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7087-9749>.

Ахиєзер Елена Борисовна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", профессор кафедры компьютерной математики и анализа данных, Харьков, Украина.

Akhiiezer Olena – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor at the Department of Computer Mathematics and Data Analysis, Kharkiv, Ukraine.

Дунаєвська Ольга Ігорівна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри комп'ютерної математики і аналізу даних, Харків, Україна; e-mail: dunaevskaya.olga.khpi@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0286-5991>.

Дунаевская Ольга Игоревна – кандидат технических наук, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", доцент кафедры компьютерной математики и анализа данных, Харьков, Украина.

Dunaievskaya Olga – PhD (Engineering Sciences), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of Computer Mathematics and Data Analysis, Kharkiv, Ukraine.

Шишкін Михайло Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри промислової і біомедичної електроніки, Харків, Україна; e-mail: m.shishkin1966@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2276-7259>.

Шишкин Михаил Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", доцент кафедры промышленной и биомедицинской электроники, Харьков, Украина.

Shyshkin Mykhailo – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of Industrial and Biomedical Electronics, Kharkiv, Ukraine.

Бутова Ольга Анатоліївна – кандидат технічних наук, Харківський національний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри промислової і біомедичної електроніки, Харків, Україна; e-mail: cherie_2812@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1128-9722>.

Бутова Ольга Анатольевна – кандидат технических наук, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", доцент кафедры промышленной и биомедицинской электроники, Харьков, Украина.

Butova Olga – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of Industrial and Biomedical Electronics, Kharkiv, Ukraine.

Роговий Антон Іванович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри стратегічного управління, Харків, Україна; e-mail: rogoviy@ukr.net; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8178-4585>.

Роговой Антон Иванович – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", доцент кафедры стратегического управления, Харьков, Украина.

Rohovyi Anton – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of Strategic Management, Kharkiv, Ukraine.

ВИКОРИСТАННЯ ТРИКУТНИХ МОДЕЛЕЙ НЕСТАЦІОНАРНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ СЕРЦЕВОГО РИТМУ

Предмет дослідження є математична модель, яка описує процес варіабельності серцевого ритму, в основі якої лежить використання трикутних моделей нестационарних випадкових процесів в гільбертовому просторі. **Мета** дослідження – розробка математичної моделі нестационарних процесів серцевої діяльності на основі трикутної моделі. Це дослідження стало основою для розробки моделі Matlab, що реалізує запропонований метод для аналізу варіабельності серцевого ритму. **Завдання:** дати опис варіабельності серцевого ритму як нестационарного процесу в гільбертовому просторі в термінах кореляційних функцій; дослідити можливість побудови кореляційної та спектральної теорії нестационарного процесу з використанням трикутних моделей; синтезувати математичну модель нестационарного процесу на основі кореляційної теорії для розв'язання задач математичної обробки і прогнозування на основі даних ЕКГ. За допомогою запропонованого математичного методу була реалізована модель Matlab генератора серцевого сигналу, що дозволило синтезувати ЕКГ з різними параметрами мінливості в умовах шуму. У роботі використані **методи** математичної статистики, імітаційного моделювання, теорії випадкових процесів і теорії управління. **Результати** цього дослідження такі: 1) Було показано, що новий підхід до опису ВСР як випадкового процесу при застосуванні трикутної моделі в гільбертовому просторі дозволив отримати вирази для кореляційної функції. 2) Імітаційне моделювання показало чутливість методу в межах 5% помилок в умовах різних типів впливу на ВСР. Якісна оцінка можливостей пропонованих моделей для генерації штучної ЕКГ надала можливість візуального аналізу кардіологом ідентичності інтерпретації реальних записів ЕКГ. Ідентичність результатів моделювання була перевірена на тимчасових вибірках електрокардіографів 7 пацієнтів з відкритих кардіографічних бібліотек PhysioNet на вибірках тривалістю $T = 10$ с. 3) Стандартні низькочастотні коливання і бар'єр "білого шуму" чітко диференціюються за застосовуваною кореляційної функції з розподілу потужності спектральної щільності в діапазоні частот 0,15-0,3 Гц. **Висновок.** Результати моделювання підтвердили правильність теоретичних висновків про можливість використання моделей, заснованих на уявленні нестационарних процесів в трикутному гільбертовому просторі.

Ключові слова: серцевий ритм; нестационарний випадковий процес; електрокардіосигнал; кореляційна функція; трикутна модель; імітаційне моделювання.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕУГОЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Предмет исследования представляет собой математическую модель, описывающую процесс variability сердечного ритма, в основе которой лежит использование треугольных моделей нестационарных случайных процессов в гильбертовом пространстве. **Цель** исследования – разработка математической модели нестационарных процессов сердечной деятельности на основе треугольной модели. Это исследование стало основой для разработки Matlab модели, реализующей предложенный метод для анализа variability сердечного ритма. **Задачи:** дать описание variability сердечного ритма как нестационарного процесса в гильбертовом пространстве в терминах корреляционных функций; исследовать возможность построения корреляционной и спектральной теории нестационарного процесса с использованием треугольных моделей; синтезировать математическую модель нестационарного процесса на основе корреляционной теории для решения задач математической обработки и прогнозирования на основе данных ЭКГ. С помощью предложенного математического метода была реализована модель Matlab генератора сердечного сигнала, что позволило синтезировать ЭКГ с различными параметрами изменчивости в условиях шума. В работе использованы **методы** математической статистики, имитационного моделирования, теории случайных процессов и теории управления. **Результаты** этого исследования следующие: 1) Было показано, что новый подход к описанию ВСР как случайного процесса при применении треугольной модели в гильбертовом пространстве позволил получить выражения для корреляционной функции. 2) Имитационное моделирование показало чувствительность метода в пределах 5% ошибок в условиях различных типов влияния на ВСР. Качественная оценка возможностей предлагаемых моделей для генерации искусственной ЭКГ предоставила возможность визуального анализа кардиологом идентичности интерпретации реальных записей ЭКГ. Идентичность результатов моделирования была проверена на временных выборках электрокардиографов 7 пациентов из открытых кардиографических библиотек PhysioNet на выборках длительностью $T = 10$ с. 3) Стандартные низкочастотные колебания и барьер "белого шума" четко дифференцируются по применяемой корреляционной функции по распределению мощности спектральной плотности в диапазоне частот 0,15–0,3 Гц. **Заключение.** Результаты моделирования подтвердили правильность теоретических выводов о возможности использования моделей, основанных на представлении нестационарных процессов в треугольном гильбертовом пространстве.

Ключевые слова: сердечный ритм; нестационарный случайный процесс; электрокардиосигнал; корреляционная функция; треугольная модель; имитационное моделирование.

YE. BODYANSKIY, I. PEROVA, P. ZHERNOVA

ONLINE FUZZY CLUSTERING OF HIGH DIMENSION DATA STREAMS BASED ON NEURAL NETWORK ENSEMBLES

The **subject** matter of the article is fuzzy clustering of high-dimensional data based on the ensemble approach, provided that a number and shape of clusters are not known. The **goal** of the work is to create the neuro-fuzzy approach for clustering data when the data stream is fed for online processing and a number and shape of clusters are unknown. The following **tasks** are solved in the article – the input feature space is compressed in the online mode; the model of neural network ensembles for data clustering is built; the ensemble of neuro-fuzzy networks for clustering high-dimensional data is developed; the approach for clustering data in the online mode is worked out. The following **results** are obtained – the main idea of the proposed approach is based on a modification of the fuzzy C-means algorithm. To reduce the dimension of the input space, the modified Hebb-Sanger network is suggested to be used; this net is characterized by the increased speed and is built on the basis of the modified Oja neurons. A speed-optimized learning algorithm for the Oja neuron is proposed. Such a network implements the method of principal components in the online mode with high speed. **Conclusions.** In the event the reduction-compression procedure cannot be used due to the probability of losing the physical meaning of the original space, a new clustering criterion was introduced; this criterion contains both a well-known polynomial fuzzifier and the weight of individual components of the deviations of presented images from cluster centroids. The recurrent modification based on the algorithms proposed in this article is introduced. A mathematical model is developed to determine the quality of clustering with the use of the Xi-Beni index, which was modified for the online mode. The experimental results confirm the fact that the proposed system enables solving a wide range of Data Mining tasks when data sets are processed online, provided that a number and shape of clusters are not known and there is a large number of observations as well.

Keywords: clustering; fuzzy C-means method; sequential analysis of principal components; the ensemble of neuro-fuzzy networks; T. Kohonen's neural network; self-learning.

Introduction

The task of multidimensional observations clustering when observations are sequentially fed to processing is an important area within Data Stream Mining, and for its solution a sufficiently large number of different methods have been proposed. The most popular approaches here are based on prototypes-centroids [1–4], in which K-means, K-medians, K-medoids, etc. can be used. It should be noted that clustering neural networks of T. Kohonen [5], are the best suited for processing information in the online mode. In this case, apriori it is assumed that the number of clusters into which the analyzed data array has to be divided is known in advance. If the number of clusters is not known apriori, the X-means method [6, 7], which is based on rather strict statistical assumptions, can be used. In addition, this method can be implemented only in batch mode. If the information for processing is received sequentially, the alternative based on clustering ensembles [8–11] can be used as an X-means, with each of the members of the ensemble being designed for a different number of possible clusters. If T. Kohonen's neural networks (SOM) can be members of the ensemble, each of which operates in conditions of a different number of classes in the data, such a system can operate effectively in real time.

Thus, if data sample is a set (possibly growing) $X = \{x(1), \dots, x(2), \dots, x(k), \dots, x(N), \dots\} \subset R^n$,

$x(k) = (x_1(k), \dots, x_i(k), \dots, x_n(k))^T$, which is fed to the inputs of an ensemble formed by $M-1$ parallel-connected SOMs so that the first one works in conditions that the number of possible clusters in the data is $m=2$, and the last assumes that $m=M$, the best results will be

obtained using SOM with $2 \leq m^* \leq M$ neurons in the Kohonen layer, where m^* determines the true number of classes in the sample under processing [12].

The situation becomes much more complicated if the formed clusters overlap in the features space. Such problems are solved using fuzzy clustering methods [4, 13], the most popular of which is the fuzzy C-means algorithm (FCM). Fuzzy Kohonen's clustering networks [14] can be successfully used to work in online mode.

It should be remembered that the effectiveness of fuzzy clustering procedures is limited by the so-called concentration of norms effect – CoN [15, 16], when the results are unsatisfactory at high dimensions of the features space. The simplest approach to deal the problem of high-dimension feature space is preliminary data compression in online-mode.

Online data compression for reduction of initial feature space

When dataset is fed to processing in the form of data stream, Principal Component Analysis cannot be used for reduction of initial feature space, so solving of data reduction task can be performed using neural network technologies [17–21]. A neural network based on Oja's neuron [17] and constructed on its base T.Sanger's neural network [18] are the most popular systems that permit to perform the data reduction and information compressing sequentially in online mode.

The neural network based on Oja's neuron permits to calculate in sequential mode eigen vectors of correlation matrix $R(k)$ when dataset in fed to processing sequentially $x(1), x(2), \dots, x(k), x(k+1)$ without calculating of full correlation matrix. To find first principal component E . Oja proposed self-learning

algorithm for linear neuron presented in fig. 1. For previously centered data Oja's algorithm can be written in the form:

$$\begin{cases} w^l(k+1) = w^l(k) + \\ + \eta(k+1)(\tilde{x}(k+1) - \varphi^l(k+1)w^l(k))\varphi^l(k+1); \\ \varphi^l(k+1) = \tilde{x}^T(k+1)w^l(k), \quad w^l(0) \neq 0, \\ \varphi^l(1) = \tilde{x}^T(1)w^l(0) \end{cases} \quad (1)$$

where $\eta(k+1)$ – learning rate parameter, its value must be chosen sufficiently small for stable algorithms work and needs to correspond to condition of stochastic approximation [22].

In such case neural network based on usual Oja's neurons characterized by low rate of convergency, that's why we have used modified form of Sanger's neural network [19]. This system is characterized by high speed of synaptic weights tuning. In fig. 2 modified form of Sanger's neural network is presented.

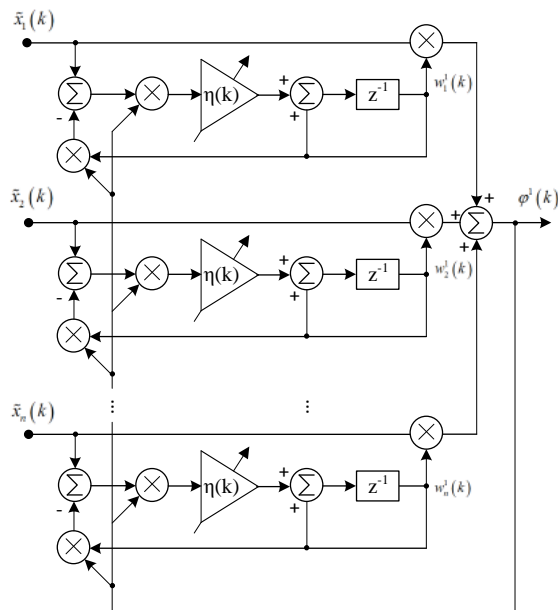


Fig. 1. Oja's neuron

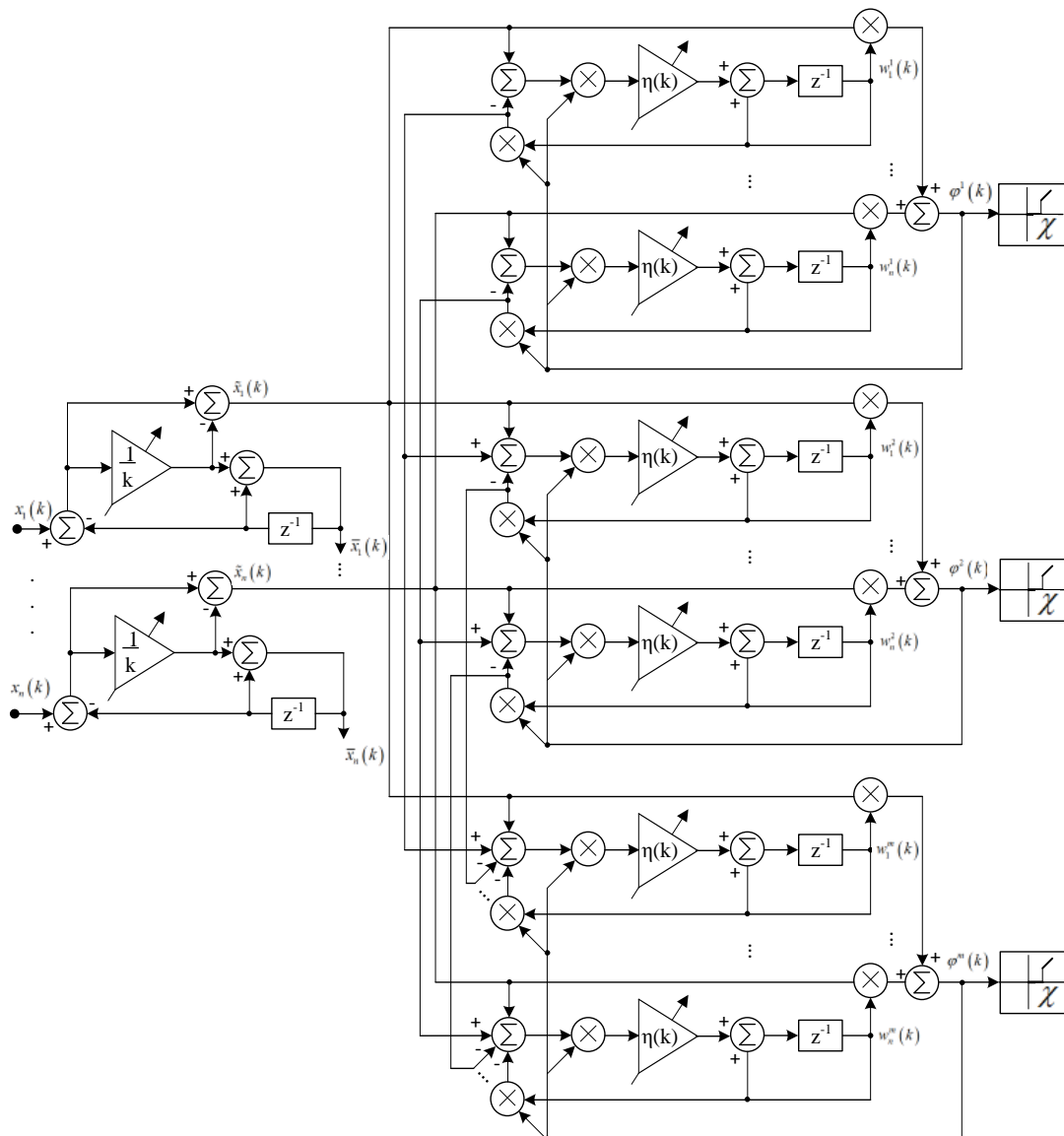


Fig. 2. Architecture of modified form of Sanger's neural network

To learn presented system we can use modified Hebb-Sanger algorithm in the form:

$$\begin{cases} w^l(k+1) = w^l(k) + \eta(k+1) \tilde{v}^l(k+1) \varphi^l(k+1); \\ \tilde{v}^l(k+1) = \tilde{v}^{l-1}(k+1) - \varphi^l(k+1) w^l(k); \\ \tilde{v}^0(k+1) = \tilde{x}(k+1), \quad l = 1, 2, \dots, m; \end{cases} \quad (2)$$

$$\eta(k+1) = r^{-1}(k+1),$$

$$r(k+1) = \xi r(k) + \|\tilde{x}(k+1)\|^2, \quad 0 \leq \xi \leq 1,$$

where ξ – learning rate parameter.

It is easy to see, that first principal component is computed using Oja's algorithm, than projections of input vectors on w^1 subtract from inputs and all other data are processed by second neuron.

Previously all input data need to be centered upon mean in recurrent form using expression

$$\tilde{x}(k+1) = x(k+1) - \bar{x}(k+1),$$

$$\bar{x}(k+1) = \bar{x}(k) + \frac{1}{k+1} (x(k+1) - \bar{x}(k)).$$

Then signals $\tilde{x}(k)$ were processed by ensemble of m Oja's neurons. Output layer, based on linear elements

with insensitivity zone χ permit to separate the most informative signal $\varphi^l(k)$ from noise.

Introduced neural network system permits to produce data reduction in online mode when data are fed to processing sequentially.

As we marked, algorithm based on stochastic approximation is characterized by low speed of convergency. That's why we have proposed to train Oja's neuron by modified procedure with tuned η parameter:

$$\begin{cases} w^l(k+1) = w^l(k) + \\ + \eta(k+1) (\tilde{x}(k+1) - \varphi^l(k+1) w^l(k)) \varphi^l(k+1); \\ \varphi^l(k+1) = \tilde{x}^T(k+1) w^l(k), \quad w^l(0) \neq 0, \\ \varphi^l(1) = \tilde{x}^T(1) w^l(0), \\ \eta(k+1) = r^{-1}(k+1), \\ r(k+1) = \xi r(k) + \|\tilde{x}(k+1)\|^2, \quad 0 \leq \xi \leq 1. \end{cases} \quad (3)$$

In fig. 3 modified Oja's neuron is presented. This system is characterized by only one tuning parameter ξ that permits to realize learning procedure in simple form.

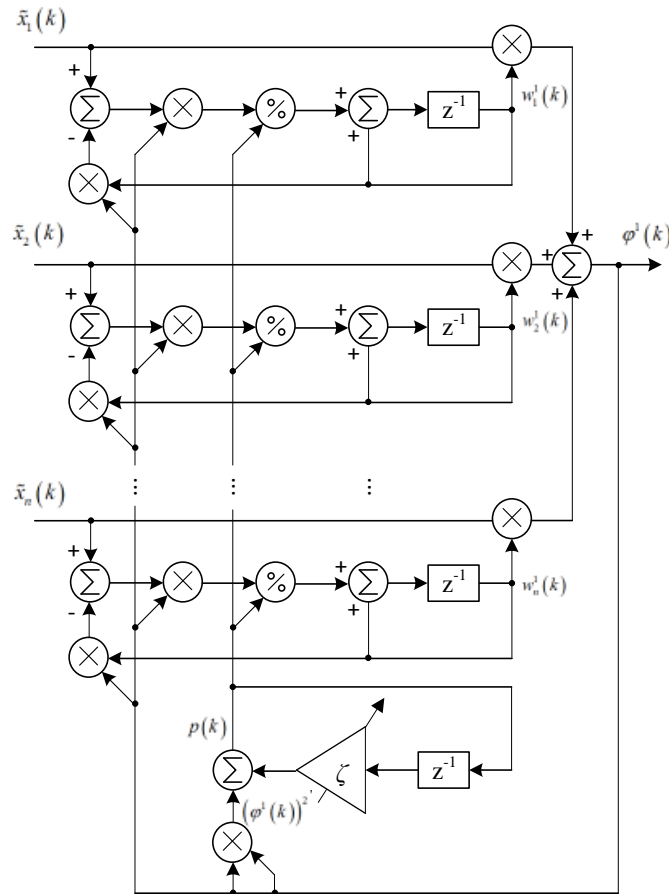


Fig. 3. Modified Oja's neuron

Using modified Oja's neuron we can to introduce modified Sanger neural network similar to previous

combination, presented on fig. 1 and fig. 2. Modified Sanger neural network can be trained by the expression:

$$\begin{cases} w^l(k+1) = w^l(k) + \eta(k+1)\tilde{v}^l(k+1)\varphi^l(k+1); \\ \tilde{v}^l(k+1) = \tilde{v}^{l-1}(k+1) - \varphi^l(k+1)w^l(k); \\ \tilde{v}^0(k+1) = \tilde{x}(k+1), \quad l = 1, 2, \dots, m; \\ \eta(k+1) = r^{-1}(k+1); \\ r(k+1) = \xi r(k) + \|\tilde{x}(k+1)\|^2, \quad 0 \leq \xi \leq 1. \end{cases} \quad (4)$$

However, it exist any situations when compression-reduction is impossible, since the physical meaning of the feature is lost. In such situations, it is proposed to perform clustering without compression.

In this regard, it seems appropriate to develop an online method for fuzzy clustering of high-dimensional data based on clustering ensembles under conditions of unknown number of classes in the stream of processed information.

Fuzzy clustering T. Kohonen`s neural network for high dimensional data stream processing

In the class of fuzzy clustering procedures from a mathematical point of view, the most rigorous are algorithms based on goal functions [4] and solving the problem of their optimization in the presence of certain constraints. Here the most popular is a fuzzy clustering probabilistic algorithm based on optimization of the goal function

$$\begin{aligned} E(u_j(k), c_j) &= \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^m u_j^\beta(k) \|x(k) - c_j\|^2 = \\ &= \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^m u_j^\beta(k) \sum_{i=1}^n (x_i(k) - c_{ji})^2, \end{aligned} \quad (5)$$

subject to constraints

$$\sum_{j=1}^m u_j(k) = 1, \quad (6)$$

$$0 \leq \sum_{k=1}^N u_j(k) \leq N. \quad (7)$$

Here $u_j(k) \in [0, 1]$ – the level of fuzzy membership of the observation $x(k)$ to the j -th cluster, c_j – centroid of j -th cluster, β – fuzzifier, which determines the blurring of the boundaries between clusters.

The solution of the optimization problem (5) in the presence of constraints (6), (7) with the help of Lagrange uncertain multipliers leads to the will known result

$$\begin{cases} u_j(k) = \frac{\left(\|x(k) - c_j\|^2\right)^{\frac{1}{1-\beta}}}{\sum_{i=1}^m \left(\|x(k) - c_i\|^2\right)^{\frac{1}{1-\beta}}}, \\ c_j = \frac{\sum_{k=1}^N u_j^\beta(k) x(k)}{\sum_{k=1}^N u_j^\beta(k)} \end{cases} \quad (8)$$

which for $\beta = 2$ completely coincides with FCM of J. Bezdek.

The probabilistic algorithm of fuzzy clustering (8) is widely used in Data Mining, however, it loses its effectiveness in data processing tasks of high dimensionality due to the resulting effect of concentration of norms [23]. To overcome this drawback, in [15] it was proposed to use the so-called polynomial fuzzifier and a procedure known as fuzzy C-means with polynomial fuzzifier (PFCM). An adaptive online version of the PFCM was introduced in [24] for solving the tasks of Data Stream Mining.

In [25], for solving problems of data of high dimensionality clustering, the modification of FCM was proposed with weighting each of the features $x_i(k)$ that form the vector-pattern $x(k) \in R^n$, $i = 1, 2, \dots, n$.

By combining these two approaches, let`s introduce into consideration the goal function of fuzzy clustering of the form

$$\begin{aligned} E(u_j(k), c_j, \alpha, \gamma_{ji}) &= \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^m (\alpha u_j^2(k) + (1-\alpha)u_j(k)) \|x(k) - c_j\|_{r_j}^2 = \\ &= \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^m (\alpha u_j^2(k) + (1-\alpha)u_j(k)) \sum_{i=1}^n \gamma_{ji}^2 (x_i(k) - c_{ji})^2, \end{aligned} \quad (9)$$

with constraints (6), (7) and additional constraints

$$\sum_{i=1}^n \gamma_{ji} = \text{Tr} \Gamma_j = 1 \quad \forall j = 1, 2, \dots, m. \quad (10)$$

Here $0 < \alpha \leq 1$ – polynomial fuzzifier, γ_{ji} – weight of i -th attribute in j -cluster, $\Gamma_j = \text{diag}(\gamma_{j1}, \gamma_{j2}, \dots, \gamma_{jm})$.

Optimization of the goal function (9) under the constraints (6), (7), (10) using the uncertain Lagrange multipliers leads to a result which is a generalization of (8) and coincides with it with $\alpha = 1$, $\gamma_{ji} = m^{-1}$.

$$\begin{cases} u_j(k) = \frac{\alpha - 1}{2\alpha} + \frac{1 - m \frac{\alpha - 1}{2\alpha}}{\sum_{i=1}^m \frac{\|x(k) - w_i\|_{r_i}^2}{\|x(k) - w_j\|_{r_j}^2}}, \\ \gamma_{ji} = \left(\sum_{h=1}^n \left(\frac{\sum_{k=1}^N (\alpha u_j^2(k) + (1-\alpha)u_j(k)) (x_i(k) - c_{ji})^2}{\sum_{k=1}^N (\alpha u_j^2(k) + (1-\alpha)u_j(k)) (x_h(k) - c_{ji})^2} \right) \right)^{-1}, \\ w_{ji} = \frac{\sum_{k=1}^N (\alpha u_j^2(k) + (1-\alpha)u_j(k)) \gamma_{ji}^2 x_i(k)}{\sum_{k=1}^N (\alpha u_j^2(k) + (1-\alpha)u_j(k)) \gamma_{ji}^2}. \end{cases} \quad (11)$$

The last expression of (11) for calculating centroids of clusters can be rewritten in recurrent form.

$$c_j(k) = c_j(k-1) + \theta(k) (\alpha u_j^2(k-1) + (1-\alpha)u_j(k-1)) \Gamma_j^2(k-1) (x(k) - c_j(k-1)), \quad (12)$$

which essentially coincides with the self-learning WTM-rule by T. Kohonen [5], where the factor $(\alpha u_j^2(k-1) + (1-\alpha)u_j(k-1))\Gamma_j^2(k-1)$ describes the

neighborhood function and $0 < \theta(k) < 1$ is the learning rate parameter.

Thus, the process of high-dimensional data clustering (11), (12) is conveniently implemented using the architecture shown in fig. 4 which is a modification of the neuro-fuzzy network of T. Kohonen [26, 27].

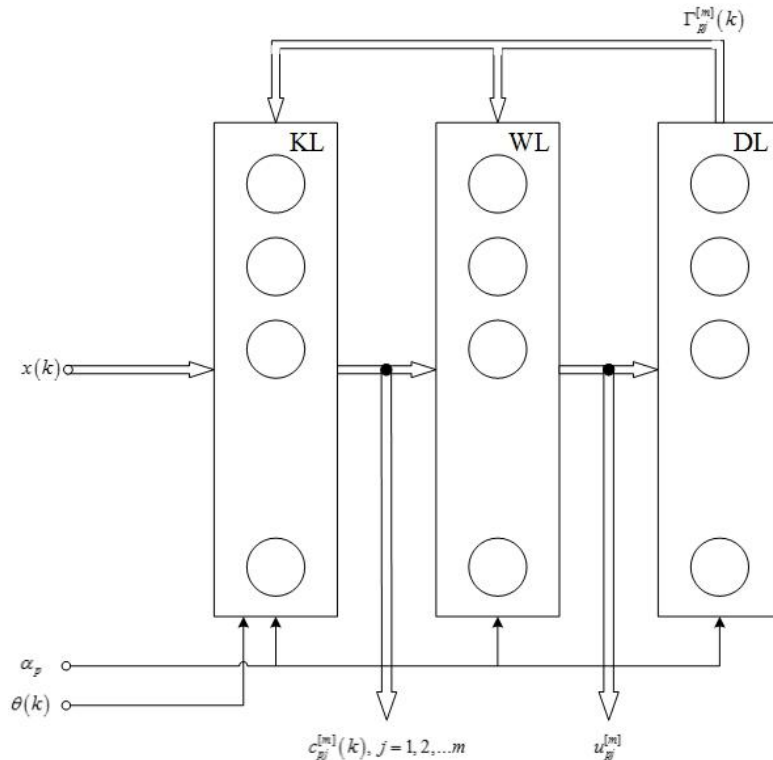


Fig. 4. Adaptive neuro-fuzzy Kohonen network – $FSOM_p^{[m]}$

Here, the first hidden kernel layer (KL) is essentially a standard SOM neural network [5], which contains m neurons in the Kohonen layer, whose synaptic weights-centroids are tuned using the WTM learning rule (12), in the second hidden layer ML, the membership levels of k -th observation to j -th cluster $u_j(k)$ using the first relation (11) are estimated, and in the output layer WL weights γ_{ji} are calculated using the second relation of (11).

The values of learning rate parameter $\theta(k)$ and the polynomial fuzzifier α_p from a certain apriori given set $0 < \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p, \dots, \alpha_q = 1$ are fed to the additional inputs of the network.

Clustering Ensemble Architecture

To solve the problem of clustering in conditions where the number of clusters is unknown, we propose to use an ensemble of clustering neuro-fuzzy Kohonen's networks, whose architecture is shown in fig. 5. This ensemble contains $(M-1)_q$ $FSOM_p^{[m]}$, where index $[m]$ means the number of clusters into which this network splits the sample to be processed – i.e. the number of neurons in the Kohonen's layer KL, and p – is the index

of a specific fuzzifier, taking q values. All elements are tuned using the same type of procedures (11), (12), which differ from each other only in the values of m and α .

In blocks $MEXB_p^{[m]}$, the quality of clustering provided by a particular FSOM is evaluated, and the output layer of the DM ensemble selects the best from $(M-1)q$ results of the previous layers, i.e. the number of clusters m^* in the processed data, the centroids of the formed clusters $c_1^*, c_2^*, \dots, c_m^*$ and the levels of each observation $u_1^*(k), u_2^*(k), \dots, u_m^*(k)$ to the corresponding cluster membership.

To estimate the quality of clustering, each of the elements of the ensemble can be used in any of the fuzzy clustering indexes [2], where one of the most popular is the Xie-Beni index [28], which for the FCM procedure in the case of m clusters can be written in the form

$$XB^{[m]} = \frac{\left(\sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^m u_j^2(k) \|x(k) - c_j\|^2 \right) / N}{\min_{l \neq j} \|c_j - c_l\|^2} = \frac{NXB^{[m]}}{DXB^{[m]}}. \quad (13)$$

For online processing, it is possible to enter the recurrent version of the XB-index in the form

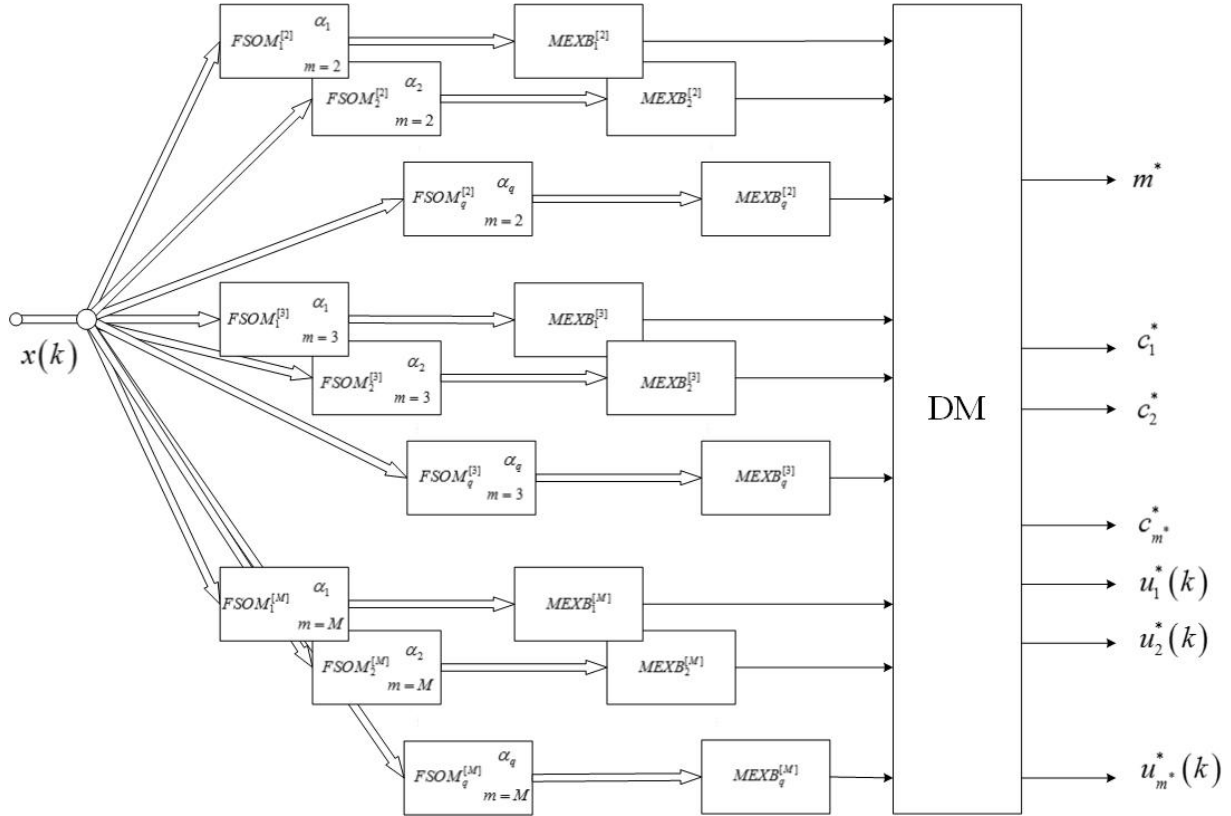


Fig. 5. The ensemble for online fuzzy clustering of high-dimensional data

$$XB^{[m]}(k) = \frac{NXB^{[m]}(k)}{DXB^{[m]}(k)} = \frac{NXB^{[m]}(k-1) + \frac{1}{k} \left(\sum_{j=1}^m u_j^2(k) \|x(k) - c_j(k)\|^2 - NXB^{[m]}(k-1) \right)}{\min_{l \neq j} \|c_j(k) - c_l(k)\|^2}. \quad (14)$$

The smaller is the value (13), (14), the higher is the quality of clustering. For procedure (8) the extended Xie-Beni index can be used [29]

$$EXB^{[m]} = \frac{\sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^m u_j^\beta(k) \|x(k) - c_j\|^2 / N}{\min_{l \neq j} \|c_j - c_l\|^2}, \quad (15)$$

$$EXB^{[m]}(k) = \frac{NEXB^{[m]}(k)}{DEXB^{[m]}(k)} = \frac{NEXB^{[m]}(k-1) + \frac{1}{k} \left(\sum_{j=1}^m u_j^\beta(k) \|x(k) - c_j(k)\|^2 - NEXB^{[m]}(k-1) \right)}{\min_{l \neq j} \|c_j(k) - c_l(k)\|^2}. \quad (16)$$

or its online version

By analogy with (15), (16), we can introduce modification EXB-index for the goal function (9)

$$MEXB_p^{[m]} = \frac{\left(\sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^m \left(\alpha_p (u_{pj}^{[m]}(k))^2 + (1 - \alpha_p) u_{pj}^{[m]}(k) \right) \|x(k) - c_{pj}^{[m]}\|^2 \right) / N}{\min_{l \neq j} \|c_{pj}^{[m]} - c_{pl}^{[m]}\|^2} = \frac{NMEXB_p^{[m]}}{DMEXB_p^{[m]}}, \quad (17)$$

or its online version

$$MEXB_p^{[m]}(k) = \frac{NMEXB_p^{[m]}(k)}{DMEXB_p^{[m]}(k)} = \frac{NMEXB_p^{[m]}(k-1) + \frac{1}{k} \left(\sum_{j=1}^m \left(\alpha_p (u_{pj}^{[m]}(k))^2 + (1 - \alpha_p) u_{pj}^{[m]}(k) \right) \|x(k) - c_{pj}^{[m]}(k)\|^2 - NMEXB_p^{[m]}(k-1) \right)}{\min_{l \neq j} \|c_{pj}^{[m]}(k) - c_{pl}^{[m]}(k)\|^2}. \quad (18)$$

In the course of data processing, the decision making (DM) unit finds $FSOM_p^{m*1}$ with the best value of $MEXB_p^{m*1}$ and the results of work of this particular neuro-fuzzy network determines the final result of clustering.

Experiments.

To solve the problem of determination the optimal number of clusters in datasets we have used proposed ensemble for online fuzzy clustering. We have choose Dermatology dataset [30] from UCI Machine Repository. It contains 366 instances, but some of attributes has missed values, so they need to be filled using, for example, fuzzy spatial extrapolation approach from [31]. Number of attributes is 34, 35-th attribute is class-diagnosis. Value 1 is interpreted as psoriasis (112 instances); value 2 – seboric dermatitis (61 instances); value 3 – lichen planus (72 instances); value 4 – pityriasis rosea (49 instances); value 5 – cronic dermatitis (52 instances); value 6 – pityriasis rubra pilaris (20 instances).

It is easy to see that number of features is close to number of instances and we can talking about high-dimensional data.

In fig. 6 visualization using principal component analysis (PCA-analysis three principal components) is presented.

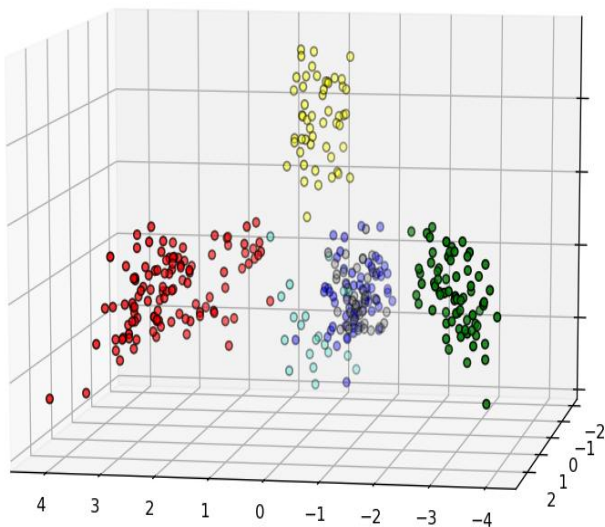


Fig. 6. The visualization of Dermatology dataset

In table 1 values of Xie-Beni indexes for different number of clusters are presented. Minimal value correspond to MHDFCM when parameter α is equal to 0,5 or 1. K-means algorithm shows very high values of Xie-Beni index, so we can talk about not effective clusterization results. Fuzzy c-means algorithm can not process proposed dataset because of CoN (concentration of norm).

References

1. Gan, G., Ma, Ch., Wu, J. (2007), *Data Clustering. Theory, Algorithms and Application*, SIAM, Philadelphia, 489 p.
2. Xu, R., Wunsch, D. C. (2009), *Clustering*, IEEE Press Series on Computational Intelligence, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, 368 p.

Table 1. Values of parameter α and Xie-Beni index for Dermatology dataset

Algorithms type	Xie-Beni	Number of Clusters
K-means	1,3524 x 1024	2
MHDFCM $\alpha = 0,5$	0,00009	
MHDFCM $\alpha = 1,0$	0,00006	
FCM	CoN	3
K-means	9,401 x 1025	
MHDFCM $\alpha = 0,5$	0,00004	
MHDFCM $\alpha = 1,0$	0,00002	4
FCM	CoN	
K-means	2,63023 x 1025	
MHDFCM $\alpha = 0,5$	49266	5
MHDFCM $\alpha = 1,0$	1507297	
FCM	CoN	
K-means	4,5374 x 1025	6
MHDFCM $\alpha = 0,5$	50909	
MHDFCM $\alpha = 1,0$	404	
FCM	CoN	7
K-means	1,6282 x 1026	
MHDFCM $\alpha = 0,5$	1244	
MHDFCM $\alpha = 1,0$	1973697	8
FCM	CoN	
K-means	7,3338 x 1025	
MHDFCM $\alpha = 0,5$	37252	8
MHDFCM $\alpha = 1,0$	1929	
FCM	CoN	
K-means	9,499 x 1025	8
MHDFCM $\alpha = 0,5$	240	
MHDFCM $\alpha = 1,0$	48135	
FCM	CoN	

Conclusions

The architecture and algorithm of the neuro-fuzzy self-learning system is proposed to solve the problem of online clustering of a high-dimensional data stream in conditions where the formed clusters can overlap and their number is not known apriori. The system under consideration is an ensemble of neuro-fuzzy T. Kohonen's self-organizing maps, each of them differs from the others in the number of neurons and the value of the polynomial fuzzifier. Each member of the ensemble is tuned using the modified WTM self-learning rule, while in the process of tuning all components of the processed vectors are automatically weighed.

The proposed approach is a generalization of a number of known fuzzy probabilistic clustering procedures and can be used to solve Data Stream Mining tasks in online mode.

Experimental results on Dermatology datasets from UCI repository affect the performance of the proposed modified high-dimensional fuzzy c-means approach and ensemble for online fuzzy clustering of high-dimensional data streams based on it.

3. Bifet, A. (2010), *Adaptive Stream Mining. Pattern Learning and Mining from Evolving Data Streams*, Amsterdam, IOS Press, 224 p.
4. Bezdek, J. C. (1981), *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*, N.Y., Plenum Press, 272 p
5. Kohonen, T. (1995), *Self-Organizing Maps*, Springer-Verlag, Berlin, 362 p.
6. Pelleg, D., Moor, A. (2000), "X-means: extending K-means with efficient estimation of the number of clusters", *Proc. 17th Int. Conf. on Machine Learning, Morgan Kaufmann, San Francisco*, P. 727–730.
7. Ishioka, T. (2005), "An expansion of X-means for automatically determining the optimal number of clusters", *Proc. 4th IASTED Int. Conf. Computational Intelligence*, Calgary, Alberta, P. 91–96.
8. Strehl, A., Ghosh, J. (2002), "Cluster Ensembles – A knowledge reuse framework for combining multiple partitions", *Journal of Machine Learning Research*, P. 583–617.
9. Topchy, A., Jain, A.K., Punch, W. (2005), "Clustering ensembles: models of consensus and weak partitions", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, No. 27, P. 1866–1881.
10. Alizadeh, H., Minaei-Bidgoli, B., Parvin, H. (2013), "To improve the quality of cluster ensembles by selecting a subset of base clusters", *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, No. 26, P. 127–150.
11. Charkhabi, M., Dhot, T., Mojarad, S.A. (2014), "Cluster ensembles, majority vote, voter eligibility and privileged voters", *Int. Journal of Machine Learning and Computing*, No. 4, P. 275–278
12. Zhernova, P., Deyneko, A., Bodyanskiy, Ye., Riepin, V. (2018), "Adaptive kernel data streams clustering based on neural networks ensembles in conditions of uncertainty about amount and shapes of clusters", *IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing, August 21-25, Lviv, Ukraine*, P. 7–12.
13. Bezdek, J., Keller, J., Krisnapuram, R., Pal, N. (2005), *Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing*, Springer, 776 p.
14. Gorshkov, Ye., Kolodyazhnyi, V., Bodyanskiy, Ye. (2009), "New recursive learning algorithms for fuzzy Kohonen clustering network", *In Proc. 17th Int. Workshop on Nonlinear Dynamics of Electronic Systems, Rapperwil, Switzerland*, P. 58–61.
15. Höppner, F., Klawonn, F., Kruse, R. (1999), *Fuzzy Klusteranalyse*, Braunschweig, Vieweg, 280 p.
16. Höppner, F., Klawonn, F., Kruse, R. (1996), *Fuzzy-Klusteranalyse, Verfahren für die Bilderkennung, Klassifikation und Datenanalyse*, Braunschweig, Vieweg, 292 p.
17. Oja, E. (1989), "Neural Network, principal components and subspaces", *Int. J. of Neural Systems*, No. 1, P. 61–68.
18. Sanger, T. (1989), "Optimal unsupervised learning in a single-layer linear feedforward neural network", *Neural Networks*, No. 2, P. 459–473.
19. Bodyanskiy, Ye., Mihaliov, O., Pliss I. (2000), *Adaptive fault detection in control systems using artificial neural networks*, Dnepropetrovsk : System Technologies, 140 p.
20. Überla, K. (1997), *Faktorenanalyse*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 398 p.
21. Oja, E. (1982), "A simplified neuron model as a principal component analyzer", *J. of Math. Biology*, No. 15, P. 267–273.
22. Vazan, M. T. (1969), *Stochastic approximation*, Cambridge, Cambridge University Press, 289 p.
23. Shakhovska, N., Medykovsky, M., Stakhiv, P. (2013), "Application of algorithms of classification for uncertainty reduction", *Przeglad Elektrotechniczny*, No. 4, P. 284–286.
24. Kolchygin, B. V., Bodyanskiy, Ye. V. (2013), "Adaptive fuzzy clustering with a variable fuzzifier", *Cybernetics and Systems Analysis*, No. 3, P. 366–374.
25. Keller, A., Klawonn F. (2000), "Fuzzy Clustering with weighting of data variables", *Uncertainty, Fuzziness and Knowledge Based Systems*, No. 8, P. 735–746.
26. Bodyanskiy, Ye., Kolchygin, B., Pliss I. (2011), "Adaptive neuro-fuzzy Kohonen network with variable fuzzifier", *Inform. Theories and Appl.*, No. 3, P. 215–223.
27. Bodyanskiy, Ye., Zhernova, P. (2018), "Kernel fuzzy data stream clustering based on neural networks ensemble", *Inovative Technologies & Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (6), P. 42–49. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.6.042>.
28. Xie, X. L., Beni, G. A. (1991), "Validity Measure for Fuzzy Clustering", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, No. 13, P. 841–847.
29. Bodyanskiy, Ye. V., Tyshchenko, O. K., Kopaliani, D. S. (2017), "An Evolving Connectionist System for Data Stream Fuzzy Clustering and Its Online Learning", *Neurocomputing*, No. 262, P. 41–56.
30. "Dermatology dataset", available at: <http://archive.ics.uci.edu/ml/machine-learning-databases/dermatology/dermatology.data> (last accessed: 1st of May, 2018).
31. Mulesa, P., Perova, I. (2015), "Fuzzy Spacial Extrapolation Method Using Manhattan Metrics for Tasks of Medical Data Mining", *Computer Science and Information Technologies, CSIT'2015, Lviv, Ukraine*, P. 104–106. DOI: <https://doi.org/10.1109/STC-CSIT.2015.7325443>.

Received 12.02.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бодяньський Євгеній Володимирович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри штучного інтелекту, науковий керівник ПНДІ АСУ, Харків, Україна, e-mail: yevgeniy.bodyanskiy@nure.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5418-2143>.

Бодяньський Євгеній Володимирович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри штучного інтелекту, науковий керівник ПНДІ АСУ, Харків, Україна.

Bodyanskiy Yevgeniy – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor at the Department of Artificial Intelligence, Scientific Head at the CSRL, Kharkiv, Ukraine.

Перова Ірина Геннадіївна – кандидат технічних наук, с.н.с., доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри біомедичної інженерії, Харків, Україна, e-mail: rikywenok@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2089-5609>.

Перова Ирина Геннадьевна – кандидат технических наук, с.н.с., доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры биомедицинской инженерии, Харьков, Украина.

Perova Iryna – PhD (Engineering Sciences), Senior Researcher, Associate Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Associate Professor at the Department of Biomedical Engineering, Kharkov, Ukraine.

Жернова Полина Євгенівна – Харківський національний університет радіоелектроніки, асистент кафедри системотехніки, Харків, Україна, e-mail: polina.zhernova@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2154-4766>.

Жернова Полина Евгеньевна – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, ассистент кафедры системотехники, Харьков, Украина.

Zhernova Polina – Kharkiv National University of Radio Electronics, Assistant Lecturer at the Department of System Engineering, Kharkiv, Ukraine.

ОНЛАЙН НЕЧІТКА КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ПОТОКІВ ДАНИХ ВИСОКОЇ РОЗМІРНОСТІ НА ОСНОВІ АНСАМБЛІВ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Предметом дослідження в статті є нечітка кластеризація даних високої розмірності на основі ансамблевого підходу за умови, що кількість та форма кластерів невідомі. **Мета** роботи – створення нейро-фаззі підходу для кластеризації даних, коли потік даних подається на обробку в онлайн-режимі в припущенні, що кількість та форма кластерів невідомі. У статті вирішуються наступні **завдання**: компресія вхідного простору ознак в онлайн режимі, формування моделі ансамблів нейронних мереж для кластеризації даних, розробка ансамблю нейро-фаззі мереж для кластеризації даних високої розмірності, розробка підходу для кластеризації даних в онлайн режимі. Отримані наступні **результати**: основна ідея запропонованого підходу заснована на модифікації нечіткого алгоритму С-середніх. Для зниження розмірності вхідного простору пропонується використовувати модифіковану мережу Хебба-Сенгера, яка відрізняється підвищеною швидкістю та побудовану на основі модифікованих нейронів Ойя. Запропоновано оптимізований за швидкістю алгоритм навчання нейрона Ойя. Така мережа реалізує метод головних компонент в онлайн-режимі з високою швидкістю. **Висновки**: В тому випадку, якщо процедура редукції-компресії не може бути використана через можливість втрати фізичного сенсу вихідного простору, нами запропоновано новий критерій кластеризації, який містить в собі як відомий поліноміальний фаззифікатор, так і зважування окремих компонент відхилені аналізованих образів від центроїдів кластерів. Введена рекуррентна модифікація заснована на алгоритмах запропонованих в даній статті. Розроблено математичну модель для визначення якості кластеризації з використанням індекса Ксі-Бені, який був модифікований для онлайн режиму. Експериментальні результати підтвердили той факт, що запропонована система дозволяє вирішувати широкий спектр завдань Data Mining, коли набори даних обробляються в онлайн-режимі за умови, що кількість та форма кластерів не відомі, а також мають велику кількість спостережень.

Ключові слова: кластерування; метод нечітких С-середніх; послідовний аналіз головних компонент; ансамбль нейро-фаззі мереж; нейронна мережа Т. Кохонена; самонавчання.

ОНЛАЙН НЕЧЕТКАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ПОТОКОВ ДАННЫХ ВЫСОКОЙ РАЗМЕРНОСТИ НА ОСНОВЕ АНСАМБЛЕЙ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Предметом исследования в статье является нечеткая кластеризация данных высокой размерности на основе ансамблевого подхода при условии, что количество и форма кластеров неизвестны. **Цель** работы – создание нейро-фаззи подхода для кластеризации данных, когда поток данных подается на обработку в онлайн-режиме в предположении, что количество и форма кластеров неизвестны. В статье решаются следующие **задачи**: компрессия входного пространства признаков в онлайн режиме, формирование модели ансамблей нейронных сетей для кластеризации данных, разработка ансамбля нейро-фаззи сетей для кластеризации данных высокой размерности, разработка подхода для кластеризации данных в онлайн режиме. Получены следующие **результаты**: основная идея предложенного подхода основана на модификации нечеткого алгоритма С-средних. Для снижения размерности входного пространства предлагается использовать модифицированную сеть Хебба-Сенгера, отличающуюся повышенным быстродействием и построенную на основе модифицированных нейронов Ойя. Предложен оптимизированный по быстродействию алгоритм обучения нейрона Ойя. Такая сеть реализует метод главных компонент в онлайн-режиме с высоким быстродействием. **Выводы**: В том случае, если процедура редукции-компрессии не может быть использована из-за возможности потери физического смысла исходного пространства, нами введен новый критерий кластеризации, содержащий в себе как известный полиномиальный фаззификатор, так и взвешивание отдельных компонент отклонений предъявляемых образов от центроидов кластеров. Введена рекуррентная модификация, основанная на алгоритмах, предложенных в данной статье. Разработана математическая модель для определения качества кластеризации с использованием индекса Кси-Бени, который был модифицирован для онлайн режима. Экспериментальные результаты подтвердили тот факт, что предлагаемая система позволяет решать широкий спектр задач Data Mining, когда наборы данных обрабатываются в онлайн-режиме при условии, что количество и форма кластеров не известны, а также содержат большое количество наблюдений.

Ключевые слова: кластеризация; метод нечетких С-средних; последовательный анализ главных компонент; ансамбль нейро-фаззи сетей; нейронная сеть Т. Кохонена; самообучение.

N. BOLOHOVA, I. RUBAN

IMAGE PROCESSING MODELS AND METHODS RESEARCH AND WAYS OF IMPROVING MARKER RECOGNITION TECHNOLOGIES IN ADDED REALITY SYSTEMS

The **subject** matter of article is method of image processing, which identify and describe the local features of images. The **aim** of the article is the determination of ways for interconnection of the methods for processing the image and technologies creation in the development of markers in the systems of additional reality. The following **tasks** are solved in the article: to analyze the existing methods and algorithms for finding objects in two-dimensional images to determine the basic marker recognition technology in the complementary reality systems. Analyzed genetic, neural network, statistical and fractal methods, as well as approaches to the algorithms implementation of in the software construction for systems of complementary reality. The next **results** were obtained: a review and a comparative analysis of the main known algorithms for detecting key points in the images were conducted. It was suggested in the development of marker recognition methods it is necessary to develop a procedure of preliminary image processing for the formation algorithms of the front image for the marker under different conditions of obtaining images. At segmentation stages, it is expedient to use genetic algorithms based on the best indicators of proper segmentation and low processing time, but it is necessary to develop functions that are appropriate for the format of the markers. Improve existing methods for processing segmentation results based on a criterion base describing a visual model representing a marker. **Conclusions:** as a result of the analysis, the following conclusion can be drawn. The fastest and the most accurate algorithm for putting key points is the genetic algorithm (average time of the algorithm is 5.23 seconds, the number of correct answers is 84.25). The longest working time is the neural network method – 8.45 seconds, the accuracy of this algorithm is also the lowest - 52. Another advantage of the algorithm of point matching is that if the object goes beyond the frame and then returns again, the program will again continue to track this object. This is supported by algorithms of machine learning. You can also notice that the SIFT calculation works much faster than fractal texture analysis. These results suggest that there are currently no methods for recognizing markers, allowing high accuracy of less than one unit to recognize in a short time. In our opinion, one of the promising directions is the use of Royan methods, namely the development of target functions for accurate and fast recognition of the image by markers.

Keywords: augmented reality; marker; non-marker technology; descriptor; reference points; Charis Corner Detector; genetic algorithms; neuron network; SIFT.

Introduction

The technology of augmented reality becomes more and more popular every day and can be used in various fields of activity, such as computer games, tourism, shopping, gadgets, social networks, military affairs and even furniture collection, and will allow making various tasks easier and more functional.

Augmented reality (AR) is a technology that allows you to overlay the real world of digital data and messages about the object being studied using the computer devices.

Models and methods of applying the technologies of the augmented reality allow expanding the possibilities for user interaction with the software. Apps are not only entertaining, but also serve as a visual representation of something complicated. But at the moment the possibilities of this technology are not fully disclosed [1].

The use of augmented reality technology allows you to quickly access additional product information such as visual (3D images), audio or text. As an example, it may be the company logo, geometric image, text information, presentation of the product, etc. [2].

Analysis of marker recognition technologies

The augmented reality marker is an object (image) that is an identifier for activating the display of additional information. A generalized marker recognition algorithm is depicted as a flowchart in fig. 1.

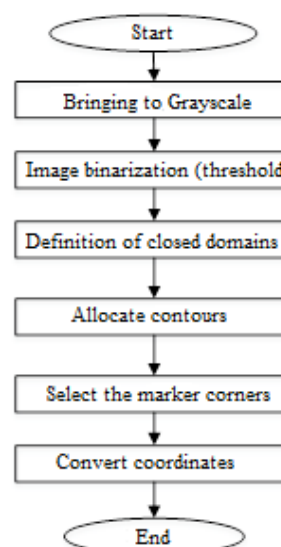


Fig.1. A generalized marker recognition algorithm

It is possible to distinguish two main principles of construction of the augmented reality:

- Marker technologies, in which the marker usually has a contrasting high-resolution picture frame with an image inside.

- Markerless technologies which is based on the user location coordinates or based on reference points (markers) of the image.

Schematic search methods for markers are presented in fig. 2.

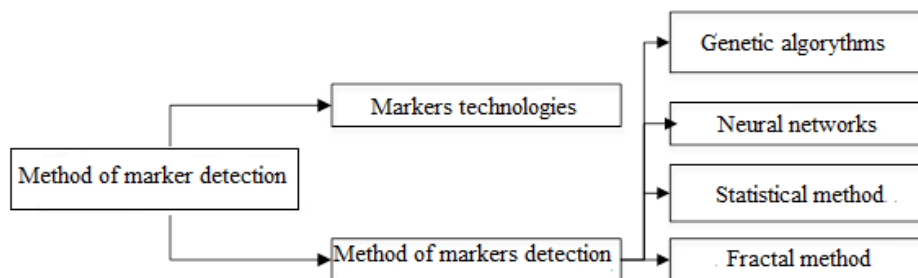


Fig. 2. The main methods of detecting markers

In order to ensure the consistent recognition of markers. Conduct an analysis of methods and algorithms for searching objects in a two-dimensional image based on image segmentation technologies according to the classification criteria and provide recognition procedures.

The purpose of this article is to determine the ways of improving the methods of image processing in marker recognition technologies in complementary reality systems.

The following tasks are solved in the article:

- 1) to analyze the technology of constructing markers;
- 2) to carry out analysis of markers and segmentation of images in the part of image segmentation by local attributes;
- 3) to identify ways to improve marker recognition methods in complementary reality systems.

Analysis of image processing methods in terms of segmentation

At the basis of non-marker technologies there are the recognition algorithms, with which the virtual grid is superimposed on the surrounding terrain shot by the camera. On this grid, the software algorithms have certain points that determine the exact location to which the virtual model will be tied.

The main requirement for an image in non-marker technologies is the contrast of the picture. If this condition is met, a logo, a photograph and a landscape – any image can be used to bind objects of augmented reality [3].

One of the main problems is the separation of the false image point from the real ones when tracking the motion of the camera or when reconstructing the three-dimensional scene. It is complicated by the fact that it is impossible to reliably solve it, working with only one image. It is necessary to establish a match between the features of several images, and then build a model to which these matches will satisfy the best. Special points, the conformity of which will not satisfy the model, will be considered false, or as emissions [4].

Most of the algorithms for finding point features work on the same principle: for each point of the image, some function is calculated from its boundary. The points in which this function reaches a local maximum can be distinguished from all points with some of its boundary.

There are three basic approaches to determining the local features of an image:

1. Based on image brightness: special points are calculated directly from the intensity values of the pixels of the image.

2. Image contours are used: methods extract contours and look for places with the maximum value of curvature or make the approximation of contours and determine the intersection. Such methods are sensitive to cross-border sections, since the extraction can often be incorrect in those places where 3 or more edges intersect.

3. Based on the use of the model: intensive models are used as parameters adapted to image-patterns to sub-pixel precision. They have a limited application with special points of special types (for example, L-connecting angles) and depend on the patterns used.

In practice, the methods based on the brightness of the image are mostly used for a wide application [5].

Advantages of non-marker technology:

- Any objects of the real world in the image may act as markers and do not need to create special visual identifiers for them;

- A "live 3D label" can be any graphic image applied to any surface, for example, paper, plastic or other material, not necessarily a picture inside the graphic frame;

- Practically any black-and-white or full-color images, various objects such as the face, hands, and even the human body can be the markers from which the information is read.

Disadvantages of non-marker technology:

- high-quality (contrast) high-resolution images are required;

- separating the erroneous features from the present while monitoring the movement of the camera;

- it is necessary to use a series of images to more accurately build reference points.

Genetic algorithm:

Genetic algorithm (GA) is an adaptive method of search, based on the selection of the best elements in the population, similar to the principles of evolution [6].

When using genetic algorithms for solving the optimization problem it is necessary:

1. Determine the number and type of task variables that need to be encoded in the chromosome.

2. Determine the criterion for assessing individuals by setting the fitness function (target function).

3. Select the coding method and its parameters.

4. Determination of parameters of GA (population size, type of selection, genetic operators and their probability, the amount of breaks in generations).

The parameters of GA, defined in paragraph 4 (as well as, sometimes, in paragraphs 2 and 3), are characterized by the method of checking variants, based on the analysis of the results obtained. To analyze the results of GA work it is necessary to conduct several algorithm launches.

In fig. 3 the general scheme of problem solving using GA is given

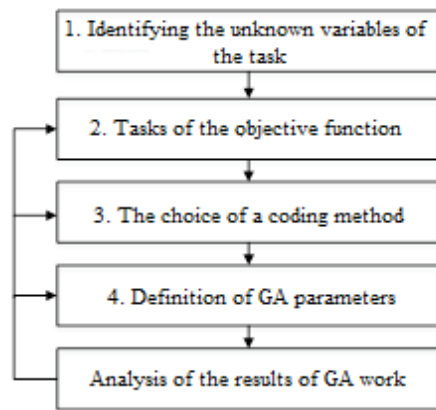


Fig. 3. General scheme of task solving using GA

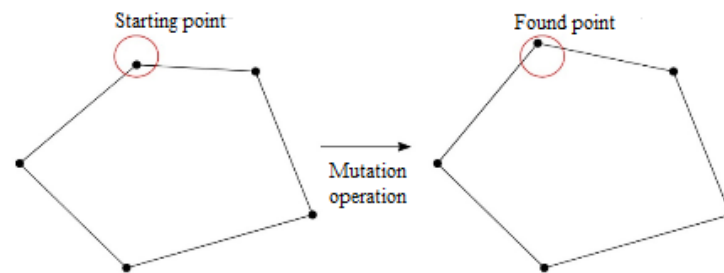


Fig. 4. Example of mutation of the contour

Two types of crossover are implemented:

1. Both parents are cut at some arbitrary point, then the parts of one of the parents are connected with parts of another and a new organism appears. This crossover is

called one-point crossover, and it is sometimes referred to as a crossover based on "cut and connect" (CutandSplice) (fig. 5);

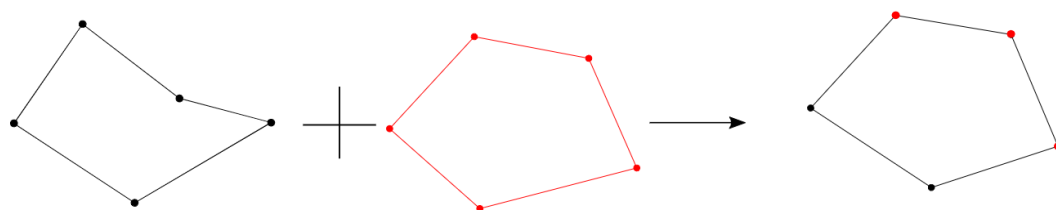


Fig. 5. Example of the implementation of the "one point" crossover

2. The only descendant with a certain probability is assigned the genes of one of the parents. This type of crossover is called "uniform" (fig. 6). It is notable that it

simulates the action of all possible types of crossover based on "cutting and joining," giving much more variation [8].

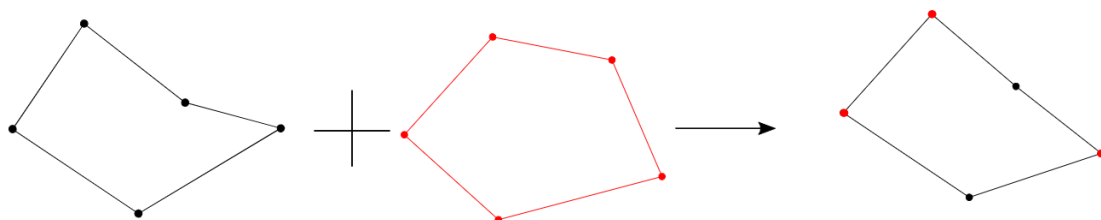


Fig. 6. An example of a "uniform" crossover

Species selection can be implemented using the "Tournament" method. The idea of this method is that for the selection of each candidate there are several "tournaments" (from 1 and more), each of which randomly chooses one individual population; in order to then compare its suitability with that which was chosen earlier.

As a function of the adaptation, the modified energy functional proposed in [8] is used. It should be noted that the original image is reduced to a type in gray scale, after which the Gauss filter is narrowed. The result of the search for the reference points (markers) is presented in fig. 7.

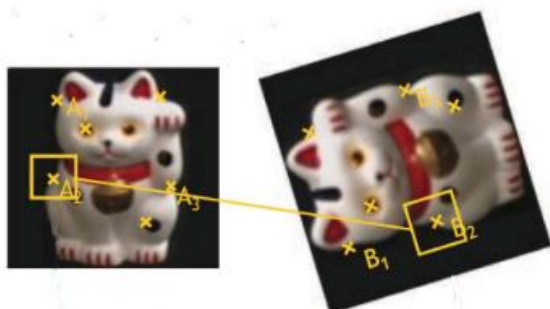


Fig. 7. The result of the genetic algorithm operation [8]

Advantages of the genetic algorithm:

- GAs work with codes that represent a formalized set of parameters, which are the arguments of the target function. In the process of GA manipulation with codes occur regardless of their semantic content, that is, the code is considered simply as a bit string.

- When implementing the GA search procedure, several points of the search space are processed simultaneously, but do not move sequentially from point to point, as in traditional methods. This approach allows overcoming the danger of falling into the local extremum of the polymodal target function. The use of multiple points at the same time greatly reduces the likelihood of a similar event.

- In the course of the work of the GA, they do not use additional information, except for data on the area of admissible values of parameters and the target function at any point, which increases the speed of their work.

- To generate new points of the search space at the same time, GA uses both probabilistic and deterministic rules, which gives a much greater effect than each of these methods separately.

- Disadvantages of the Genetic Algorithm:



Fig. 8. Examples of target area templates

In the process of recognition, the point with its border of 16×16 pixels is fed to the input of the neural network and evaluated the output at the output. The experiments given in the article [10] show that learning

- The optimal solution is not guaranteed.

- It is only the specialist who can effectively formulate the task, determine the criteria for selecting chromosomes (specify the code) and other parameters of the GA.

- The rather high computational complexity of GA leads to the fact that during the modeling of evolution, many decisions are rejected as unpredictable.

- The time complexity is, on average, lower than that of the best competing algorithms, but no more (obtained from experimental data) than one order.

- Low efficiency in the final stages of evolution modeling is explained by the fact that GA search mechanisms are not strictly focused on fast access to the local optimum prime.

- Some other issues have not been resolved, such as the problem of self-adaptation of GA.

Neural networks:

Marker recognition is the most complex process, because it means scanning all combinations of reference points on the images and matching them with the marker. Often, the quality of recognition depends on the effectiveness of many processes, ranging from the process of entering the image and ending with the formation of reference points. Therefore, it makes sense to limit the scope of interest in large-sized images. As areas used to compare markers, points were selected with the largest difference of gradient brightness. The most striking example of special points is the angles in the picture of the scene. They were determined by comparison with the standard. All the boundary points were compared with the standards for finding the most similar.

The search for corner points can be realized within the framework of different approaches, taking into account the size of the found areas and their orientation. An example is the Harris angle detector [9], which is based on the study of monotony of image areas. However, since the entire system is formed with a neuron-based solution to the problem, it is possible to use the Hopfield neuron network and the network of radial neurons to accelerate and simplify the search. When studying both networks, samples of angles, straight edges and monotonous regions, turned at different angles, were used. Examples of samples are shown in fig. 8, which shows 5 out of 55 accepted standards for processing. Each benchmark is represented by a binary matrix of 16×16 pixels.

the Hopfield network allows you to define a small number of angular points and results in a significant (up to 120 sec.) Increase in the processing time of the image. The network of radial neurons is constructed on

the calculation of the Euclidean norm of distance from the region around the point, which is investigated to all the standards according to the following scheme:

$$d(p, d_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^{n=256} (p_k - b_{jk})^2}, \quad (1)$$

where $p = \langle a_{1,1}, a_{1,2}, \dots, a_{1,16}, a_{2,1}, \dots, a_{2,16}, \dots, a_{16,16} \rangle$ – vectorized matrix of the region around the point; $a_{jk} \in [0,1]$ – the binary value of the pixel in the investigated area closed to the interval $[0,1]$; $q_j = \langle b_{j1,1}, b_{j1,2}, \dots, b_{j1,16}, b_{j2,1}, \dots, b_{j2,16}, \dots, b_{j16,16} \rangle$; $b_{jk} \in [0,1]$ – binary pixel value in the reference area.

If the minimum Euclidian distance is achieved when compared with patterns, corresponding angular peculiarities, then the point is considered special, otherwise it is shifted away. After determining the set of singular points, their coordinates are recalculated in relation to the scale of the original, not yet compressed image. The time of comparison with the standards in the network of radial neurons does not exceed 20 ... 30 s, which suggests its advantage. In addition, the number of corner areas allocated in this way is much larger than that of Hopfield networks [11].

Fig. 9 shows the processing of the frame – the search for key points.

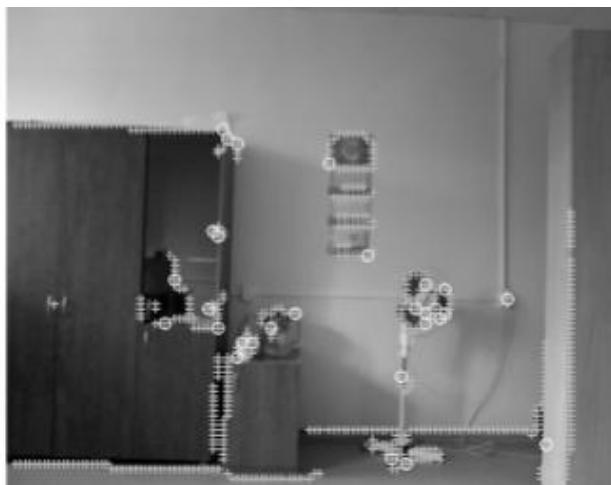


Fig. 9. Selection of key points in an image using a network of radial neurons [12]

Advantages of the neural network:

- The developed algorithm provides a comparison of special points (markers) with high accuracy, which allows reducing the errors of the following stages of the complemented reality.

- The process of creating a neural network relates more to the learning process than to the programming.

Disadvantages of Neural Network:

- Areas with a monotonous intensity change do not allow performing procedures for comparing projection images of scene points.

- Mathematical problems related to learning: getting into a local optimum, choosing the optimal optimization step, re-training.

- It is difficult to formalize the stage of choosing the network architecture (number of neurons, layers, and the nature of links).

- The size and type of input signals exactly coincide with the dimension and type of output signals. This significantly restricts the use of the network in the task of marking recognition.

SIFT:

Consider how special points are highlighted by the SIFT method. The main aspect in their finding is the construction of the Gaussian pyramid and the differences of the Gaussians. Gaussian is an image that was blurred by the Gaussian filter. It turns out as follows:

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y). \quad (2)$$

In the formula (2) $L(x, y, \sigma)$ – this is the Gaussian value at the coordinate point (x, y) and the radius of blurring σ , $G(x, y, \sigma)$ – Gass kernel, $I(x, y)$ – the value of the original image. It is worth noting that the Gass kernel does not multiply at the value of the original image, between them there is a convolution operation.

The Gaussian difference is called the image obtained by pixel-by-pixel deducing the Gaussian image of the original Gaussian image, which has another radius of blurring (we denote it as $k\sigma$):

$$D(x, y, \sigma) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma). \quad (3)$$

Next, the Gaussian pyramid is built. To do this, the entire scalable space (sets of different variations of the original image, smoothed by any filter) is divided into areas called octaves. There is a nuance that consists in the fact that the part of the scaling of space occupied by the next octave should be twice that of the part that was engaged in the previous one. Yes, and when moving from one octave to the next image size, the image is reduced twice. It is clear that any octave will cover an infinite number of Gaussian images, so they are limited only to a certain number of N with a certain step in the radius of blurring. Next, two more Gaussians are being completed, which extend beyond the octave (this is done in order to be able to check the image for the presence of extremum). The magnitude of the first image of the next octave is equal to the scale of the image from the previous octave with the number [13].

At the same time both the Gaussians pyramid and the Gaussian pyramid of differences will be built, the number of images in which will be one less than in the first (fig. 10).

After building the pyramids, special points are determined. A point is considered to be special if it is a local extremum of the Gaussian difference (fig. 11).

If the value of differences between the Gaussians at the point indicated by the cross is less or more than all of the values at the points indicated by the circle, then this point is an extremum point, that is a special point. That is, each point of the current image Gaussians difference compared to its neighboring eight points and nine neighboring points on the senior and junior levels in the pyramid. That is why we need two additional Gaussians

so that we could search for the local extremums for the

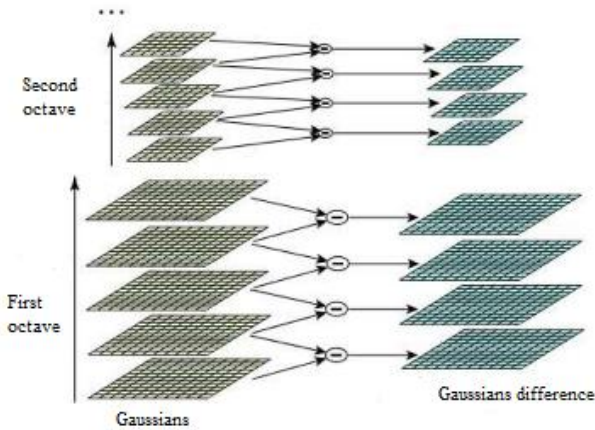


Fig. 10. Getting the Gaussian and the Gaussian difference Pyramids

Advantages of the SIFT statistical method:

1. Accuracy, stability, invariance to scale and rotation and displacement.
2. The SIFT method allows you to compare images subjected to such transformations as zooming, moving objects on the scene, turning the camera or object.
3. The SIFT algorithm works with binary images

Disadvantages of the statistical method SIFT:

1. After searching for special points, the action does not end. Next, they are checked, since not all of these points are suitable for further work in the algorithm. To do this, you need to determine the coordinates of a special point with increased accuracy.
2. It requires a lot of hardware resources for normal operation in real time.

first and last image [14].

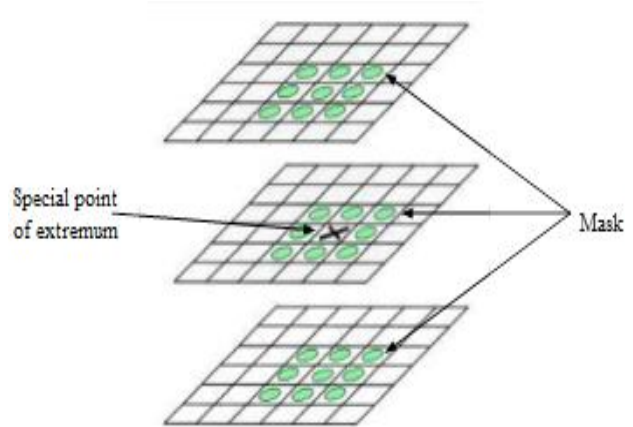


Fig. 11. Determination of a special point on a local extremum

3. Mathematical analysis shows that the application of the SIFT algorithm allows you to determine the coordinates of a location with an error of no more than one meter, regardless of time.

4. Not all received points and their descriptors will meet the stated requirements and this may affect the further solution of the problem.

Segmentation fractal texture analysis:

The algorithm for segmentation fractal analysis is intended to construct a space of signs of presentation of the texture of image I. The input of the algorithm is a half-tone image and a certain parameter.

The structure of the segmentation fractal analysis algorithm is presented in fig. 12.

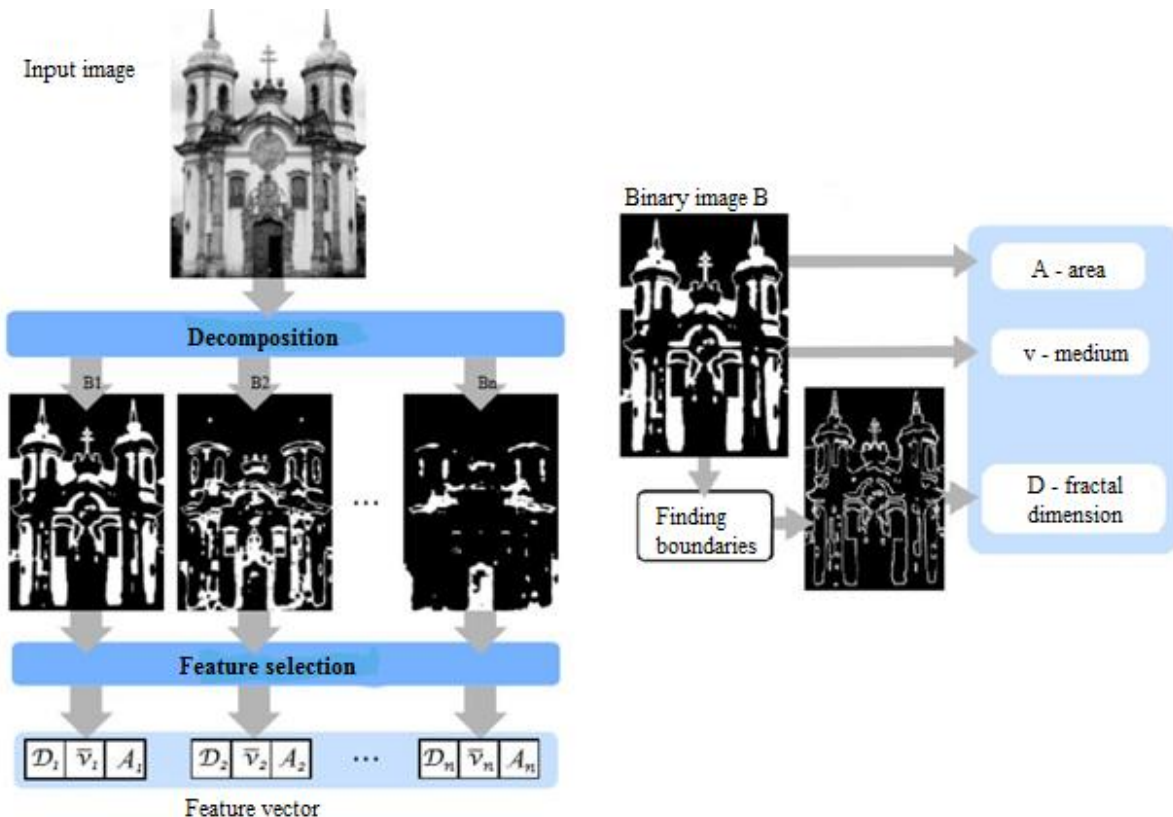


Fig. 12. The structure of the segmentation fractal analysis algorithm [16]

In the first step, you need to segment the image by brightness levels. To find the thresholds for segmentation, we will use the multilevel algorithm of the Father [15]. The idea of the Father's algorithm is to split the image into two regions in such a way as to minimize the intraoral variance. Applying this algorithm recursively, we obtain a set of threshold values. The number of requested thresholds is indicated n_i , and is the input parameter of the algorithm. The set of thresholds T is supplemented with the brightest pixel value in the image $T = \{t_i\} \cup n_i$. Next, using the found threshold values, we obtain a set of binary images $\{B_i\}$

$$B_i(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } I(x, y) \geq t_i \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

For all images with $\{B_i\}$ construct contour images $\{G_i\}$. In the formula $N_8[(x, y)]$ – set of pixels, which is in relation to the 8-connection with (x, y) . On the received images we find the following values (5).

$$G_i(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } \exists(\bar{x}, \bar{y}) \in N_8[x, y]: B_i(\bar{x}, \bar{y}) = 0 \wedge B_i(x, y) = 1 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (5)$$

$A_j = \frac{N_j}{N}$, where N_j – the number of pixels with the value of 1 in the image B_j , N – total number of pixels in this image;

v_j – the average gray pixels of the image I_j , corresponding pixels with a value of 1 image B_j ;

N_{8j} – number of 8-connected areas in the image B_j . This value can be calculated using a known algorithm that

allows marking images [15]. It should be noted that in the author's writing segmentation fractal analysis, this paragraph is absent. It was introduced in the algorithm of this paper, as it gave noticeable improvements in the results of the classification.

D_j – fractal dimension, calculated from the image B_j with the help of box-counting method [16]. This is the most important feature. It describes the complexity of the contour lines of segmented areas.

Advantages of fractal analysis:

1. Images of artificial and natural objects have very distinct fractal dimensions, which allow you to successfully use fractal features to identify artificial landscape changes in photos from space, the discovery of artificial objects in images taken from cameras and other tasks.

2. Regardless of the method used to calculate the fractal dimension, the general view of the histograms is preserved, while the boundaries of the regions are characterized by the same values of the fractal dimension, which makes it possible to identify the different types of textures under study.

Lack of fractal analysis:

1. Processing by the method of fractal analysis does not allow, as a rule, to construct a global fractal model of the entire image.

2. The fractal method of processing image textures is labor-intensive.

The algorithms for finding key points and calculating their descriptor presented in papers [7, 11, 14, 15] were used in the work. The experiment carried out an assessment of the quality and timing of the comparison of two images. The research was conducted on a sample of 80 images. In table 1 the result of a comparative analysis of the search methods for reference points are presented.

Table 1. Analysis of methods for finding reference points

Method of finding reference points	The number of correct answers (%)	Number of errors of the first type (%)	Number of errors of the second type (%)	Average operating time (in sec.)
Genetic Algorithm	84.25	5.3	10.45	5.23
Neural Networks	52	15.4	32.6	8.45
SIFT	81	10.2	8.8	1.32
Fractal analysis of textures	85.7	3.3	11	6.56

Preceding from the conducted research it is suggested:

- When developing marker recognition methods, it is necessary to develop an image preprocessing procedure for forming front marker algorithms under different image acquisition conditions;

- It is expedient to use genetic algorithms on the basis of the best indicators of correct segmentation and low processing times, at the stages of segmentation, but it is necessary to develop functions that correspond to the format of the markers construction;

- Improve existing methods for processing segmentation results based on a criterion base describing a visual model representing a marker.

Conclusion

As a result of the analysis, the following conclusion can be drawn. The fastest and the most accurate algorithm with key points is the genetic algorithm (average time of the algorithm is 5.23 seconds; the number of correct answers is 84.25). The longest working time is the neural network method – 8.45 seconds, the accuracy of this algorithm is also the lowest – 52.

Another advantage of the point matching algorithm is that if the object goes beyond the frame and then returns again, the program will continue to track this object again. This is supported by algorithms of machine learning. You can also notice that the SIFT calculation works much faster than fractal texture analysis.

These results suggest that there are currently no methods for recognizing markers that allow for recognition with a high accuracy of less than one unit in a short time.

From our point of view, one of the perspective directions is the use of Royan methods, namely the development of target functions for accurate and fast recognition of images by markers.

References

1. Lyamov, Yu. (2014), "Augmented reality technology" ["Tekhnologiya dopolnennoy real'nosti"], *Modern technology and technology*, No. 9, available at: <http://technology.snauka.ru/2014/09/4567> (last accessed 23.11.2018).
2. Samoilo, A. N., Shevchenko, I. V. (2015), "Methods of reconstructing the contour line of the dislocation of a digital image of Arseny Gaul's plate" ["Metody vosstanovleniya linii kontura dislokatsii cifrovogo izobrazheniya plastiny Arsenida Gallija"], *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, No. 5 (75), P. 9.
3. Ruban, I. V., Shitova, O. V., Vel'chev, K. A. (2008), "The method of localization of objects in the systems of image processing of remote sensing of the earth" ["Metod lokalizatsii ob'ektov v sistemakh obrabotki izobrazheniy distantsionnogo zondirovaniya zemli"], *Management, navigation and communication systems*, No. 1 (5), P. 35–37.
4. Krig, S. (2016), "Interest Point Detector and Feature Descriptor Survey", *Computer Vision Metrics*, P. 187–246.
5. Mikolajczyk, K., Schmid, C. (2005), "A performance evaluation of local descriptors", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, No. 27 (10), P. 1615–1630.
6. Beham, A., Wagner, S., Winkler, S., Affenzeller, M. (2017), "Genetic Algorithms", *Encyclopedia of Computer Science and Technology*, Vol. 2, P. 469–480.
7. Kass, M., Witkin, A., Terzopoulos, D. (1988), "Snakes: Active contour models", *International journal of computer vision*, Vol. 1, No. 4, P. 321–331.
8. Kenneth, A De Jong (2006), "Evolutionary computation: a unified approach", *MIT press*, P. 64–65.
9. Bodyanskiy, Y., Vynokurova, O., Pliss, I., Setlak, G., Mulesa, P. (2016), "Fast learning algorithm for deep evolving GMDH-SVM neural network in data stream mining tasks", *IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*, Lviv (Ukraine), P. 257–262.
10. Kobayashi, M. (2017), "Fixed points of split quaternionic hopfield neural networks", *Signal Processing*, Vol. 136, P. 38–42.
11. Bodyanskiy, Y. V., Tyshchenko, A. K., Deineko, A. A. (2015), "An evolving radial basis neural network with adaptive learning of its parameters and architecture", *Automatic Control and Computer Sciences*, Vol. 49, No. 5, P. 255–260.
12. Zhernova, P., Bodyanskiy, Y. (2018), "Kernel fuzzy clustering of data streams based on the ensemble of neural networks", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (6), P. 42–47. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.6.042>.
13. David, G. (2004), "Lowe Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints", *International Journal of Computer Vision*, P. 91–110.
14. Geusebroek, J., Smeulders Arnold, van de Weijer Joost. (2012), "An Efficient Algorithm for Fractal Analysis of Textures", *25th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images*, P. 39–46.
15. Ruban, I., Khudov, H., Khudov, V., Khizhnyak, I., Makoveichuk, O. (2017), "Segmentation of the images obtained from onboard optoelectronic surveillance systems by the evolutionary method", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol 5, No. 9 (89), P. 52–54. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109904>.
16. Long, M., Peng, F. (2013), "A Box-Counting Method with Adaptable Box Height for Measuring the Fractal Feature of Images", *Radioengineering*, P. 208–213.

Received 15.01.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бологова Наталія Миколаївна – Харківський національний університет радіоелектроніки, асистент кафедри електронно-обчислювальних машин, Харків, Україна; e-mail: natalka.bologova@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8927-0055>.

Бологова Наталия Николаевна – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, асистент кафедры електронно-вычислительных машин, Харьков, Украина.

Bolohova Nataliia – Kharkiv National University of Radio Electronics, Assistant at the Department of Electronic Computing Machines, Kharkiv, Ukraine.

Рубан Ігор Вікторович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, проректор з науково-методичної роботи, Харків, Україна; e-mail: ihor.ruban@nure.ua, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4738-3286>.

Рубан Игорь Викторович – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, проректор по научно-методической работе, Харьков, Украина.

Ruban Igor – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Vice-Rector for Scientific and Methodological Work, Kharkiv, Ukraine.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗПІЗНАВАННЯ МАРКЕРІВ В СИСТЕМАХ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Предметом дослідження в статті є методи обробки зображень, які виявляють і описують локальні ознаки зображення. **Мета** роботи – визначення шляхів вдосконалення методів обробки зображень для застосування в технологіях розпізнавання маркерів в системах доповненої реальності. В статті вирішуються наступні **завдання**: провести аналіз існуючих методів та алгоритмів пошуку об'єктів на двомірних зображеннях для визначення базової технології розпізнавання маркерів в системах доповненої реальності. Аналізуються генетичні, нейронномережні, статистичні та фрактальні методи, а також підходи до реалізації алгоритмів при побудові програмного забезпечення систем доповненої реальності. Отримано наступні **результати**: проведено огляд і порівняльний аналіз основних відомих алгоритмів детектування ключових точок на зображеннях. Пропонується при розробці методів розпізнавання маркерів необхідно розробити процедуру попередньої обробки зображення для формування алгоритмів фронтального зображення маркера при різних умовах отримання зображень. На стадіях сегментації доцільно використовувати генетичні алгоритми на підставі найкращих показників правильної сегментації та низьких показників часу обробки, але при цьому необхідно розробити функції, які відповідають формату побудови маркерів. Вдосконалити існуючі методи обробки результатів сегментації на основі критеріальної бази що описує візуальну модель, що представляє маркер. **Висновки**: в результаті проведення аналізу можна зробити наступний висновок. Найшвидшим і точним алгоритмом зі поставленням ключових точок є генетичний алгоритм (середній час роботи алгоритму – 5,23 секунд, кількість правильних відповідей – 84,25). Найтриваліший за часом роботи є метод нейронних мереж – 8,45 секунд, точність роботи даного алгоритму теж найнижча – 52. Ще одним з плюсів алгоритму зіставлення точок те, що якщо об'єкт вийде за межі кадру, а потім знову повернеться, програма буде знову продовжувати відслідковувати цей об'єкт. Цьому сприяють алгоритми машинного навчання. Також можна помітити, що обчислення методом SIFT працює значно швидше фрактального аналізу текстур. Дані результати говорять про те, що в даний час відсутні методи розпізнавання маркерів, що дозволяють з високою точністю ближче до одиниці за короткий час провести розпізнавання. На наш погляд одним з перспективних напрямків є використання ройових методів, а саме розробка цільових функцій для точного і швидкого розпізнавання зображення за маркерами.

Ключові слова: доповнена реальність; маркер; безмаркерна технологія; дескриптор; опорні точки; детектор кутів Харіса; генетичні алгоритми; нейрона мережа; SIFT.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ РАСПОЗНАВАНИЯ МАРКЕРОВ В СИСТЕМАХ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Предметом исследования в статье являются методы обработки изображения, которые выявляют и описывают локальные признаки изображения. **Цель** работы – определение путей совершенствования методов обработки изображений для применения в технологиях распознавания маркеров в системах дополненной реальности. В статье решаются следующие **задачи**: провести анализ существующих методов и алгоритмов поиска объектов на двумерных изображениях для определения базовой технологии распознавания маркеров в системах дополненной реальности. Анализируются генетические, нейронносетевые, статистические и фрактальные методы, а также подходы к реализации алгоритмов при построении программного обеспечения систем дополненной реальности. Получены следующие **результаты**: проведен обзор и сравнительный анализ основных известных алгоритмов детектирования ключевых точек на изображениях. При разработке методов распознавания маркеров необходимо разработать процедуру предварительной обработки изображения для формирования алгоритмов фронтального изображения маркера при различных условиях получения изображений. На стадиях сегментации целесообразно использовать генетические алгоритмы на основании лучших показателей правильной сегментации и низких показателей времени обработки, но при этом необходимо разработать функции, которые соответствуют формату построения маркеров. Усовершенствовать существующие методы обработки результатов сегментации на основе критеріальної бази описуваної візуальної моделі, представляючої маркер. **Выводы**: в результате проведения анализа можно сделать следующий вывод. Самым быстрым и точным методом с постановкой ключевых точек является генетический алгоритм (среднее время работы алгоритма – 5,23 секунды, количество правильных ответов – 84,25). Самый по времени работы является метод нейронных сетей – 8,45 секунд, точность работы данного алгоритма тоже самая низкая – 52. Еще одним из плюсов алгоритма сопоставления точек том, что если объект выйдет за пределы кадра, а затем снова вернется, программа будет снова продолжать отслеживать этот объект. Этому способствуют алгоритмы машинного обучения. Также можно заметить, что вычисления методом SIFT работает значительно быстрее фрактального анализа текстур. Данные результаты говорят о том, что в настоящее время отсутствуют методы распознавания маркеров, позволяющих с высокой точностью ближе к единице за короткое время провести распознавания. На наш взгляд одним из перспективных направлений является использование роевых методов, а именно разработка целевых функций для точного и быстрого распознавания изображения с маркерами.

Ключевые слова: дополненная реальность; маркер; безмаркерная технология; дескриптор; опорные точки; детектор углов Харриса; генетические алгоритмы; нейронная сеть; SIFT.

С. С. ВЕЛИКОДНИЙ

МЕТОД ПРЕДСТАВЛЕННЯ ОЦІНКИ РЕІНЖІНІРИНГУ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОЕКТНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ

Предметом роботи є проектні коефіцієнти, що уводяться до моделі реінжинірингу програмної системи. **Мета** роботи. Сформував метод представлення проектною оцінкою реінжинірингу програмних систем, на підставі якого приймається остаточне рішення щодо доцільності виконання реінжинірингу. Одним з головних завдань інженерії програмного забезпечення є створення теоретичних і прикладних основ швидкої та якісної побудови складних систем з більш простих програмних елементів, які виконано у сучасних мовах програмування. Фактично рішення цього завдання здійснюється шляхом збирання, об'єднання або інтеграції різномірних програмних ресурсів та компонентів повторного використання, що включають модулі, бібліотеки та програмні реалізації деякої складної програмної системи. За сучасними світовими тенденціями проектування програмного забезпечення: програмні системи повинні бути такими, що розвиваються та еволюціонують. **Завданням** статті є дослідження впливу проектних коефіцієнтів, що уводяться до моделі реінжинірингу програмної системи, на відповідність до фактичних статистичних даних вже реально виконаних проектів з реінжинірингу програмних систем. **Методи.** У статті знайшла свій розвиток методологія Бома, продовження якої відображене у формуванні аналітичних моделей із запропонованими змінами та пропозиціями щодо гнучкості побудови на етапі передпроектного аналізу. До моделей уведено проектні коефіцієнти, що являють собою удосконалення уявлень оцінки проектів за методом проектних точок Карнера та методом констант Якобсона із доданими доповненнями та розширеннями. Візуалізація моделей спирається на методи побудови спіральних моделей Архімеда, векторного представлення годографів Гамільтона та Михайлова, а метод обліку запланованого часу базується на проектних діаграмах Ганта. **Результати:** отримано метод за яким до раніш сформованих моделей реінжинірингу програмних систем, уведено проектні коефіцієнти, що дозволяють підвищити точність оцінки реінжинірингу, яка виражена у зменшенні середнього значення відносної похибки щодо фактичного часу його виконання. **Висновки.** До наукової новизни віднесено наступні положення щодо реінжинірингу програмних систем: удосконалено моделі візуалізації витрат за рахунок введення коефіцієнтів автоматизації та схожості компонентів, які дозволить вносити зміни до конфігурації відповідних годографів. Реінжиніринг програмних систем дозволить: подолати протиріччя між темпами розвитку науки, техніки й процесів проектування; підвищити ефективність технічного супроводу; скоротити експлуатаційні витрати.

Ключові слова: програмна система; реінжиніринг; передпроектні дослідження; проектування; еволюційна спіраль; годограф; проектні коефіцієнти; коефіцієнт автоматизації; коефіцієнт схожості компонентів; компоненти повторного використання.

Вступ

Однією з головних проблем інженерії програмного забезпечення є створення теоретичних і прикладних основ швидкої та якісної побудови складних систем з більш простих програмних елементів, які виконано у сучасних мовах програмування (МП). Фактично рішення цієї проблеми здійснюється шляхом збирання, об'єднання або інтеграції різномірних програмних ресурсів та компонентів повторного використання (КПВ), що включають модулі, бібліотеки та програмні реалізації деякої складної програмної системи (ПС).

У той же час, ПС об'єднує у собі різні види забезпечення: технічне, математичне, програмне, інформаційне, лінгвістичне, методичне, організаційне, ергономічне та правове. Кожне з цих видів забезпечення має параметри і бажані характеристики, які обирають проектувальники ПС із максимальним урахуванням особливостей завдань інженерного проектування, конструювання, технологій кодування та виготовлення ПЗ.

Створення та розвиток ПС завжди здійснюється провідною проектною корпорацією із обов'язковим залученням інших організацій-співвиконавців, у тому числі: наукових установ, профільних університетів, а також консультацій відомих вчених, науковий потенціал і накопичений досвід яких, виражено у сотнях наукових публікацій і десятках захищених

дисертацій під їх керівництвом.

На даний момент, створення потужної галузевої ПС – складна і трудомістка задача, виконання якої під силу тільки великому висококваліфікованому і злагодженому колективу розробників, оскільки тільки сам процес створення вже містить у собі понад десяток стадій: перед проектні (у тому числі соціологічні) дослідження, технічне завдання, технічна пропозиція, ескізний проект, технічний проект, робочий проект, виготовлення (кодування), налагодження, випробування (тестування), введення в дію (інсталяція та конфігурування) та подальший технічний супровід та підтримка.

За актуальними світовими тенденціями інженерії програмного забезпечення (ПЗ): ПС повинні бути такими, що розвиваються. Існує, принаймні, дві вагомі причини, за якими ПС повинні бути змінюваними за часом. По-перше: розробка ПС займає тривалий час і економічно вигідно вводити до експлуатації частини системи по мірі їх готовності (уведена в експлуатацію базова версія – надалі розширюється). По-друге: постійний прогрес об'єктів проектування, технологій виготовлення й кодування ПЗ, обчислювальної техніки та обчислювальної математики призводить до появи нових, більш досконалих математичних моделей і методів, які повинні замінювати старі, менш вдалі аналоги.

У зв'язку з цим, ПС повинна мати властивість зручності використання та можливості розширення за

допомогою підключення розроблених та / або удосконалених видів забезпечення. Ось тут постає питання подальшого вирішення цієї проблеми, а саме: це може бути нова розробка ПС або реінжиніринг (reengineering), тобто перепроєктування із наслідуванням позитивних якостей та властивостей ПС, що знаходиться у експлуатації, та відмовою від негативних.

Об'єктом роботи є процес реінжинірингу ПС.

Предметом роботи є проектні коефіцієнти, що уводяться до моделі реінжинірингу ПС.

Головним завданням роботи є дослідження впливу проектних коефіцієнтів, що уводяться до моделі реінжинірингу ПС, на відповідність до фактичних статистичних даних вже реально виконаних проектів з реінжинірингу ПС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Застосування реінжинірингу (PI) щодо інженерії ПЗ, як початковий етап розвитку наукової думки з перепроєктування ПС розпочато у [1, 2].

Завдяки уведеній методології та обчислювальному інструментарію [3] можна виконати оцінку проектних ресурсів, спираючись на ідею Карнера [4], що закладено у основу розробленого метода розрахунку показників оцінки проекту при виконанні PI ПС [5].

Саме ж поняття "реінжиніринг", спочатку з'явилося у представленні оптимізації бізнес-процесів корпорації [6, 7], як переорієнтування та реорганізація структури забезпечення (у широкому сенсі) [8].

У роботі [9] було застосовано об'єктний підхід до бізнес-процесів у формі реструктуризації, та переведення окремих компонентів системи до іншої, сучаснішої, а також розглянуто процеси модифікації та модернізації відкритих структур і систем даних [10].

Проблему PI щодо ПС було розглянуто автором у [11], спираючись на оцінки ризиків [12]. Методологічні засади PI ПС було закладено у [13], спираючись на моделі Бома (Boehm) [14, 15].

Методологія, що викладена у [16] стала у нагоді у якості базової траєкторії досліджень. Принципи, розглянуті у [17] та дослідження у [18], підказали практичні аспекти оцінки проектів [19], що підлягають PI, наприклад ПС з [20, 21].

Виділення частин загальної проблеми. Мета роботи

З комерційної точки зору, реінжиніринг (PI) часто вважають єдиним способом збереження успадкованих модулів у експлуатації ПС, у той час як нову розробку – не рекомендується розглядати не тільки з точки зору дефіциту часу, що вже було затрачено на первинну розробку, та як наслідок – збільшення економічних витрат, а й з точки зору ризику виникнення структурних помилок.

У цей же час PI дає змогу виконати еволюціонування ПС шляхом позитивних змін видів її

забезпечення з метою підвищення зручності її експлуатації та супроводу.

Звісно, що не будь-яку ПС можна піддати PI: іноді зміни у програмному кодї тягнуть більші витрати ніж нова розробка, оскільки необхідно не тільки знайти спеціалістів у визначеній мові програмування, але й оплатити їхній час на аналіз та розібрання старої версії ПС, що цікавить.

Таким чином, у якості вхідних даних розв'язуваної задачі уводяться:

- вартість перепроєктування ПС із уведеним обмеженням, а саме: мінімізація вартості;

- швидкість уведення до експлуатації оновленої ПС із уведеним обмеженням на затягування, тобто максимізація швидкості;

- виявлення помилок у застарілій версії ПС, які необхідно намагались виключати у оновленій, тобто: мінімізація помилок.

У зв'язку з цим, вихідними даними, що будуть являти собою бажані результати розв'язання задачі цієї статті – формалізація критеріїв рентабельності PI ПС, за якими після моделювання визначених порівняльних характеристик буде прийматись однозначне рішення щодо застосування або відхилення PI.

Проте, необхідно зауважити, що ні в якому разі не можна остаточно оцінювати порівняльні характеристики тільки за критеріями, що охоплюють лише аналітику програмного коду реалізації ПС. Критерії оцінювання повинні базуватися на всебічному аналізі усіх видів забезпечення ПС, що підлягає удосконаленню.

Таким чином, на підставі викладення загальної проблеми, можна сформулювати мету роботи: сформулювати метод представлення проектної оцінки реінжинірингу ПС, на підставі якого приймається остаточне рішення щодо доцільності виконання реінжинірингу.

Матеріали та методи

Метод, що закладений у мету роботи, є розвитком запропонованої Бомом (Boehm) методології [12, 14 – 16], що знайшла своє продовження у аналітичних моделях [22] із запропонованими змінами та пропозиціями щодо гнучкості побудови на етапі передпроектного аналізу.

Теоретичні відомості з матеріалів досліджень [1, 10, 14 – 16] для практичного застосування потребують розширення керованості при моделюванні, для чого необхідно увести до моделі проектні коефіцієнти, що є предметом роботи.

Ці коефіцієнти являють собою удосконалення уявлень оцінки проектів за методом проектних точок Карнера (Kagner) [4] та методом констант Якобсона (Jacobson) [9] із доданими доповненнями та розширеннями, що відображені у методі розрахунку показників [5].

Проте, у методі [5] не міститься механізму візуалізованого подання оцінки PI ПС, що присутні у

моделях з дослідження [22]. Елементи такої візуалізації також спираються на методи побудови спіральних моделей Архімеда [23], векторного представлення годографів Гамільтона та Михайлова, а облік запланованого часу базується на проектних діаграмах Ганта.

Сформований у статті метод проектних коефіцієнтів ґрунтується на розширеному математичному відтворенні ідеалізованих моделей, що представлені у роботі [22]. Математичні основи цього методу сформовано на підставі узагальнення матеріалів з [22].

Результати досліджень

Оскільки модель РІ ПС та схема її побудови отримані автором цієї статті у [22], то відразу перейдемо до уведення проектних коефіцієнтів до моделі та побудови годографів РІ.

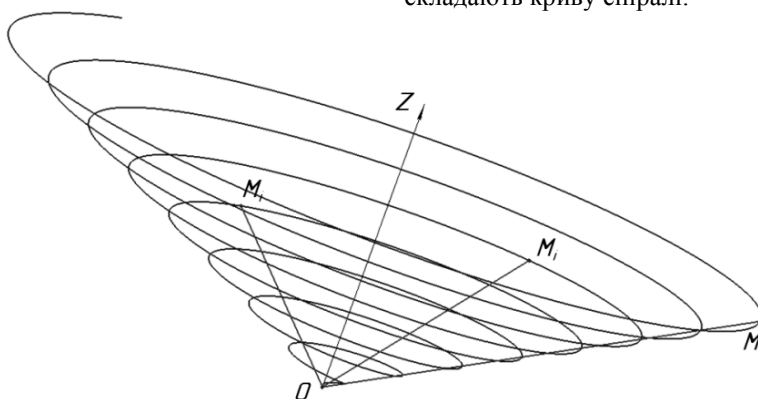


Рис. 1. Годограф з високим коефіцієнтом автоматизації РІ ПС: O – полюс реінжинірингу; Z – кількість ідентифікованих програмних компонентів (у лінійному масштабі) або рядків програмного коду (у логарифмічному масштабі); OZ – вісь компонентів (апліката)

Навпаки, якщо РІ відбувається, значною мірою, у ручному режимі, то форма спіралі – витягнута (рис. 2), що показує здороження вартості за рахунок вагомій складовій інтелектуальної праці програмістів:

$$\text{if } \delta \rightarrow \min \therefore OM_{i,j} \rightarrow \max; \quad (3)$$

$$\lim_{\delta \rightarrow \min} \langle OM_{i,j}(\delta) \rangle = \max. \quad (4)$$

2. Коефіцієнт схожості компонентів. Цей коефіцієнт залежить від ступеня впровадження КПВ. Для проведення порівняльного експерименту, візьмемо годограф, що представлено у [22, рис. 3]: для нього коефіцієнт схожості компонентів (θ) буде базовим.

Чим більше в процесі РІ застосовуються КПВ, тим густіше розміщуються витки спіралі (n) (рис. 3). З представлення годографа бачимо, що:

$$\text{if } \theta \rightarrow \max \therefore OM_{i,j} \rightarrow \min \left\{ M_{i,j} \mid \theta \equiv M_{i,j} \mid \theta_{\max} \right\}; \quad (5)$$

$$\lim_{\theta \rightarrow \max} \langle OM_{i,j}(\theta) \rangle = \min. \quad (6)$$

1. Коефіцієнт автоматизації РІ. Чим більше процес РІ автоматизований, тим більш пласкої форми набирає модель (рис. 1), а це значить, що вектор витрат (OM_i) із зростанням кількості компонентів програмного коду (i) чи верифікованих рядків програмного коду (j) зростає не значно, а витрачений час на виконання РІ t_i – визначається машинним часом. Іншими словами – якщо узяти ПС із визначеною фіксованою i , у яку помістимо довільну точку площини (M_i), та збільшимо у моделі коефіцієнт автоматизації реінжинірингу (δ), то OM_i буде зменшуватись:

$$\text{if } \delta \rightarrow \max \therefore OM_{i,j} \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$\lim_{\delta \rightarrow \max} \langle OM_{i,j}(\delta) \rangle = \min, \quad (2)$$

при чому $M_{i,j}$ – побудована послідовність точок, які складають криву спіралі.

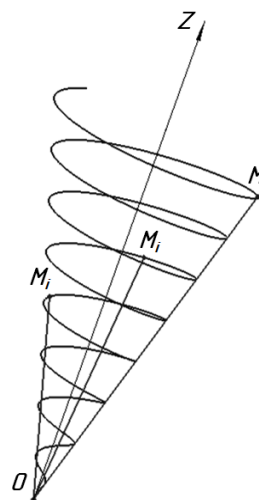


Рис. 2. Годограф із низьким коефіцієнтом автоматизації РІ ПС

Тобто при збільшенні θ – зменшується вектор витрат OM_i при однаково узятих M_i , відповідно до випадків з θ та θ_{\max} та навпаки: при використанні унікальних програмних компонентів – витки спіралі

розміщуються нещільно (рис. 4), тобто збільшується OM_i при однаково узятих M_i , відповідно до випадків з θ та θ_{\min} :

$$\text{if } \theta \rightarrow \min \therefore OM_{i,j} \rightarrow \max \{M_{i,j} | \theta \equiv M_{i,j} | \theta_{\min}\}; \quad (7)$$

$$\lim_{\theta \rightarrow \min} \langle OM_{i,j}(\theta) \rangle = \max. \quad (8)$$

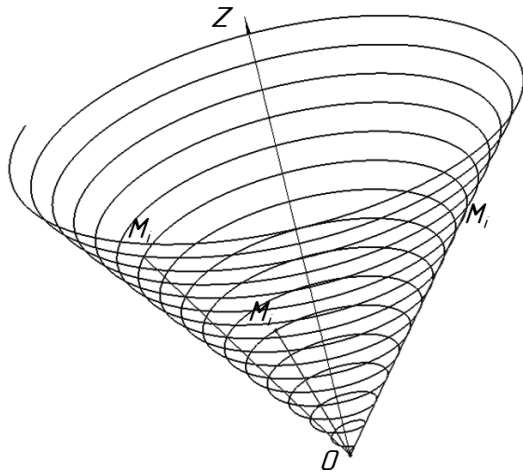


Рис. 3. Годограф РІ ПС із високим коефіцієнтом схожості компонентів

Експеримент із побудови годографів РІ проводився із дванадцятьма ПС, деякі з яких узято з [20, 21]. За домовленістю, виконавцями проектів, було надано початкові умови щодо кількості рядків програмного коду та фактичного часу повного виконання ними РІ ПС, який було зафіксовано у проектних діаграмах Ганта. Також цей час було ретельно перевірено за протоколами виконання та актами виконаних робіт.

Таблиця 1. Час виконання РІ ПС

Номер проекту	Час, год.		
	Модельний за ІМР	Модельний із проектними коефіцієнтами	Фактичний
1	157	174	185
2	247	187,5	190
3	70	66,5	58,5
4	432,5	575	606
5	104,5	108,5	102,5
6	807	726	623,5
7	565	686	730,5
8	118	129	134
9	226	229,5	270
10	90	84	76,5
11	789	811	878
12	652	516	511

За даними табл. 1 побудована діаграма (рис. 5) порівняння фактичного часу (actualtime) виконання РІ ПС та змодельованих часів: за ІМР (idea lized model) та із уведеними проектними коефіцієнтами (with project coefficients).

Статистичні результати порівняння зведено до табл. 2.

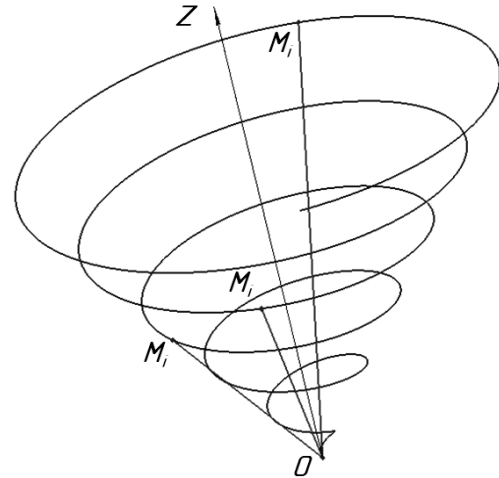


Рис. 4. Годограф РІ ПС із низьким коефіцієнтом схожості компонентів

За отриманими моделями було побудовано до графі РІ ПС, числовий матеріал яких подано у табл. 1. У таблиці наведено результати моделювання без використання проектних коефіцієнтів – за ідеалізованими моделями реінжинірингу (ІМР), отриманою у [22], та із уведенням описаних у цій статті коефіцієнтів. При виконанні проектів обчислення вимірювання часу відбувається з округленням до півгодини.

Обговорення

При аналізі та обговоренні результатів статті, можна побачити, що метод проектних коефіцієнтів, виходячи з табл. 1 та рис. 5, має значно меншу розбіжність з фактичним часом виконання РІ ПС ніж оцінка часу за ІМР.

Таблиця 2. Розбіжність порівняння за часом РІ ПС

Номер проекту	Оцінка за ІМР		Оцінка із проектними коефіцієнтами	
	Абсолютна похибка, год.	Відносна похибка, %	Абсолютна похибка, год.	Відносна похибка, %
1	28	15,1	11	5,9
2	57	30,0	2,5	1,3
3	11,5	19,7	8	13,7
4	173,5	28,6	31	5,1
5	2	2,0	6	5,9
6	183,5	29,4	102,5	16,4
7	165,5	22,7	44,5	6,1
8	16	11,9	5	3,7
9	44	16,3	40,5	15,0
10	13,5	17,6	7,5	9,8
11	89	10,1	67	7,6
12	141	27,6	5	1,0
Середнє значення, %:		19,3	7,6	

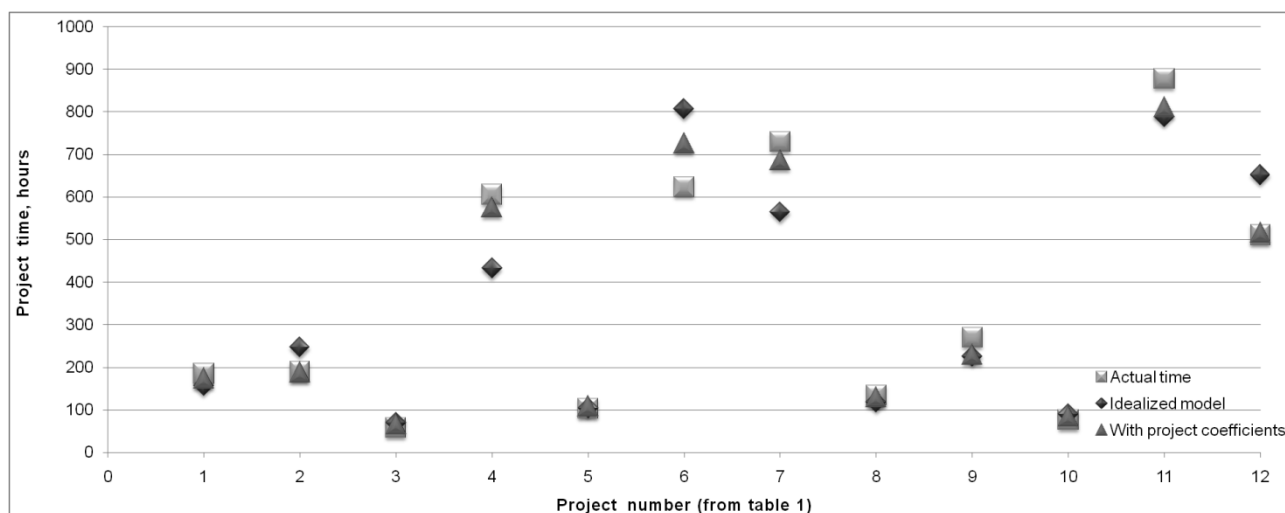


Рис. 5. Діаграма порівняння фактичного часу та змодельованих часів виконання РІ ПС

Максимальне значення відносної похибки оцінки РІ ПС за методом проектних коефіцієнтів не перевищує 16,4 % (табл. 2), проти 30 % при оцінці за ІМР. Середнє значення відносної похибки 7,6 % за методом проектних коефіцієнтів, проти 19,3 % – за ІМР.

Для справедливості, необхідно обговорити, що п'ятий проект (табл. 1, 2) має оцінку ближчу до фактичної за ІМР ніж за методом проектних коефіцієнтів (104,5 год. проти 108,5 год. при фактичному часі 102,5 год.) та відповідно меншу відносну похибку оцінки (2% проти 5,9 %).

На думку автора, це пов'язано із помилковими даними (заниженням приблизно на 6 – 8 год.) фактичного часу виконання проекту, який було надано розробниками, проте автори працювали із вже готовими показниками виконання у вигляді діаграм Ганта та не проводили корегування цих годин.

Що ж до наведених графічних побудов годографів РІ (рис. 1 – 4), то можна зробити висновки, що поверхня, для якою годограф є направляючою, являє собою лінійчату конічну поверхню (ЛКП), що

може бути зворотно відновлена рухом вектора OM_i , як утворюючої.

Крім того, у подальших дослідженнях варто проаналізувати отримані ЛКП на предмет практичного застосування наступної висунутої гіпотези: якщо обчислити площу ЛКП, то можна дістати кількісну характеристику виконаної роботи щодо здійснення РІ ПС:

$$S = \int_0^{\phi(n+1)} \Phi(\rho, \phi) d\phi, \quad (9)$$

де S – площа лінійчатої конічної поверхні; ϕ – час, протягом якого відбувається реінжиніринг; ρ – радіус-вектор витрат; Φ – функція конічної спіралі.

Якщо обчислити об'єм ЛКП, то – визначити обсяг витрачених ресурсів:

$$V = \int_0^Z \Phi(\rho, \phi, Z) dZ, \quad (10)$$

де V – об'єм лінійчатої конічної поверхні.

Висновки та перспективи подальшого розвитку

Головна відмінність між РІ і новою розробкою полягає в тому, що процес перепроектування ПС починається не з "нуля", а з розгляду можливостей успадкування позитивних якостей старої системи.

РІ виконується за допомогою комплексу засобів, у тому числі за рахунок застосування КПВ та Computer-Aided Software Engineering (CASE) систем. Згідно з оптимістичними прогнозами застосування КПВ здатне у 4 рази знизити вартість ПС у порівнянні з новою розробкою. Проте заради об'єктивності слід помітити, що у деяких випадках, все ж таки раціональніше застосувати нову розробку.

Для того, щоб прийняти мотивоване рішення щодо застосування або відмови від РІ, згідно з постановкою задачі, у статті було представлено метод проектної оцінки РІ ПС, на підставі якого формується остаточний висновок щодо доцільності виконання РІ.

Згідно з цим методом до моделей РІ ПС, що були сформовані у [22], уводяться проектні коефіцієнти, що дозволяють підвищити точність оцінки РІ, яка виражена у зменшенні середнього значення відносно похибки щодо фактичного часу виконання РІ з 19,3 % (при побудові за ІМР) до 7,6 %.

Таким чином, до результатів наукової новизни слід віднести удосконалення моделі візуалізації витрат на РІ ПС за рахунок уведення коефіцієнтів автоматизації та схожості компонентів, які дозволить вносити зміни до конфігурації відповідних годографів РІ.

Подальші наукові дослідження у цій області включають у себе всебічне вивчення висунутої авторами гіпотези щодо представлення кількісних характеристик виконаної роботи з РІ ПС та визначення обсягів витрачених ресурсів у формі обчислення площин та об'ємів ЛКП, що утворюються годографами РІ.

Також до перспектив дослідження за темою статті, вже після прийняття рішення щодо застосування РІ, слід віднести задачу розробки логічної схеми РІ, що є похідною від логічної схеми проектування, яка починається цільовою програмою та включає в себе алгоритмічний вибір компонентів

РІ. Ця логічна схема представляє цільовий засіб отримання нової ПС шляхом виконання послідовності операцій внесення змін, модернізації або модифікації, а також перепрограмування окремих її компонентів. Логічна схема РІ повинна починатися цільовою програмою, об'єднуючи зовнішню та внутрішню частину, відповідно: формування цілей та моделювання.

Отже РІ ПС дозволить подолати: протиріччя між темпами розвитку науки, техніки й процесів проектування; підвищити ефективність технічного супроводу ПС та скоротити експлуатаційні витрати.

Сформовані у статті результати, з наукової точки зору, увійдуть до основ методології РІ ПС, а з практичної – стануть у нагоді системним програмістам, які задіяні у перепроектуванні й переробці ПС, а також системним архітекторам, які працюють із мультимовними надбудовами ПС, що вже знаходяться у кількарічній експлуатації і набувають еволюційного розвитку із плином часу та удосконалення у процесі використання.

Подяки

Перш за все, хочу висловити подяку доктору технічних наук зі спеціальності 05.12.13 – системи автоматизації проектувальних робіт, професору кафедри системотехніки Харківського національного університету радіоелектроніки – Безкоровайному Володимирі Валентиновичу за первинну позитивну оцінку ідеї створення ІМР, що було йому викладено олівцем у вигляді ескізу на аркуші зошита у 2012 році. Після його настанов та консультацій, у процесі 7-ми річної роботи, було отримано наукові результати, що наведено у поданій статті.

Також автор статті висловлює подяку Одеському державному екологічному університету, як базовій організації, у якій проводяться дослідження із поданої тематики, за сприяння у фінансуванні та організаційній підтримці: наукових досліджень; наукового спілкування із галузевими спеціалістами у формі відрядження автора до участі у конференціях та форумах; випуску двох монографій за розглянутою тематикою коштами університету.

Список літератури

1. Blum B. Software engineering: a holistic view. URL: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=SERIES9569.128915> (дата звернення : 23.02.2019).
2. Cohn M. Agile Estimating and Planning. NY : Prentice Hall, 2005. 368 p.
3. Klein M. Reengineering methodologies and tools. A Prescription for Enhancing Success. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10580539408964633> (дата звернення : 23.02.2019). DOI: <https://doi.org/10.1080/10580539408964633>.
4. Karner G. Resource Estimation for Objectory Projects: project report. SF AB: Objective Systems, 1993. 9 p.
5. Великодний С. С., Тимофеева О. С., Зайцева-Великодна С. С. Метод розрахунку показників оцінки проекту при виконанні реінжинірингу програмних систем. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2018. № 4. С. 135–142. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-4-13>.
6. Hammer M., Champy J. Reengineering the corporation: A manifesto for business revolution. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007681305800643?via%3Dihub> (дата звернення : 23.02.2019). DOI: [https://doi.org/10.1016/S0007-6813\(05\)80064-3](https://doi.org/10.1016/S0007-6813(05)80064-3).
7. Grover V., Malhotra M. Business process reengineering: A tutorial on the concept, evolution, method, technology and application. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272696396001040> (дата звернення : 23.02.2019). DOI: [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(96\)00104-0](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(96)00104-0).

8. Manganelli R., Klein M. The Reengineering Handbook: A Step-by-Step Guide to Business Transformation. URL : https://www.researchgate.net/publication/304544531_The_Reengineering_Handbook_A_Step-by-Step_Guide_to_Business_Transformation (дата звернення : 23.02.2019). DOI: <https://doi.org/10.1097/01445442-199503000-00011>.
9. Jacobson I., Ericsson M., Jacobson A. The Object Advantage: Business Process Reengineering with Object Technology. ACM Press. URL: <http://eaststemcell.com/files/storage.cloud.php?id=MDIwMTQyMjg5MQ==> (дата звернення : 23.02.2019).
10. O'Reilly T. Open Source Paradigm Shift by Tim O'Reilly. URL : http://archive.oreilly.com/pub/a/oreilly/tim/articles/paradigmshift_0504.html (дата звернення : 23.02.2019).
11. Великодний С. С. Проблема реінжиніринга видів забезпечення систем автоматизованого проектування. *Управляючі системи і машини*. 2014. № 1. С. 57–61, 76.
12. Boehm B. Software Risk Management. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F3-540-51635-2_29 (дата звернення : 23.02.2019). DOI: https://doi.org/10.1007/3-540-51635-2_29
13. Великодний С. С. Методологічні основи реінжиніринга систем автоматизованого проектування. *Управляючі системи і машини*. 2014. № 2. С. 39–43.
14. Boehm B. Spiral Development: Experience, Principles and Refinements: special Report. CMU. SEI-2000-SR-008. 2000. 37 p.
15. Boehm B. A Spiral Model of Software Development and Enhancement. ACM SIGSOFT Software Engineering Notes. 1986. Vol. 11, Issue. 4. P. 14–24. DOI: <https://doi.org/10.1145/12944.12948>.
16. Selby R. W. Software Engineering: Barry W. Boehm's Lifetime Contributions to Software Development, Management and Research. New Jersey : John Wiley & Sons, 2017. 818 p.
17. Anda B. Effort Estimation of Use Cases for Incremental Large-Scale Software Development. 27-th International Conference on Software Engineering, 15–22 may, 2015 : proceedings. St. Louis : MO, 2015. P. 303–311.
18. Carroll E. R. Estimating Software Based on Use Case Point. OOPSLA '05: Companion to the 20th annual ACM SIGPLAN conference on Object-oriented programming, systems, languages, and applications: proceedings. San Diego : CA, 2005. P. 257–265. DOI: <https://doi.org/10.1145/1094855.1094960>.
19. Clemmons R. Project Estimation with Use Case Points. *Cross Talk*. 2016. Vol. 2, Issue February. P. 18–22.
20. Невлюдов И. Ш., Великодний С. С., Омаров М. А. Использование CAD/CAM/CAE/CAPP при формировании управляющих программ для станков с ЧП. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2010. Т. 2. Вып. 2 (44). С. 37–44.
21. Великодний С. С. Реінжиніринг систем моніторингу та дистанційного управління судовими енергетичними установками. XXII Міжн. конф. з автом. управл. "Автоматика 2015", 10–11 вер., 2015. Одеса. С. 133–134.
22. Великодний С. С. Ідеалізовані моделі реінжинірингу програмних систем. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2019. № 1.

References

1. Blum, B. "Software engineering: a holistic view", available at : <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=SERIES9569.128915> (last accessed 23.02.2019).
2. Cohn, M. (2005). *Agile Estimating and Planning*, Prentice Hall, NY, 368 p.
3. Klein, M. "Reengineering methodologies and tools. A Prescription for Enhancing Success", available at : <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10580539408964633> (last accessed 23.02.2019). DOI: <https://doi.org/10.1080/10580539408964633>.
4. Karner, G. (1993), *Resource Estimation for Objectory Projects* : project report, Objective Systems, SF AB, 9 p.
5. Velykodniy, S. S., Tymofeieva, O. S., Zaitseva-Velykodna, S. S. (2018), "The calculation method for indicators project estimation in the implementation of software systems re-engineering" ["Metod rozrakhunku pokaznykiv otsinky proektu pry vykonanni reinzhyrnyhu prohramnykh system"], *Radio Electronics, Computer Science, Control*, No. 4, P. 135–142. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-4-13>.
6. Hammer, M., Champy, J. "Reengineering the corporation: A manifesto for business revolution", available at : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007681305800643?via%3Dihub> (last accessed 23.02.2019). DOI: [https://doi.org/10.1016/S0007-6813\(05\)80064-3](https://doi.org/10.1016/S0007-6813(05)80064-3).
7. Grover, V., Malhotra M., "Business process reengineering: A tutorial on the concept, evolution, method, technology and application", available at : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272696396001040> (last accessed 23.02.2019). DOI: [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(96\)00104-0](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(96)00104-0).
8. Manganelli, R., Klein, M. "The Reengineering Handbook: A Step-by-Step Guide to Business Transformation", available at : https://www.researchgate.net/publication/304544531_The_Reengineering_Handbook_A_Step-by-Step_Guide_to_Business_Transformation (last accessed 23.02.2019). DOI: <https://doi.org/10.1097/01445442-199503000-00011>.
9. Jacobson, I., Ericsson, M., Jacobson, A. "The Object Advantage: Business Process Reengineering with Object Technology. ACM Press", available at : <http://eaststemcell.com/files/storage.cloud.php?id=MDIwMTQyMjg5MQ==> (last accessed 23.02.2019).
10. O'Reilly, T. "Open Source Paradigm Shift by Tim O'Reilly", available at: http://archive.oreilly.com/pub/a/oreilly/tim/articles/paradigmshift_0504.html (last accessed 23.02.2019).
11. Velykodniy, S. S. (2014), "The reengineering problem of ensures types CAD/CAM/CAE-systems" ["Problema reinzhyringa vidov obespecheniya sistem avtomatizirovannogo proektirovaniya"], *Control Systems and Computers*, No. 1, P. 57–61, 76.
12. Boehm, B. "Software Risk Management", available at : https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F3-540-51635-2_29 (last accessed 23.02.2019). DOI: https://doi.org/10.1007/3-540-51635-2_29.
13. Velykodniy, S. S. (2014), "The methodological bases of reengineering CAD/CAM/CAE-systems" ["Metodologicheskie osnovy reinzhyringa sistem avtomatizirovannogo proektirovaniya"], *Control Systems and Computers*, No. 2, P. 39–43.
14. Boehm, B. (2000), *Spiral Development: Experience, Principles and Refinements* : special Report, CMU, SEI-2000-SR-008, 37 p.
15. Boehm, B. A (1986), "Spiral Model of Software Development and Enhancement", *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, Vol. 11, Issry 4, P. 14–24. DOI: <https://doi.org/10.1145/12944.12948>.
16. Selby, R. W. (2017), *Software Engineering: Barry W. Boehm's Lifetime Contributions to Software Development, Management and Research*, John Wiley & Sons, New Jersey, 818 p.

17. Anda, B. (2015), "Effort Estimation of Use Cases for Incremental Large-Scale Software Development", *27-th International Conference on Software Engineering, 15–22 may : proceedings, MO, St. Louis*, P. 303–311.
18. Carroll, E. R. (2005), "Estimating Software Based on Use Case Point", *OOPSLA '05 : Companion to the 20th annual ACM SIGPLAN conference on Object-oriented programming, systems, languages, and applications: proceedings, CA, San Diego*, P. 257–265. DOI: <https://doi.org/10.1145/1094855.1094960>.
19. Clemmons, R. (2016) "Project Estimation with Use Case Points", *Cross Talk*, Vol. 2, Issue February, P. 18–22.
20. Nevlyudov, I. Sh., Velykodniy, S. S., Omarov, M. A. "Using CAD / CAM / CAE / CAPP when forming control programs for CNC machines" ["Ispol'zovanie CAD/CAM/CAE/CAPP pri formirovaniy upravlyayushchikh programm dlya stankov s ChPU"], *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, Issue 2 (44), P. 37–44.
21. Velykodniy, S (2015), "Reengineering of SCADA-systems by shipping energy plants ["Reinzhiniring sistem monitoringu ta distantsiyogo upravlinnya sudnovimi energetichnimi ustanovkami"]", *22th International Conference "Automatic 2015", 10–11 sep. : proceedings, Odessa*, P. 133–134.
22. Velykodniy, S. S. (2019), "The idealized models of software systems reengineering" ["Idealizovani modeli reinzhiniryngu prohrannykh system"], *Radio Electronics, Computer Science, Control*, No. 1.

Надійшла (Received) 24.02.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Великодний Станіслав Сергійович – кандидат технічних наук, доцент, Одеський державний екологічний університет, доцент кафедри інформаційних технологій, Одеса, Україна; e-mail: velykodniy@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8590-7610>.

Великодний Станіслав Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, Одесский государственный экологический университет, доцент кафедры информационных технологий, Одесса, Украина.

Velykodniy Stanislav – PhD (Computer Science), Associate Professor, Odessa State Environmental University, Associate Professor at the Department of Information Technologies, Odessa, Ukraine.

МЕТОД ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОЦЕНКИ РЕИНЖИНИРИНГА ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПОМОЩИ ПРОЕКТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Предметом работы являются проектные коэффициенты, которые вводятся в модель реинжиниринга программной системы. **Цель** работы. Сформировать метод представления проектной оценки реинжиниринга программных систем, на основании которого принимается окончательное решение о целесообразности выполнения реинжиниринга. Одной из главных задач инженерии программного обеспечения является создание теоретических и прикладных основ быстрого и качественного построения сложных систем из более простых программных элементов, выполненных на современных языках программирования. Фактически решение этой задачи осуществляется путем сбора, объединения или интеграции разнородных программных ресурсов и компонентов повторного использования, включающих модули, библиотеки и программные реализации некоторой сложной программной системы. По современным мировым тенденциям проектирования программного обеспечения: программные системы должны быть развивающимися и эволюционировать. **Задачей** статьи является исследование влияния проектных коэффициентов, которые вводятся в модель реинжиниринга программной системы, на соответствие фактическим статистическим данным уже реально выполненных проектов по реинжинирингу программных систем. **Метод.** В статье нашла свое развитие методология Бома, продолжение которой отражено в формировании аналитических моделей с предложенными изменениями относительно гибкости построения на этапе предпроектного анализа. В модели введены проектные коэффициенты, представляющие собой усовершенствование представлений оценки проектов по методу проектных точек Карнера и методу констант Якобсона с приложенными дополнениями и расширениями. Визуализация моделей опирается на методы построения спиральных моделей Архимеда, векторного представления годографов Гамильтона и Михайлова, а метод учета запланированного времени базируется на проектных диаграммах Ганта. **Результаты.** В статье получен метод, в соответствии с которым к ранее сформированным моделям реинжиниринга программных систем, введены проектные коэффициенты, позволяющие повысить точность оценки реинжиниринга, выраженной в уменьшении среднего значения относительной погрешности фактического времени его выполнения. **Выводы.** К научной новизне относятся следующие положения касательно реинжиниринга программных систем: усовершенствованы модели визуализации расходов за счет введения коэффициентов автоматизации и сходства компонентов, позволяющих вносить изменения в конфигурации соответствующих годографов. Реинжиниринг программных систем позволит: преодолеть противоречия между темпами развития науки, техники и процессов проектирования; повысить эффективность технического сопровождения; сократить эксплуатационные расходы.

Ключевые слова: программная система; реинжиниринг; предпроектные исследования; проектирование; эволюционная спираль; годограф; проектные коэффициенты; коэффициент автоматизации; коэффициент сходства компонентов; компоненты повторного использования.

METHOD OF PRESENTING THE ASSESSMENT FOR REENGINEERING OF SOFTWARE SYSTEMS WITH THE PROJECT COEFFICIENTS HELP

The **subject** of the work are design coefficients that are introduced into the reengineering model of a software system. The **goal** of the work. Form a method for presenting a project assessment of software system reengineering, according to which a final decision is made about the feasibility of reengineering. One of the main task of software engineering is the creation of theoretical and applied foundations for the rapid and high-quality construction of complex systems from simpler software elements made in modern

programming languages. In fact, this task is solved by collecting, combining or integrating disparate software resources and reusable components, including modules, libraries and software implementations of some complex software system. According to modern world trends of software design: software systems must be continually developing and evolving. The **task** of the article is to study the influence of project coefficients, which are introduced into the model of the reengineering of a software system, in accordance with the actual statistical data of the actually completed projects on the reengineering of software systems. **Method.** The article has developed the Boehm's methodology, the continuation of which is reflected in the formation of analytical models with the proposed changes regarding the flexibility of construction at the stage of pre-project analysis. The design factors are introduced in the model, which are representing an improvement in the representations of project appraisals using the Karner's design points method and the Jacobson's constant method with applied additions and extensions. The visualization of the models is based on the methods of constructing the spiral models of Archimedes, the vector representation of Hamilton's and Mikhailov's hodographs, and the method of accounting for the planned time is based on the Gantt's project diagrams. **Results.** The article obtained a method according to which the previously formed models of software systems reengineering, introduced design coefficients, allowing to increase the accuracy of reengineering estimates, expressed in reducing the average value of the relative error of the actual time of its implementation. **Conclusions.** Scientific novelties include the following provisions regarding the reengineering of software systems: models of cost visualization were improved by introducing automation coefficients and similarity of components, allowing to make changes in the configuration of the relevant hodographs. Reengineering of software systems will allow: to overcome the contradictions between the pace of development of science, technology and design processes; improve the efficiency of technical support; reduce operating costs.

Keywords: software system; reengineering; pre-design studies; design; evolutionary spiral; hodograph; project coefficients; automation coefficient; coefficient of components similarity; reuse components.

S. VLADOV, YU. SHMELOV, I. DEREVYANKO, I. DIERIABINA, L. CHYZHOVA

IDENTIFICATION OF REAR MODEL OF TV3-117 AIRCRAFT ENGINE BASED ON THE BASIS OF NEURO-MULTI-FUNCTIONAL TECHNOLOGIES

The **subject** matter in the article is TV3-117 aircraft engine and methods of identification of its technical condition. The **goal** of the work is to develop methods for identifying the technical state of the aircraft engine TV3-117 on the basis of real-time neural network technologies. The following tasks were solved in the **article**: the task of identifying the reverse multi-mode model of the aircraft engine TV3-117 using neural networks. The following **methods** used are – methods of probability theory and mathematical statistics, methods of neuroinformatics, methods of the theory of information systems and data processing. The following **results** were obtained – The application of the neural network apparatus is effective in solving a large range of tasks: identifying the mathematical model of the aircraft engine TV3-117, diagnosing the condition, analyzing the trends, forecasting the parameters, etc., despite the fact that these tasks usually relate to the class difficultly formalized (poorly structured), neural networks are adequate and effective in the process of their solution. In the process of solving the task of identifying the mathematical model of the aircraft engine TV3-117 on the basis of neural networks, it was established that neural networks solve the problem of identification more precisely classical methods. **Conclusions**: It was established that the error of identification of the aircraft engine TV3-117 with the help of a neural network of type perceptron did not exceed 1.8 %; For the neural network of radial-basis function (RBF) – 4.6 %, whereas for the classical method (LSM) it makes about 5.7 % in the considered range of changes in engine operation modes. It was found that neural network methods are more robust to external perturbations: for noise level $\sigma = 0.01$, the error of identification of aircraft engine TV3-117 with the use of perceptron has increased from 1.8 to 3.8 %; for the neural network RBF – from 4.6 to 5.7 %, and for the least squares method – from 5.7 to 13.93 %. In the process of solving the task of identifying the inverse multi-mode model of the aviation engine TV3-117 on its parameters on the basis of neural networks (perceptron and RBF) it was shown that their use allows for indirect measurement of the parameters of the flowing part of the engine at different modes of its operation: in the absence of noise – with an error of not more than 1,8 and 4,6 % respectively; in the presence of noise ($\sigma = 0,01$) – with an error of not more than 3,8 and 5,7 % respectively. Application in these conditions of the least squares method (polynomial regression model of the 8th order) allows us to obtain the error value: in the absence of noise – no more than 5,7 %; in the presence of noise – no more than 13,93 %.

Keywords: aircraft engine; neural network; perceptron; radial-basis function, identification.

Introduction

The aircraft engine TV3-117 as a recoverable object during its lifetime requires continuous monitoring and diagnostics of its technical condition, the complexity of which depends on the level of automation of the processes of receiving, processing, storing, documenting information on the current state of the aircraft engine, as well as monitoring, diagnosis, forecasting of its the technical state, the sequence and methods of execution of which determine the information system of control and diagnostics.

The means of their implementation are distributed monitoring and diagnostics systems, which are tasked with determining the degree of conformity of the research object with the requirements, that is, control of its technical condition.

Distributed monitoring and diagnostics system is a logical addition to the information monitoring and diagnostic system, since it together with the latter carries out an analysis of the actual technical state of the engine: forecasting the residual resource, monitoring the degradation of the performance of the aircraft engine, determines the program of repair and restoration works, etc.

At the same time, despite the considerable amount of research in these areas, the information systems for monitoring and diagnosing the technical state of aviation engines are not perfect for a number of reasons, the main ones being, on the one hand, the dissociation of the databases of testing, control and diagnostics, the lack of intelligent components, which allow qualitatively and efficiently to support decision-making [1] and, as a

consequence, reduce the total time spent on engine maintenance; on the other hand, the unsteadiness of physical processes in an aircraft engine, the complexity of its mathematical description, the dependence of engine technical characteristics on external operating conditions, the limited composition of the measured thermogasdynamics parameters of the engine, their technological spread, etc. These factors lead to the need to make decisions about the technical state engine in conditions of significant uncertainty.

Analysis of works in the field of control and diagnostics of the state of aviation engines on the basis of neural networks [2–6] shows that at present, such works are being conducted, however, due to a number of reasons (secrecy, narrow specialization of the tasks to be solved), in most publications there are no engineering methods, as well as theoretical and practical recommendations for solving similar problems. The task of the problem and possible algorithms for choosing the architecture of neural networks, their algorithms, evaluation of their work efficiency, etc. are studied, as well as the engineering methodology for solving the problem of classification of operating modes of aircraft engine TV3-117 using neural network technologies.

Analysis of existing methods for identifying the technical condition of aviation engines

Professor Zhernakov S.V. is currently actively engaged in the task of identifying the technical state of aviation gas turbine engines (GTE) using neural network technologies. (Ufa State Aviation Technical University), in whose work the necessary techniques have been

developed and the following tasks are successfully solved: identification of characteristics of the GTE; identification of the inverse multimode model of the GTE according to the parameters of its oil system; identification of the multi-mode dynamic model of the GTE [7–10]. The solution to these problems was obtained both in bench test conditions and in the flight operation of the aircraft. However, the results obtained are applicable only to turbojet engines installed on aircraft.

It is known that helicopters in most of their cases use turboshaft engines, the number of which includes the engine TV3-117, the structure and running processes, which differ from the structure and processes occurring inside turbojet engines. Therefore, it is necessary to modify (refine) previously developed methods for solving the tasks of identifying the technical state of aviation engines using neural network technologies, which will allow them to be used for monitoring and diagnostics of turbocharged engines, including the engine TV3-117. Therefore, the scientific and practical tasks solved in this work are relevant.

Problem formulation

It is assumed that aircraft engine TV3-117 as a nonlinear control object on steady operating modes is described using the equations of the form:

$$f_1(A, U) = 0; \quad (1)$$

$$Y = f_2(A, X); \quad (2)$$

where f_1 and f_2 – nonlinear vector-function; A and U –

vectors of engine parameters; X – vector of engine state variable [11].

In practice, the task of indirect measurements is relevant: by observing the vector of the output thermogasdynamic parameters of the engine, determine the values of its control influences (that is, components of the vector U). For example, according to the measured value of parameters n , T_3^* , P_2^* it is necessary to calculate the value of fuel consumption in the combustion chamber G_T . Analytical statement of this problem is reduced to the definition of inverse nonlinear dependence f^{-1} in the expression:

$$U = f^{-1}(A, Y); \quad (3)$$

where Y – vector of engine output coordinates [11].

Thus, the goal of the work is to develop methods for identifying the technical state of the aircraft engine TV3-117 on the basis of real-time neural network technologies, while it is necessary to determine its structure and parameters, which ensures a minimum error of learning E based on the procedure presented in fig. 1, where $\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_k)^T$ – the vector of inconsistencies between the actual and estimated by means of the neural network of the values of control influences, that is $\varepsilon = U - U^*$, and $E = \sum_i \varepsilon_i^2$. After training, the neural network reproduces the characteristics of the reverse multi-mode aircraft engine model TV3-117.

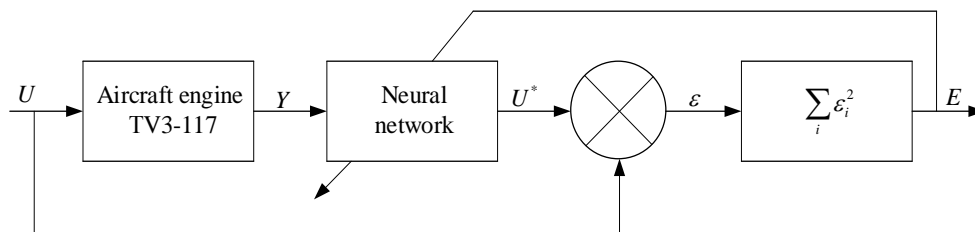


Fig. 1. Scheme of the solution of the problem of identification of the return multi-mode model of the aircraft engine TV3-117

The solution of the identification problem of the reverse multi-mode model of the aircraft engine TV3-117 on the basis of neural network technologies will be based on the following steps of the proposed method:

1. Data analysis;
2. Pre-processing of data;
3. Selection of the architecture of the neural network;
4. Selection of the neural network structure;
5. Choosing the algorithm for training the neural network;
6. Evaluating effectiveness.

Development of the neural network: the choice of architecture, structure, learning algorithm

The inverse problem of identifying a multi-mode aircraft engine model TV3-117 is as follows: the values of

the following engine parameters are reduced to standard atmospheric conditions (table 1). It is necessary to construct a multi-mode neural network mathematical model for the calculation (indirect measurement) of the value of the reduced fuel consumption.

Data for table 1 entered in accordance with the provisions [7] that the set of steady-state operating modes of the aircraft engine TV3-117 is described by a combination of functional dependencies on the values of the following engine parameters:

$$\begin{aligned} n_{sp} &= n \sqrt{\frac{288}{T_N^*}}; \quad G_{airsp} = \frac{G_{air} \cdot 760}{P_N^*} \sqrt{\frac{288}{T_N^*}}; \quad P_{2sp}^* = P_2^* \cdot \frac{760}{P_N^*}; \\ T_{2sp}^* &= T_2^* \cdot \frac{288}{T_N^*}; \quad T_{3sp}^* = T_3^* \cdot \frac{288}{T_N^*}; \quad R_{sp} = R \cdot \frac{760}{P_N^*}; \end{aligned} \quad (4)$$

where $G_{T_{sp}}$ – specific value of fuel consumption (kg/s); n_{sp} – specific value of the rotor frequency of the turbine compressor (%); $G_{air_{sp}}$ – specific value of the air consumption (kg/s); $P_{2_{sp}}^*$ and $T_{2_{sp}}^*$ – respectively, the

pressure (kPa) and temperature (K) are calculated for the turbine compressor; $T_{3_{sp}}^*$ – specific value of the gases temperature behind the compressor turbine (K); R_{sp} – specific value of the engine thrust is shown.

Table 1. Fragment of the training sample for identification of multi-mode model of aircraft engine TV3-117

$G_{T_{sp}}$	n_{sp}	$G_{air_{sp}}$	$P_{2_{sp}}^*$	$T_{2_{sp}}^*$	$T_{3_{sp}}^*$	R_{sp}
0.188	0.533	0.413	0.323	0.439	0.513	0.148
0.126	0.343	0.247	0.199	0.249	0.471	0.051
0.198	0.543	0.422	0.331	0.446	0.519	0.156
0.475	0.793	0.752	0.638	0.804	0.753	0.495
0.145	0.403	0.299	0.238	0.294	0.463	0.076
0.348	0.707	0.614	0.501	0.663	0.667	0.331
0.239	0.582	0.464	0.366	0.475	0.547	0.189
0.728	0.901	0.923	0.849	0.925	0.854	0.769
1.011	1.009	1.031	1.038	1.050	1.014	1.051
0.136	0.374	0.274	0.219	0.271	0.465	0.065
0.148	0.409	0.306	0.243	0.299	0.465	0.084
0.557	0.832	0.821	0.714	0.866	0.788	0.590
0.188	0.533	0.413	0.323	0.439	0.513	0.148

The process of transition from the physical parameters of the engine to the given values (and back), carried out using the neural network model of the aircraft engine TV3-117, shown in fig. 2, where the conversion of the measured (physical) parameters of the engine to the reduced, which correspond to the standard atmospheric conditions $T_N^* = 288,15$ K, $P_N^* = 760$ mm Hg is carried out with the help of the operator $F(\bullet)$, which is described by the expressions (1) and (2), and the inverse transition –

using the operator $F_1(\bullet)$ by the formulas of the gas-dynamic similarity:

$$\begin{aligned} n_{sp} &= n \sqrt{\frac{288}{T_N^*}}; \quad G_{air_{sp}} = \frac{G_{air} \cdot 760}{P_N^*} \sqrt{\frac{288}{T_N^*}}; \quad P_{2_{sp}}^* = P_2^* \cdot \frac{760}{P_N^*}; \\ T_{2_{sp}}^* &= T_2^* \cdot \frac{288}{T_N^*}; \quad T_{3_{sp}}^* = T_3^* \cdot \frac{288}{T_N^*}; \quad R_{sp} = R \cdot \frac{760}{P_N^*}; \end{aligned} \quad (5)$$

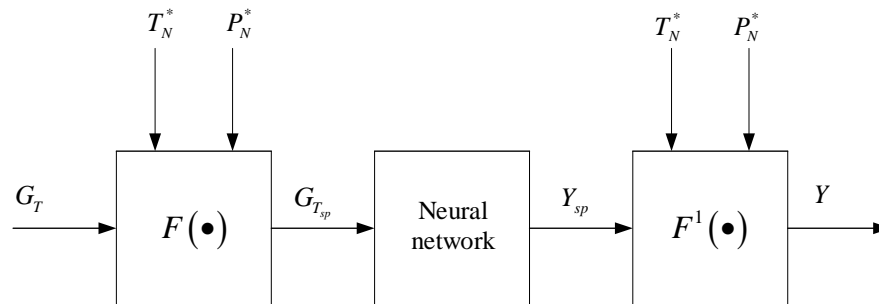


Fig. 2. The scheme of transition from the neural network model of the aircraft engine TB3-117 in the given parameters to the model in physical quantities

and the influence of flight conditions on the parameters of the air entering the engine is thus considered as:

$$T_N^* = T_N \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right); \quad P_N^* = P_N \sigma_{rec} \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right)^{\frac{k}{k-1}}; \quad (6)$$

where T_N and P_N – respectively, the temperature (K) and pressure (mm Hg) air at a given flight altitude; T_N^* and P_N^* – are inhibited values of these parameters at a given altitude; k – adiabatic index; M – the number of flaps the flight; σ_{rec} – recovery rate of full pressure in the air intake.

The analysis of the initial data (training sample) and the process of their pre-processing is carried out in the

same way as it was done in solving the problem of identifying a direct multi-mode model of the aircraft engine TV3-117. In the process of experimental research as the main architectures of neural networks, for the solution of this problem, perceptron and RBF were investigated [12, 13].

The architecture of the neural network RBF for solving the problem of identifying the reverse multi-mode model of the aircraft engine TV3-117 is shown in fig. 3.

Experimental studies on the selection of optimal structures of neural networks RBF and perceptron showed that the optimal complexity of neural networks should have respectively 12 and 16 neurons in the hidden layer (fig. 4, curve 1) and (fig. 4, curve 2).

Thus, the structure of 8-12-1 is optimal for the complexity of the structure of the neural network RBF for solving the inverse problem of identification of the multimode model of the aircraft engine TV3-117; and for the perceptron – the structure 8-16-1. Activation functions of neurons were taken sigmoid, i.e.

$f(s) = \frac{s}{a + |s|}$. The analysis of the effectiveness of various algorithms for training the neural network, described in detail in [14, 15], where the choice of the most optimal – additive step of training the neural network, which is realized in the form of a gradient method, is substantiated.

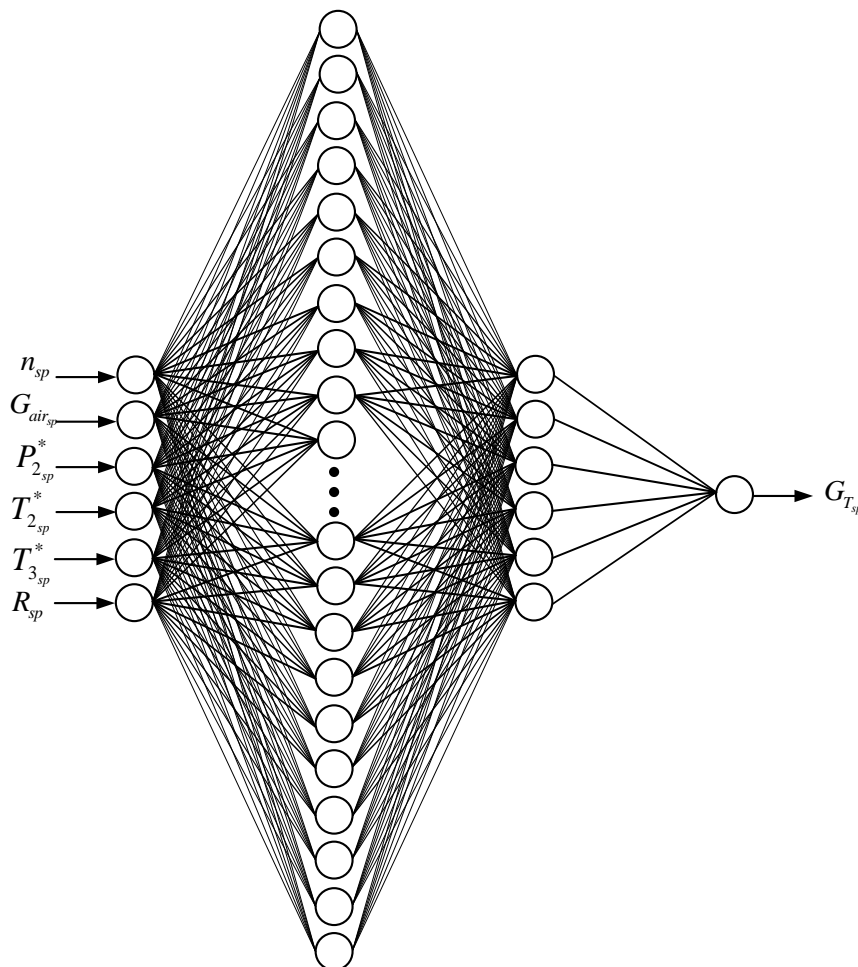


Fig. 3. Reverse multi-mode model of aviation engine TV3-117 based on neural network RBF

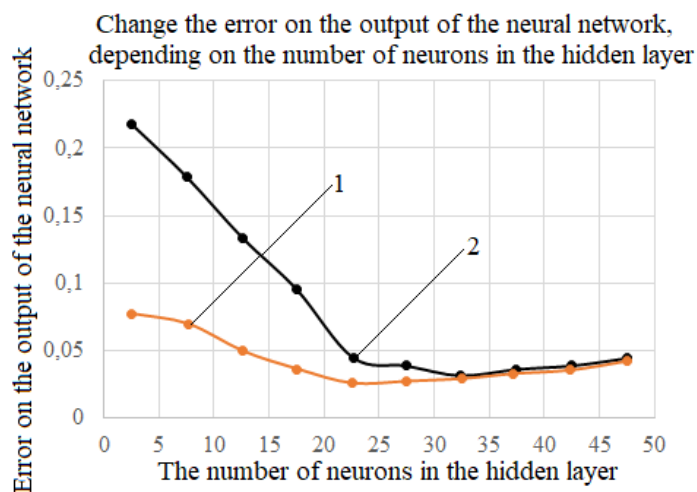


Fig. 4. The choice of the optimal complexity of neural network structures for solving the inverse identification problem: 1 – perceptron; 2 – RBF

Results of the task solution

In the framework of the developed method, a comparative analysis of the accuracy of the neural networks (perceptron and RBF) and the classical (LSM) methods of identifying the inverse multi-mode model of the aviation engine TV3-117 on the test sample (fig. 5) and on the same sample in the conditions of the additive

component of the obstacle (white noise with zero mathematical expectation $M = 0$ and $\sigma = 0.01$, fig. 6). Curves on fig. 5 and 6 correspond to the errors of calculation of the reduced fuel consumption for the two classes of neural network models (perceptron and RBF), as well as for the polynomial regression model of the 8th order received by the LSM.

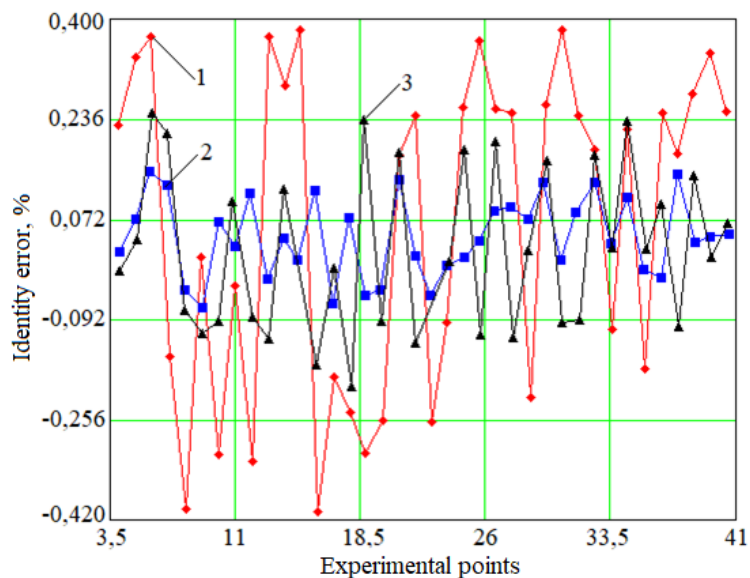


Fig. 5. Results of research of neural network and classical methods of identification of the return multi-mode model of aircraft engine TV3-117: 1 – least squares method; 2 – perceptron; 3 – RBF

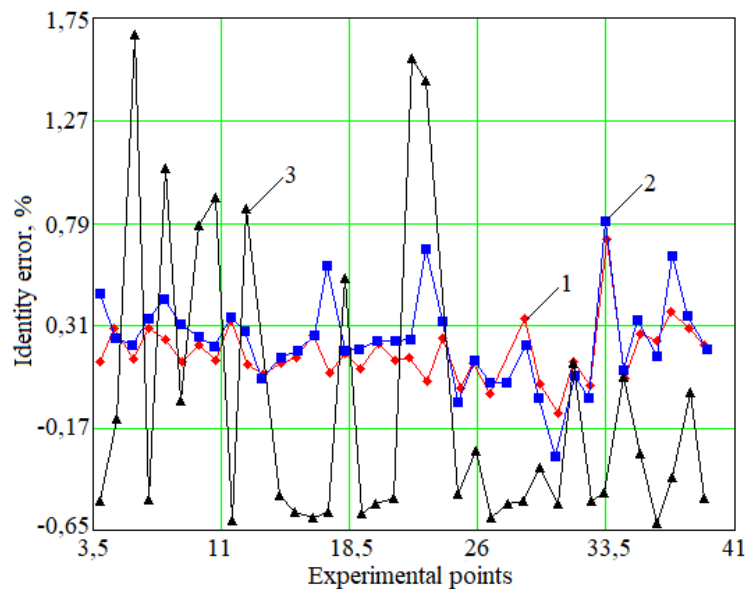


Fig. 6. Results of research of neural network and classical methods of identification of the reverse multi-mode model of aircraft engine TV3-117 on a test sample in conditions of additive noise (white noise): 1 – least squares method; 2 – perceptron; 3 – RBF

Table 2. Comparative analysis of the accuracy of neural networks and classical methods of identification of the reverse multi-mode model of aircraft engine TV3-117 (indirect measurement of fuel consumption)

Identification method	Mean square error (no noise)	Absolute error (no noise), %	Mean square error (with noise)	Absolute error (with noise), %
Least squares method	0.057	0.508	1.393	1.742
Perceptron	0.018	0.128	0.038	0.607
Radial-basic function	0.046	0.275	0.057	0.754

The analysis of the obtained results shows that the best performance is the perceptron neural network, which allows for indirect measurements of fuel consumption over a wide range of engine operation:

- without noise – with an error of not more than 0.128 %;

- with the presence of noise ($\sigma = 0,01$) – with an error of not more than 0.607 %.

Applying the least squares method in these conditions allows you to get the error value:

- no noise – no more than 0.508 %;

- with the presence of noise – no more than 1.742 %.

Consequently, in solving the inverse problem of identifying a multi-mode aircraft engine model TV3-117, neural networks are more prone to disturbances of the initial data than the classical methods, which in the conditions of the obstacles give a great error of identification.

Conclusions

Obviously, the application of neural network technologies in solving the problems of control, diagnostics and forecasting of the parameters of the technical condition of the aircraft engine TV3-117 is not an end in itself. The use of neural networks should be considered economically viable (that is, giving real economic effect) only in those cases where existing methods can not provide the desired quality of the solution, that is, when there is evidence in favor of higher efficiency of neural networks. Summarizing the above, we can draw the following conclusions.

1. Application of the device of neural networks turns out to be effective in solving a large range of tasks: the identification of the mathematical model of the aircraft engine TV3-117, diagnostics of the state, analysis of trends, forecasting of parameters, etc. Although these tasks usually belong to the class of difficultly formalizable (poorly structured), neural networks are adequate and effective in their solution.

2. In the process of solving the problem of identifying the mathematical model of the aircraft engine TV3-117 on the basis of neural networks, it was established that neural networks solve the problem of identification more precisely than classical methods: the identification error at the output of the neural network type perceptron in 3.16 times, the neural network of the RBF type – 1.24 times less than the regression model obtained with the help of LSM for the range of changes in engine operation.

3. The error of identification of the aircraft engine TV3-117 with the help of perceptron did not exceed 1.8 %; for the neural network RBF – 4.6 %, while for the classical method (LSM) it makes about 5.7 % in the considered range of changes in engine operation modes.

4. Neural network methods are more robust to external perturbations: for the noise level $\sigma = 0.01$, the error of identification of the aircraft engine TB3-117 with the use of the perceptron has increased from 1.8 to 3.8 %; for the neural network RBF – from 4.6 to 5.7 %, and for the method of least squares – from 5.7 to 13.93 %.

5. In the process of solving the problem of identifying the inverse multi-mode model of the aircraft engine TV3-117 on its parameters on the basis of neural networks (perceptron and RBF) it was shown that their use allows for indirect measurement of the parameters of the flow part of the engine at different modes of its operation: in the absence of noise – with an error of not more than 1.8 and 4.6 % respectively; in the presence of noise ($\sigma = 0.01$) – with an error of not more than 3.8 and 5.7 %, respectively. Using in these conditions the method of least squares (polynomial regression model of the 8th order) allows us to obtain the value of the error: in the absence of noise – no more than 5.7 %; in the presence of noise – no more than 13.93 %. Thus, when solving the problem of identifying the inverse multi-mode model of the aircraft engine TV3-117, neural networks are more robust to perturbations of the original data than the classical methods which in the conditions of interference give a big error of identification.

References

1. Shevchenko, I., Tertyshnyi, V. and Koval, S. (2017), "Designing a model of a decision support system based on a multi-aspect factographic search", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 4, Issue 2 (88), P. 20–26. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108569>
2. Pashayev, A. M., Askerov, D. D., Ardil, C., Sadiqov, R. A., Abdullayev, P. S. (2007), "Complex Condition Monitoring System of Aircraft Gas Turbine Engine", *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*, Vol. 1, No. 11, P. 689–695.
3. Stamatias, A. G. (2011), "Evaluation of gas path analysis methods for gas turbine diagnostics", *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 25, Issue 2, P. 469–477.
4. Ntantis, E. L. (2015), "Diagnostic Methods for an Aircraft Engine Performance", *Journal of Engineering Science and Technology*, Review 8 (4), P. 64–72.
5. Kiakojoori, S., Khorasani, K. (2016), "Dynamic neural networks for gas turbine engine degradation prediction, health monitoring and prognosis", *Neural Computing & Applications*, Vol. 27, No. 8, P. 2151–2192.
6. Mohammadi, R., Naderi, E., Khorasani, K., Hashtrudi-Zad, S. (2011), "Fault diagnosis of gas turbine engines by using dynamic neural networks", *2011 IEEE International Conference on Quality and Reliability*, Bangkok, Thailand, P. 25–30.
7. Zhernakov, S. V., Vasilev, V. I., Musluhov, I. I. (2009), "Onboard algorithms for monitoring parameters of gas turbine engines based on neural network technology" ["Bortovyye algoritmy kontrolya parametrov GTD na osnove tehnologii neyronnykh setey"], *Bulletin of USATU*, Vol. 12, No. 1 (30), P. 61–74.
8. Zhernakov, S. V., Ravilov, R. F. (2011), "Identification of the reverse multimode GTE model by the parameters of its oil system based on neural network technology" ["Identifikatsiya obratnoy mnogorezhimnoy modeli GTD po parametram ego maslyanoy sistemy na osnove tehnologii neyronnykh setey"], *Bulletin of Kalashnikov ISTU*, No. 3 (51), P. 126–129.
9. Zhernakov, S. V. (2007), "Neural network technology for diagnosing the technical condition of aircraft engines" ["Neyrosetevyye tehnologii dlya diagnostiki tehniicheskogo sostoyaniya aviatsionnykh dvigateley"], *Information Technology*, No. 8, P. 22–29.

10. Zhernakov, S. V., Vasilev, V. I. (2009), "Identification of GTE characteristics based on neural network technology" ["Identifikatsiya harakteristik GTD na osnove tehnologii neyronnyih setey"], *Kontrol'. Diagnostika* ("Testing. Diagnostics"), No. 2, P. 54–61.
11. Shmelov, Yu., Vladov, S., Kryshan, O., Gvozdik, S. and Chyzhova, L. (2018), "Research of classification method of TV3-117 engine ratings operations based on neural network technologies", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (6), P. 93–101. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.6.093>
12. Castro, W., Oblitas, J., Santa-Cruz, R., Avila-George, H. (2017), "Multilayer perceptron architecture optimization using parallel computing techniques", *PLoS One*, Vol. 12 (12): e0189369, 17 p.
13. Que, Q., Belkin, M. (2016), "Back to the Future: Radial Basis Function Networks Revisited", *Appearing in Proceedings of the 19th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS), Cadiz, Spain, JMLR : W&CP*, Vol. 51, 13 p.
14. Vladov, S. I. Klimova, Ya. R. (2018), "Application of the adaptive training method of the neural network for diagnostics of the Mi-8MTV helicopter engine" ["Primenenie adaptivnogo metoda obucheniya neyronnoy seti dlya diagnostiki dvigatelya vertoleta Mi-8MTV"], *Information Technologies: Science, Technology, Technology, Education, Health (MicroCAD-2018), May 16–18, 2018, Kharkiv*, Part 1, P. 14.
15. Shmelev, Yu. N., Vladov, S. I., Boyko, S. N., Klimova, Ya. R., Vishnevskiy, S. Ya. (2018), "Diagnostics of the state of the Mi-8MTV helicopter engine using neural networks" ["Diagnostika sostoyaniya dvigatelya vertoleta Mi-8MTV s primeneniem neyronnyih setey"], *Bulletin of the Khmelnytsky National University*, No. 3.2018, P. 165–170.

Received 15.02.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Владов Сергій Ігорович – кандидат технічних наук, Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету, завідувач лабораторії організації наукової діяльності, ліцензування та акредитації, викладач кафедри енергозабезпечення і систем управління, Кременчук, Україна; e-mail: nml.nv.klknau@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8009-5254>.

Владов Сергей Игоревич – кандидат технических наук, Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета, заведующий лабораторией организации научной деятельности, лицензирования и аккредитации, преподаватель кафедры энергообеспечения и систем управления, Кременчуг, Украина.

Vladov Serhii – PhD (Engineering Sciences), Kremenchuk Flight College of National Aviation University, Head of Organization of Scientific Activities, Licensing and Accreditation Laboratory, Teacher at the Department of Energy Supply and Control Systems, Kremenchuk, Ukraine.

Шмельов Юрій Миколайович – кандидат технічних наук, Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету, заступник начальника коледжу з навчальної роботи, викладач кафедри енергозабезпечення і систем управління, Кременчук, Україна; e-mail: ref.nv.klknau@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7344-3924>.

Шмелев Юрий Николаевич – кандидат технических наук, Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета, заместитель начальника колледжа по учебной работе, преподаватель кафедры энергообеспечения и систем управления, Кременчуг, Украина.

Shmelov Yurii – PhD (Engineering Sciences), Kremenchuk Flight College of National Aviation University, Deputy College Chief for Curriculum, Teacher at the Department of Energy Supply and Control Systems, Kremenchuk, Ukraine.

Дерев'янюк Іван Григорович – Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету, викладач кафедри авіаційного транспорту, Кременчук, Україна; e-mail: keps.nv.klknau@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0116-1378>.

Деревянюк Иван Григорьевич – Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета, преподаватель кафедры авиационного транспорта, Кременчуг, Украина.

Derevyanko Ivan – Kremenchuk Flight College of National Aviation University, Teacher at the Department of Aviation Transport, Kremenchuk, Ukraine.

Дерябіна Інна Олексіївна – Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету, викладач кафедри авіаційного транспорту, Кременчук, Україна; e-mail: keps.nv.klknau@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5164-2976>.

Дерябина Инна Алексеевна – Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета, преподаватель кафедры авиационного транспорта, Кременчуг, Украина.

Dieriabina Inna – Kremenchuk Flight College of National Aviation University, Teacher at the Department of Aviation Transport, Kremenchuk, Ukraine.

Чигова Людмила Іванівна – Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету, голова циклової комісії української та іноземної мов, Кременчук, Україна; e-mail: keps.nv.klknau@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8009-5254>.

Чигова Людмила Ивановна – Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета, председатель цикловой комиссии украинского и иностранного языков, Кременчуг, Украина.

Chyzhova Liudmyla – Kremenchuk Flight College of National Aviation University, Teacher at the Department of Ukrainian and Foreign Languages, Kremenchuk, Ukraine.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЗВОРотної БАГАТОРЕЖИМНОЇ МОДЕЛІ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА ТВ3-117 НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Предметом дослідження в статті є авіаційний двигун ТВ3-117 та методи ідентифікації його технічного стану. **Мета** роботи – розробка методів ідентифікації технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 на основі нейромережєвих технологій у режимі реального часу. В статті вирішуються наступні **завдання**: задача ідентифікації зворотної багаторежимної моделі авіаційного двигуна ТВ3-117 з використанням нейронних мереж. Використовуються такі **методи**: методи теорії ймовірностей і математичної статистики, методи нейроінформатики, методи теорії інформаційних систем та обробки даних. Отримано наступні **результати**: Застосування апарату нейронних мереж виявляється ефективним при розв'язку великого кола задач: ідентифікації математичної моделі авіаційного двигуна ТВ3-117, діагностики стану, аналізу трендів, прогнозування параметрів тощо, при цьому незважаючи на те, що ці задачі зазвичай відносяться до класу важко формалізованих (погано структурованих), нейронні мережі виявляються адекватними і ефективними у процесі їх розв'язку. У процесі розв'язку задачі ідентифікації математичної моделі авіаційного двигуна ТВ3-117 на основі нейронних мереж було встановлено, що нейронні мережі розв'язують задачу ідентифікації точніше класичних методів. **Висновки**: Установлено, що похибка ідентифікації авіаційного двигуна ТВ3-117 за допомогою нейронної мережі типу перцептрон не перевищила 1,8 %; для нейронної мережі радіально-базисної функції (РБФ) – 4,6 %, в той час як для класичного методу (МНК) вона складає близько 5,7 % у розглянутому діапазоні зміни режимів роботи двигуна. З'ясовано, що нейромережєві методи більш робастні до зовнішніх збурень: для рівня шуму $\sigma = 0,01$ похибка ідентифікації авіаційного двигуна ТВ3-117 при використанні перцептрона зросла з 1,8 до 3,8 %; для нейронної мережі РБФ – з 4,6 до 5,7 %, а для методу найменших квадратів – з 5,7 до 13,93 %. У процесі розв'язку задачі ідентифікації зворотної багаторежимної моделі авіаційного двигуна ТВ3-117 за його параметрами на основі нейронних мереж (перцептрон і РБФ) було показано, що їх використання дозволяє проводити непряме вимірювання параметрів проточної частини двигуна на різних режимах його роботи: за відсутності шуму – з похибкою не більше 1,8 і 4,6 % відповідно; за наявності шуму ($\sigma = 0,01$) – з похибкою не більше 3,8 і 5,7 % відповідно. Застосування в цих умовах методу найменших квадратів (поліноміальна регресійна модель 8-го порядку) дозволяє отримати значення похибки: за відсутності шуму – не більше 5,7 %; за наявності шуму – не більше 13,93 %.

Ключові слова: авіаційний двигун; нейронна мережа; перцептрон; радіально-базисна функція; ідентифікація.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБРАТНОЇ МНОГОРЕЖИМНОЇ МОДЕЛІ АВІАЦІЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТВ3-117 НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Предметом дослідження в статті є авіаційний двигачель ТВ3-117 і методи ідентифікації його технічного стану. **Цель** роботи – розробка методів ідентифікації технічного стану авіаційного двигачеля ТВ3-117 на основі нейросетєвих технологій в режимі реального часу. В статті вирішуються наступні **задачі**: задача ідентифікації зворотної багаторежимної моделі авіаційного двигачеля ТВ3-117 з використанням нейронних мереж. Використовуються наступні **методи**: методи теорії ймовірностей і математичної статистики, методи нейроінформатики, методи теорії інформаційних систем та обробки даних. Отримано наступні **результати**: Застосування апарату нейронних мереж виявляється ефективним при розв'язку великого кола задач: ідентифікації математичної моделі авіаційного двигачеля ТВ3-117, діагностики стану, аналізу трендів, прогнозування параметрів тощо, при цьому незважаючи на те, що ці задачі зазвичай відносяться до класу важко формалізованих (погано структурованих), нейронні мережі виявляються адекватними і ефективними у процесі їх рішення. В процесі рішення задачі ідентифікації математичної моделі авіаційного двигачеля ТВ3-117 на основі нейронних мереж було встановлено, що нейронні мережі розв'язують задачу ідентифікації точніше класичних методів. **Выводы**: Установлено, що погрешність ідентифікації авіаційного двигачеля ТВ3-117 з допомогою нейронної мережі типу перцептрон не перевищила 1,8 %; для нейронної мережі радіально-базисної функції (РБФ) – 4,6 %, в той час як для класичного методу (МНК) вона складає близько 5,7 % у розглянутому діапазоні зміни режимів роботи двигачеля. Вияснено, що нейросетєві методи більш робастні к зовнішнім збуренням: для рівня шуму $\sigma = 0,01$ погрешність ідентифікації авіаційного двигачеля ТВ3-117 при використанні перцептрона зросла з 1,8 до 3,8 %; для нейронної мережі РБФ – з 4,6 до 5,7 %, а для методу найменших квадратів – з 5,7 до 13,93 %. В процесі рішення задачі ідентифікації зворотної багаторежимної моделі авіаційного двигачеля ТВ3-117 по його параметрам на основі нейронних мереж (перцептрон і РБФ) було показано, що їх використання дозволяє проводити косвенне вимірювання параметрів проточної частини двигачеля на різних режимах його роботи: при відсутності шуму – з погрешністю не більше 1,8 і 4,6 % відповідно; при наявності шуму ($\sigma = 0,01$) – з погрешністю не більше 3,8 і 5,7 % відповідно. Застосування в цих умовах методу найменших квадратів (поліноміальна регресійна модель 8-го порядку) дозволяє отримати значення погрешності: при відсутності шуму – не більше 5,7 %; при наявності шуму – не більше 13,93 %.

Ключевые слова: авіаційний двигачель; нейронна мережа; перцептрон; радіально-базисна функція; ідентифікація.

І. М. КАДИКОВА, С. О. ЛАРИНА, І. В. ЧУМАЧЕНКО

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ОЧІКУВАНЬ ЗАЦІКАВЛЕНИХ СТОРІН І ЇХ КОРИГУВАННЯ ПРИ СТРАТЕГІЧНОМУ УПРАВЛІННІ ПРОГРАМОЮ ПРОЕКТІВ

Предметом дослідження в статті є управління зацікавленими сторонами проектів при реалізації стратегії програми. **Мета** статті – розробка методу визначення очікувань зацікавлених сторін і їх коригування з позицій стратегічного управління програмою проектів. В статті вирішуються наступні **завдання**: виділити у певну класифікацію стейкхолдерів проектів залежно від характеру їх ставлення до стратегії програми проектів; розробити матрицю оцінки рівня їх залучення до реалізації стратегії програми; модифікувати матрицю "влада/інтерес" для більш точного представлення характеру інтересу; побудувати модель стратегічного кубу зацікавлених сторін проектів та програм; розробити рекомендації щодо організації цілеспрямованого впливу на очікування зацікавлених сторін проектів програми з метою коригування їх очікувань для сприяння ефективності реалізації стратегії програми. Використовуються такі **методи**: теорія множин, кола Ейлера, матричні та графоаналітичні методи. Отримані **результати**: розроблена класифікація стейкхолдерів проектів залежно від характеру їх ставлення до стратегії програми проектів. Матриця оцінки рівня залучення стейкхолдерів до реалізації стратегії програми передбачає розробку поточного та бажаного стану. Модифікована матриця "влада/інтерес" розмірністю 2*4 містить у кожному квадранті рекомендації щодо управління стейкхолдерами. Побудована модель стратегічного кубу зацікавлених сторін містить 20 квадрантів. Сформульовані рекомендації щодо використання методу з п'яти етапів для визначення очікувань зацікавлених сторін і їх коригування з позицій стратегічного управління програмою проектів. **Висновки**: розроблено метод визначення очікувань зацікавлених сторін і їх коригування, заснований на оцінці рівня залучення стейкхолдерів до реалізації стратегії програми проектів з урахуванням класифікації відповідно до характеру ставлення до неї, який на відміну від існуючих передбачає побудову та аналіз модифікованої матриці "влада/інтерес" та стратегічного кубу зацікавлених сторін проектів та програм, що дозволяє розширити горизонт аналізу та швидкість реагування на мінливі запити стейкхолдерів при плануванні реалізації стратегії програми.

Ключові слова: управління проектами та програмами; стейкхолдери; управління очікуваннями; планування; стратегічне управління.

Вступ

Проактивне управління зацікавленими сторонами проектів знижує ризик того, що стратегічні цілі програми проектів не зможуть бути досягнуті внаслідок невирішених проблем всередині та ззовні організації. За класикою стратегічного менеджменту, організація може і повинна формувати внутрішнє середовище згідно позначеним стратегічним цілям, то актуальним є питання вибору методу управління внутрішніми стейкхолдерами проектів з урахуванням стратегічних пріоритетів програми проектів. Водночас зовнішні стейкхолдери чинять вплив на успішність реалізації проектів та програм. Тож, потрібні методи та інструменти виявлення їх очікувань, аналізу та коригування в межах стратегічного управління програмою проектів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Теорія зацікавлених сторін була започаткована у 1984 році дослідником Freeman. З того часу вона постійно привертає значну увагу науковців, зокрема і в управлінні проектами. За останні роки було опубліковано чимало праць закордонних дослідників, що підтверджують важливу роль зацікавлених сторін в проектному управлінні. Серед них Achterkamp & Vos [1], Chan & Oppong [2], Littau зі співавторами [3], Maddaloni & Davis [4], Mok, Nguyen, Oppong та інші. Зокрема, Aaltonen та Kujala відзначають що, "проект створює динамічний контекст для управління зацікавленими сторонами та поведінкою зацікавлених

сторін, оскільки проект рухається через різні фази протягом свого життєвого циклу" [5]. Базуючись на роботах Freeman та інших, виділяють два проектні підходи до управління зацікавленими сторонами [6]:

1) "управління зацікавленими сторонами". Цей підхід вимагає від зацікавлених сторін дотримання вимог проекту, визначаючи пріоритетність зацікавлених сторін відповідно до рівня їх важливості для успішності проекту;

2) "управління для зацікавлених сторін". Прихильники цього підходу вважають, що всі зацікавлені сторони однаково важливі. Тож, при виникненні конфлікту між стейкхолдерами йде пошук безпрограшного сценарію його врегулювання.

Керівництво до зводу знань з управління проектами (PMBOK® Guide) значну увагу приділяє управлінню стейкхолдерами. Так, стосовно внутрішніх стейкхолдерів, введено поняття "організаційні групи" – внутрішні зацікавлені сторони, які роблять взаємний вплив з командою проекту [7]. Ці групи підтримують ділове середовище, в якій виконуються проекти і програми. Як результат, між різними бізнес-елементами організації і командою проекту існує значний ступінь взаємодії, оскільки вони спільно працюють для досягнення цілей проекту.

Останнім часом спостерігається підвищена увага світової спільноти до екологічної та соціальної компонент проектів та програм. Тож, такі відомі вчені як Davis, Eskerod, Huemann, Jepsen, Zuchi та ін. все частіше закликають до "управління для зацікавлених сторін", спрямованого на досягнення сталого розвитку. Тобто акцент робиться на стратегічному

управлінні. Сьогодні відмічається стійка увага вітчизняних науковців і до проблем проектного управління стратегією сталого розвитку [8, 9], і до теорії зацікавлених сторін [10-12].

Управління стейкхолдерами є об'єктом досліджень і вітчизняними науковцями моделей та методів управління підприємств різних галузей господарювання. Так, у роботі [13] Мамонов К. А., розглядаючи стейкхолдерно-орієнтований підхід в управлінні будівельних корпоративних підприємств, визначає стейкхолдерів як "групи, організації, індивідууми, що, з одного боку, впливають на розвиток підприємств, а з іншого боку, підприємства впливають на їх формування й використання, обумовлює взаємозв'язки між зацікавленими особами, взаємодія між якими здійснюється в сфері формування, використання й розподілу всіх видів ресурсів, інформаційного забезпечення, ризику, капіталу бренду для забезпечення розвитку будівельних корпоративних підприємств".

Значно рідше стейкхолдери проектів стають об'єктом досліджень в контексті стратегічного управління портфелями, програмами та проектами. Для формування портфеля проектів Кононенко І.В. в роботі [14] пропонує враховувати місію, цінність, бачення, цілі компанії, можливі фінансові ресурси для здійснення проектів, привабливість ринку, оцінки результатів проекту для розвитку компанії та досягнення стратегічних цілей, оцінювання процесу управління кожним проектом, зокрема і оцінювання впливу стейкхолдерів.

Основними користувачами теорії зацікавлених сторін Солодухин К. С. називає не всі компанії, а лише ті, що є зацікавленими у підтриманні стосунків з широким колом стейкхолдерів і в управлінні ними [15]. Таким компаніям, на думку автора, теорія зацікавлених сторін може запропонувати нестандартні підходи для вирішення їх специфічних завдань.

У роботі [16] Белоусов К. Ю. зауважує, що актуалізація проблеми ідентифікації зацікавлених сторін підкреслює важливість "стратегічного стейкхолдер-менеджменту та впровадження інтегрованого стратегічного підходу". Сучасні методики ідентифікації зацікавлених сторін відчують значний вплив концепції сталого розвитку компанії. Автор дослідження називає стейкхолдер-менеджмент ("stakeholder management") прикладним процесом, який часто реалізується в проектах у вигляді стейкхолдерського аналізу ("stakeholder analysis"), який у свою чергу містить три етапи:

- 1) ідентифікацію ("stakeholder identification"),
- 2) позиціонування ("stakeholder mapping"),
- 3) взаємодію з зацікавленими сторонами ("stakeholder engagement").

Враховуючи все наведене вище, сформовано мету даної статті, досягнення якої дозволить усунути розриви в наявних моделях та методах управління в контексті стратегічного проектного управління та управління зацікавленими сторонами тощо.

Формулювання мети статті

Метою даної статті є розробка методу визначення очікувань зацікавлених сторін і їх коригування з позицій стратегічного управління програмою проектів. Відповідно до мети поставлені завдання дослідження:

- виділити у певну класифікацію стейкхолдерів проектів залежно від характеру їх ставлення до стратегії програми проектів;
- розробити матрицю оцінки рівня їх залучення до реалізації стратегії програми;
- модифікувати матрицю "влада/інтерес" для більш точного представлення характеру інтересу;
- побудувати модель стратегічного кубу зацікавлених сторін проектів та програм;
- розробити рекомендації щодо організації цілеспрямованого впливу на очікування зацікавлених сторін проектів програми з метою коригування їх очікувань для сприяння ефективності реалізації стратегії програми.

Виклад основного матеріалу

Пропонований метод визначення очікувань зацікавлених сторін і їх коригування з позицій стратегічного управління програмою проектів складається з 5 етапів.

Етап 1: виділення множин стейкхолдерів проектів залежно від характеру їх ставлення до стратегії програми проектів.

У наших попередніх роботах [17–19] формалізовано ставлення зацікавлених сторін проектів програми до стратегії програми. З цієї метою було побудовано кола Ейлера, абстрагуючись від конкретної програми і узагальнивши відносини широкого кола зацікавлених сторін до місії програми та її стратегії (рис. 1). Використано такі позначення:

U – (Universum) множина всіх зацікавлених сторін портфеля проектів:

$$U = \{str_q\},$$

де str_q – стейкхолдери q -х елементів портфелю (проектів та програм). При цьому кількість стейкхолдерів програми проектів (S) може бути більша за сумарну кількість стейкхолдерів проектів, які входять до складу програми (1):

$$S \geq \sum_1^P s_p, \quad (1)$$

де s_p – кількість стейкхолдерів p -го проекту, $p = \overline{1, P}$, де P – кількість проектів у складі програми;
 Exp – (Expediency) множина зацікавлених сторін, які усвідомлюють доцільність реалізації місії і стратегії;
 Inf – (Influence) множина стейкхолдерів, які в силу своїх посадових обов'язків та повноважень здатні впливати на результативність реалізації стратегії;

Fac – (Facilitate) множина зацікавлених сторін, які своєю діяльністю сприяють реалізації стратегії.

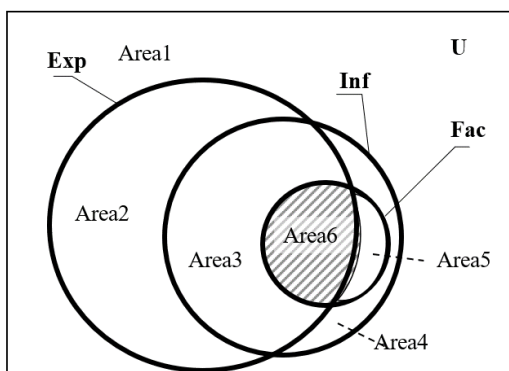


Рис. 1. Кола Ейлера, що ілюструють класифікацію зацікавлених сторін проекту за характером ставлення до стратегії

Як показано на рис. 1, множина *Fac* є підмножиною множини *Inf*:

$$Fac \subset Inf = Fac = \{sth_q \mid (sth_q \in Fac) \wedge (sth_q \in Inf)\}.$$

Також з графіка видно, що множини *Exp* і *Inf* мають області перетину, так само як і множини *Exp* і *Fac*, тобто

$$Exp \cap Inf \neq \emptyset \text{ та } Exp \cap Fac \neq \emptyset.$$

Для доказу коректності такого взаємного розташування розглянутих множин визначимо, що представляють собою області, що утворилися на рис. 1 в результаті побудови кіл Ейлера, і обмежені замкнутими контурами. Таких областей шість:

Area1 – область, описувана як $\overline{Exp} \cap \overline{Inf} \cap \overline{Fac}$, де \overline{Exp} , \overline{Inf} , \overline{Fac} – відповідно доповнення множини *Exp*, множини *Inf* та множини *Fac* до універсуму *U*. Це множина стейкхолдерів, які не розуміють доцільності заявленої стратегії програми, не мають впливу на результативність реалізації стратегії і, відповідно, їхня праця не сприяє її реалізації, тобто

$$Area1 = \{sth_q \mid (sth_q \notin Exp) \wedge (sth_q \notin Inf) \wedge (sth_q \notin Fac)\};$$

Area2 – область, описувана як $Exp \cap \overline{Inf} \cap \overline{Fac}$, є множиною стейкхолдерів, які поділяють місію та стратегічні цілі програми, але не мають можливості впливати на їх реалізацію, тобто

$$Area2 = \{sth_q \mid (sth_q \in Exp) \wedge (sth_q \notin Inf) \wedge (sth_q \notin Fac)\};$$

Area3 – область, описувана як $Exp \cap Inf \cap \overline{Fac}$, є множиною стейкхолдерів, які усвідомлюють доцільність реалізації місії і стратегії, в силу своїх посадових обов'язків вони здатні впливати на результативність реалізації стратегії, але не роблять цього. Наприклад, це може бути продиктовано небажанням (лінощами) або надмірним занепаженням в інших проєктах / програмах. Тобто

$$Area3 = \{sth_q \mid (sth_q \in Exp) \wedge (sth_q \in Inf) \wedge (sth_q \notin Fac)\};$$

Area4 – область, описувана як $\overline{Exp} \cap Inf \cap \overline{Fac}$, є множиною стейкхолдерів, які в силу своїх посадових обов'язків здатні впливати на результативність реалізації стратегії, але не бачать доцільності реалізації затвердженої стратегії, а тому і не сприяють цьому. Тобто

$$Area4 = \{sth_q \mid (sth_q \notin Exp) \wedge (sth_q \in Inf) \wedge (sth_q \notin Fac)\};$$

Area5 – область, описувана як $\overline{Exp} \cap Inf \cap Fac$, є множиною стейкхолдерів, які в силу своїх посадових обов'язків сприяють реалізації стратегії, проте роблять це не з ідейних міркувань. Як правило, при цьому виконання орієнтоване на мінімальний прийнятний рівень показників. Тобто

$$Area5 = \{sth_q \mid (sth_q \notin Exp) \wedge (sth_q \in Inf) \wedge (sth_q \in Fac)\};$$

Area6 – область, описувана як $Exp \cap Inf \cap Fac$, є множиною стейкхолдерів, які з ідейних міркувань і в силу своїх посадових обов'язків сприяють реалізації стратегії. Це ідеальний варіант. Тобто

$$Area6 = \{sth_q \mid (sth_q \in Exp) \wedge (sth_q \in Inf) \wedge (sth_q \in Fac)\}.$$

Це дозволило всіх стейкхолдерів умовно розділити на 6 груп. Залежно від того, до якої групи належить більшість зацікавлених сторін проєктів програми, і розробляються ті чи інші методи роботи з ними для підвищення показників ефективності реалізації стратегії програми.

Етап 2: побудова матриці оцінки рівня залучення внутрішніх стейкхолдерів до реалізації стратегії програми.

Систематизувавши отриману інформацію відповідно до методології РМІ РМВОК [7] стосовно рівнів залучення стейкхолдерів, отримаємо матрицю оцінки рівня залучення до реалізації стратегії програми внутрішніх зацікавлених сторін проєкту (рис. 2). При цьому бажаний напрямок пересування по матриці в результаті здійснення управлінського впливу – зліва направо. Бажана зона позиціонування внутрішніх стейкхолдерів – область *Area6* (див. рис. 1), що описується як множина внутрішніх зацікавлених сторін, які з ідейних міркувань і в силу своїх посадових обов'язків сприяють реалізації стратегії.

Використання матриці допомагає виявити розбіжності між поточним і бажаним рівнем залученості внутрішніх зацікавлених сторін проєктів в процес реалізації стратегії програми. Проєктний офіс як структурний елемент, відповідальний за стратегічне управління, може визначити дії і комунікації, необхідні для усунення подібних розбіжностей.

Рівень залучення зацікавлених сторін до реалізації стратегії програми, L_j	Області, виділені на етапі 1	Організаційні групи
необізнаний	$Area4 \vee Area5 = \{sth_q (sth_q \notin Exp) \wedge (sth_q \in Inf)\}$	T_5, T_4
чинить опір	$Area3 = \{sth_q (sth_q \in Exp) \wedge (sth_q \in Inf) \wedge (sth_q \notin Fac)\}$	T_3
нейтральний	$Area2 = \{sth_q (sth_q \in Exp) \wedge (sth_q \notin Inf) \wedge (sth_q \notin Fac)\}$	$Ж_2, T_2$
підтримує	$Area2 \vee Area3 = \{sth_q (sth_q \in Exp) \wedge (sth_q \notin Fac)\}$	$T_2, Ж_3, Ж_3$
лідрує	$Area6 = \{sth_q (sth_q \in Exp) \wedge (sth_q \in Inf) \wedge (sth_q \in Fac)\}$	$Ж_6$

Рис. 2. Матриця оцінки рівня залучення внутрішніх зацікавлених сторін до реалізації стратегії програми (фрагмент), де T_i – поточний рівень залучення, $Ж_i$ – бажаний рівень залучення, i – номер області, виділеної на етапі 1 (згідно рис. 1)

Етап 3: побудова модифікованої матриці "влада/інтерес" для кожного проекту програми.

При проведенні аналізу зацікавлених сторін прийнято використовувати модель класифікації "матриця влади / інтересів", яка групує зацікавлені сторони на основі їх рівня повноважень ("влада") і рівня зацікавленості ("інтерес") щодо результатів проекту. У РМВок у якості прикладу наведено матрицю в такому вигляді, як подано на рис. 3. Пропонуємо дещо змінити графічне подання інформації щодо розподілу стейкхолдерів за рівнем та характером "інтересу", тоді матриця матиме вигляд, який наведений на рис. 4.

Фактично вісь "інтерес" розділено за характером цього інтересу на позитивний і негативний. Таким чином, права частина рис. 4 практично повторює собою рис. 3. А ліва частина є новою і деталізує інформацію про інтерес стейкхолдерів.

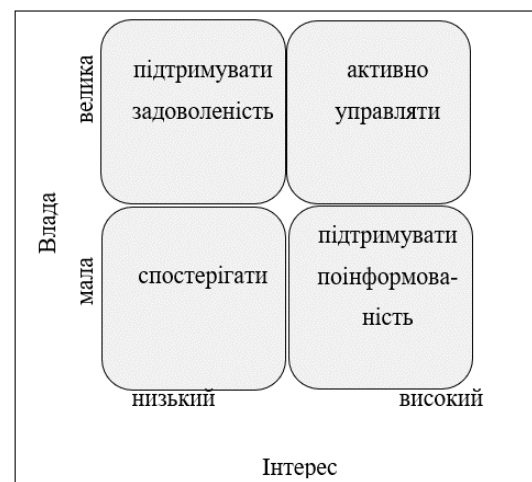


Рис. 3. Матриця "влада/інтерес" (за методологією РМВок)

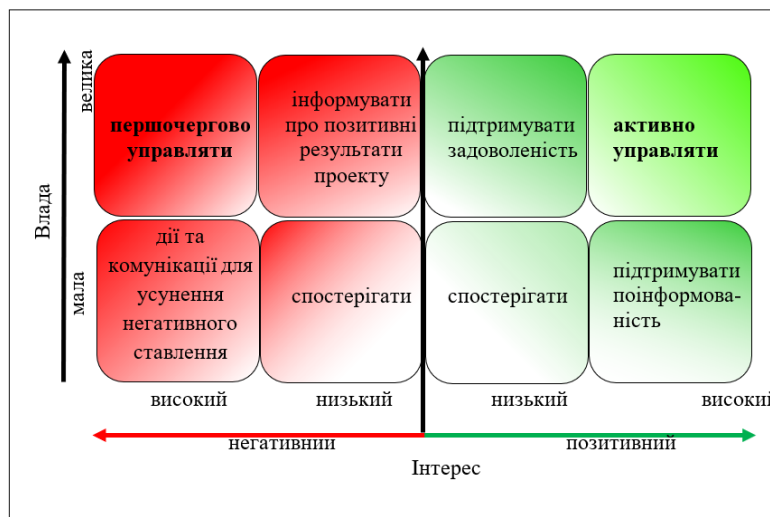


Рис. 4. Запропонована модифікація матриці "влада/інтерес"

Модифікована матриця "влада/інтерес" розмірністю 2*4 містить у кожному квадранті рекомендації щодо управління стейкхолдерами. Така модифікація одразу акцентує увагу менеджера на верхньому лівому квадранті матриці, який характеризується великою владою стейкхолдерів та

великим негативним інтересом до проекту. Позначення позитивного характеру інтересу зеленим кольором та негативного – червоним покращують візуальне сприйняття саме верхнього лівого квадранта матриці. Дана модель класифікації може використовуватися для невеликих проектів або для

проектів із простими взаємозв'язками між зацікавленими сторонами і проектом або у самій спільноті зацікавлених сторін.

Етап 4: побудова стратегічного кубу зацікавлених сторін проектів та програм.

Коли мова йде про стейкхолдерів програми, роль яких розглядається як один з ключових факторів успішності реалізації стратегії, то потрібний більш складний метод графічного співвідношення та представлення зацікавлених сторін. Один з рекомендованих РМВОК методів – це куб

зацікавлених сторін [7]. Ця модель має уточнювати та доповнювати матричні моделі через поєднання матричних елементів до тривимірної моделі, що може допомогти керівникові і команді проекту у розв'язанні завдань ідентифікації і залучення спільноти зацікавлених сторін проектів та програм. Тож, побудуємо на основі наведених вище розроблених матричних моделей таку багатомірну модель, яка б покращила наочне представлення множин зацікавлених сторін через його подання у вигляді багатомірного об'єкту (рис. 5), а також допомагала б у розробці стратегій комунікацій зокрема.

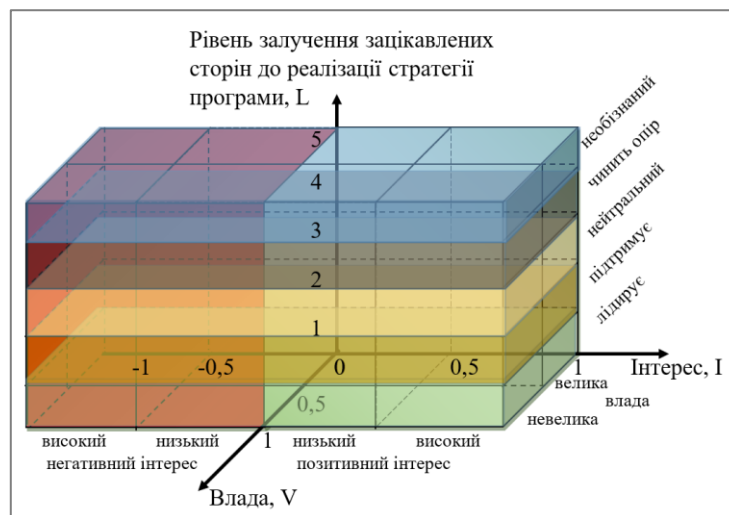


Рис. 5. Стратегічний куб зацікавлених сторін проектів та програм

При цьому використано такі позначення:

$I = \{i_j\}$ – сукупність рівнів зацікавленості j -их стейкхолдерів програми у її результатах,

$i_j \in [-1; 1]$, якщо $i_j > 0$, то інтерес j -го стейкхолдера у кінцевому результаті проекту позитивний, якщо $i_j < 0$, то інтерес негативний;

$j = \overline{1, S}$, де S – кількість стейкхолдерів програми проектів (див. (1));

$L = \{l_j\}$ – сукупність рівнів залучення j -их стейкхолдерів програми до реалізації стратегії програми, $l_j = \overline{1, 5}$, $l_j \in N$;

$V = \{v_j\}$ – сукупність рівнів повноважень j -их стейкхолдерів програми, $v_j \in [0; 1]$, якщо $v_j > 0,5$, то влада j -го стейкхолдера велика, якщо $v_j < 0,5$, то влада j -го стейкхолдера мала.

Розмірність кубу зацікавлених сторін $4 \times 2 \times 5$, тобто містить 20 квадрантів.

Етап 5: цілеспрямований вплив на зацікавлених сторін проектів програми з метою коригування їх очікувань для сприяння реалізації стратегії програми.

Заключний етап, на якому використовуються результати виконання попередніх етапів при

прийнятті управлінських рішень стосовно заходів впливу на очікування зацікавлених сторін.

Користувачем розробленого методу може виступати проектний офіс [20], оскільки він є структурним підрозділом, відповідальним за стратегічне управління проектами.

Висновки

Таким чином, розроблений на основі теорії множин, методів матричного та графічного аналізу метод визначення очікувань зацікавлених сторін і їх коригування з позицій стратегічного управління програмою проектів, який складається з 5 етапів:

- 1 етап: виділення (за розробленою класифікацією) множин стейкхолдерів проектів залежно від характеру їх ставлення до стратегії програми проектів;

- 2 етап: побудова матриці оцінки рівня залучення внутрішніх стейкхолдерів до реалізації стратегії програми;

- 3 етап: побудова модифікованої матриці "влада/інтерес" для кожного проекту програми;

- 4 етап: побудова стратегічного кубу зацікавлених сторін проектів та програм;

- 5 етап: цілеспрямований вплив на зацікавлених сторін проектів програми з метою коригування їх очікувань для сприяння ефективності реалізації стратегії програми.

Метод ґрунтується на оцінці рівня залучення стейкхолдерів до реалізації стратегії програми проєктів з урахуванням класифікації відповідно до характеру ставлення до неї, який на відміну від існуючих передбачає побудову та аналіз модифікованої матриці "влада/інтерес" та стратегічного кубу зацікавлених сторін проєктів та програм, що дозволяє розширити горизонт аналізу та швидкість реагування на мінливі запити стейкхолдерів при плануванні реалізації стратегії програми.

Список літератури

1. Achterkamp, M. C., Vos, J. F. J. (2008), "Investigating the use of the stakeholder notion in project management literature, a meta-analysis", *International Journal of Project Management*, Vol. 26, P. 749–757. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.10.001>.
2. Chan, A. P. C., Oppong, G. D. (2017), "Managing the expectations of external stakeholders in construction projects", *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol. 24, Issue 5, P. 736–756. DOI: <https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2016-0159>.
3. Littau, P., Jujagiri, N. J., Adlbrecht, G. (2010), "25 years of Stakeholder Theory in Project Management Literature (1984–2009)", *Project Management Journal*, Vol. 41, P. 17–29. DOI: <https://doi.org/10.1002/pmj.20195>.
4. Maddaloni, F. D., Davis, K. (2017), "The influence of local community stakeholders in megaprojects: Rethinking their inclusiveness to improve project performance", *International Journal of Project Management*, Vol. 35, P. 1537–1556.
5. Aaltonena, K., Kujalab, J. (2010), "A project lifecycle perspective on stakeholder influence strategies in global projects", *Scandinavian Journal of Management*, Vol. 26, Issue 4, P. 381–397. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scaman.2010.09.001>.
6. Nguyen, T. H. D., Chileshe, N., Rameezdeen, R., Wood, A. (2019), "External stakeholder strategic actions in projects: A multi-case study", *International Journal of Project Management*, Vol. 37, Issue 1, P. 176–191. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2018.12.001>.
7. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK (®) Guide*. 6th edition. Project Management Institute, 2017. 725 p.
8. Проектне управління стратегією сталого розвитку територій : монографія / за заг. ред. В. М. Бабаєва. Харків, 2017. 194 с.
9. Babaiev, V. M., Kadykova, I. M., Husieva, Yu. Yu., Chumachenko, I. V. (2017), "The method of adaptation of a project-oriented organization's strategy to exogenous changes", *Scientific Bulletin of National Mining University*, Vol. 2, P. 134–140.
10. Краснокутська Н. С., Ришкова Я. С. Теорія зацікавлених сторін: основні положення та сфери дослідження. *Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг*. 2014. Вип. 1. С. 96–104.
11. Гусєва Ю. Ю., Мартиненко О. С., Кадикова І. М., Чумаченко І. В. Метрики процесів управління та контролю вимог у проєктах. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2017. № 4 (43). С. 179–185.
12. Skachkov, O., Skachkova, I. (2018), "Theoretical and methodological tools for managing project stakeholders", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, Vol. 1 (3), P. 48–53. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.3.048>.
13. Мамонов К. А. Стейкхолдерно-орієнтований підхід в управлінні капіталом бренду будівельних корпоративних підприємств : монографія. Харків, 2012. 249 с.
14. Кононенко І. В., Букреева К. С. Метод формування портфеля проєктів. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 2009. № 6 (2). С. 15–19.
15. Солодухин К. С. Проблемы применения теории заинтересованных сторон в стратегическом управлении организацией. *Проблемы современной экономики*. 2007. № 4 (24). С. 152–156.
16. Белоусов К. Ю. Эволюция взглядов на роль управления заинтересованными сторонами в системе устойчивого развития компании: проблема идентификации стейкхолдеров. *Проблемы современной экономики*. 2013. № 4 (48). С. 418–422.
17. Кадькова І. Н., Ларина С. А., Чумаченко І. В. Управління внутрішніми стейкхолдерами проєктів при реалізації стратегії програми. *Управління розвитком складних систем*. 2016. № 28. С. 68–74.
18. Кадикова І. М., Ларіна С. О., Чумаченко І. В. Модель управління часом у системі стратегічного проєктного менеджменту. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2017. № 2 (2). С. 29–37. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.029>.
19. Кадькова І. Н., Чумаченко І. В. Управление ожиданиями заинтересованных сторон для обеспечения жизнеспособности продукта проекта информатизации. *Управління розвитком складних систем*. 2014. № 19. С. 34–38.
20. Stanleigh, M. (2010), The Strategic Importance of the Enterprise Project Management Office, available at : <https://bia.ca/the-strategic-importance-of-the-enterprise-project-management-office/> (last accessed 17.02.2019).

References

1. Achterkamp, M. C., Vos, J. F. J. (2008), "Investigating the use of the stakeholder notion in project management literature, a meta-analysis", *International Journal of Project Management*, Vol. 26, P. 749–757. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.10.001>.
2. Chan, A. P. C., Oppong, G. D. (2017), "Managing the expectations of external stakeholders in construction projects", *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol. 24, No. 5, P. 736–756. DOI: <https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2016-0159>.
3. Littau, P., Jujagiri, N. J., Adlbrecht, G. (2010), "25 years of Stakeholder Theory in Project Management Literature (1984–2009)", *Project Management Journal*, Vol. 41, P. 17–29. DOI: <https://doi.org/10.1002/pmj.20195>.
4. Maddaloni, F. D., Davis, K. (2017), "The influence of local community stakeholders in megaprojects: Rethinking their inclusiveness to improve project performance", *International Journal of Project Management*, Vol. 35, P. 1537–1556.
5. Aaltonena, K., Kujalab, J. (2010), "A project lifecycle perspective on stakeholder influence strategies in global projects", *Scandinavian Journal of Management*, Vol. 26, No. 4, P. 381–397. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scaman.2010.09.001>.
6. Nguyen, T. H. D., Chileshe, N., Rameezdeen, R., Wood, A. (2019), "External stakeholder strategic actions in projects: A multi-case study", *International Journal of Project Management*, Vol. 37, No. 1, P. 176–191. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2018.12.001>.
7. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK (®) Guide*. 6th edition, Project Management Institute, 2017. 725 p.

8. Babayev, V. M., et al. (2017), Project Management of the Strategy for Sustainable Development of Territories : Monograph [Proektne upravlinnya strategiyeyu stalogo rozvytku terytorij : Monografiya], Kharkiv, 194 p.
9. Babaiev, V. M., Kadykova, I. M., Husieva, Yu. Yu., Chumachenko, I. V. (2017), "The method of adaptation of a project-oriented organization's strategy to exogenous changes", *Scientific Bulletin of National Mining University*, Vol. 2, P. 134–140.
10. Krasnokutskaya, N. S., Ryshkova, Ya. S. (2014), "Theory of Stakeholders: the main provisions and areas of research" ["Teoriya zacikavlenykh storin: osnovni polozhennya ta sfery doslidzhennya"], *Economic strategy and prospects for the development of trade and services*, No. 1, P. 96–104.
11. Husieva, Yu. Yu., Martynenko, O. S., Kadykova, I. M., Chumachenko, I. V. (2017), "Metrics of management and control requirements processes in projects" ["Metryky procesiv upravlinnya ta kontrolyu vymog u proektax"], *Radio Electronics, Computer Science, Control*, No. 4 (43), P. 179–185.
12. Skachkov, O., Skachkova, I. (2018), "Theoretical and methodological tools for managing project stakeholders", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, Vol. 1 (3), P. 48–53. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.3.048>.
13. Mamonov, K. A. (2012), "Stekholdner-oriented approach in capital management of the brand of construction corporate enterprises : monograph" ["Stejkholderno-orientovanyj pidxid v upravlinni kapitalom brendu budivelnnykh korporatyvnykh pidpryyemstv : Monografiya"], Kharkiv, 249 p.
14. Kononenko, I. V., Bukreyeva, K. S. (2009), "Method of project portfolio formation" ["Metod formirovaniya portfelya proektov"], *East European Journal of Advanced Technologies*, No. 6 (2), P. 15–19.
15. Solodukhin, K. S. (2007), "Problems of applying the theory of stakeholders in the strategic management of the organization" ["Problemyi primeneniya teorii zainteresovannykh storon v strategicheskoy upravlenii organizatsiy"], *Problems of modern economics*, No. 4 (24), P. 152–156.
16. Belousov, K. Yu. (2013), "Evolution of views on the role of stakeholder management in the company's sustainable development system: the problem of identifying stakeholders" ["Evolutsiya vzglyadov na rol upravleniya zainteresovannymi storonami v sisteme ustoychivogo razvitiya kompanii: problema identifikatsii steykholderov"], *Problems of the modern economy*, No. 4 (48), P. 418–422.
17. Kadykova, I. N., Larina, S. A., Chumachenko, I. V. (2016), "Management of internal stakeholders of projects in the implementation of the program's strategy" ["Upravlenie vnutrennimi steykholderami proektov pri realizatsii strategii programy"], *Management of the development of complex systems*, No. 28, P. 68–74.
18. Kadykova, I. M., Larina, S. O., Chumachenko, I. V. (2017), "Model of time management in the system of strategic project management" ["Model upravlinnya chasom u systemi strategichnogo proektnogo menedzhmentu"], *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, Vol. 2 (2), P. 29–37. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.029>.
19. Kadykova, I. N., Chumachenko, I. V. (2014), "Managing stakeholders expectations to ensure the viability of the informatization project product" ["Upravlenie ozhidaniyami zainteresovannykh storon dlya obespecheniya zhiznesposobnosti produkta proekta informatizatsii"], *Management of the development of complex systems*, No. 19, P. 34–38.
20. Stanleigh, M. (2010), "The Strategic Importance of the Enterprise Project Management Office", available at : <https://bia.ca/the-strategic-importance-of-the-enterprise-project-management-office/> (last accessed 17.02.2019).

Надійшла (Received) 26.02.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кадикова Ірина Миколаївна – кандидат економічних наук, доцент, Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, доцент кафедри управління проектами у міському господарстві і будівництві, Харків, Україна; e-mail: irina.kadikova@kname.edu.ua; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3189-7231>.

Кадькова Ірина Николаевна – кандидат экономических наук, доцент, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова, доцент кафедры управления проектами в городском хозяйстве и строительстве, Харьков, Украина.

Kadykova Iryna – PhD (Economics), Associate Professor, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Associate Professor at the Department of Project Management in Urban Economy and Construction, Kharkiv, Ukraine.

Ларіна Світлана Олександрівна – ДП "Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування", молодший науковий співробітник науково-технічного та інформаційного відділу, Харків, Україна; e-mail: svlarina@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6674-8383>.

Ларина Светлана Александровна – ГП "Харьковский научно-исследовательский институт технологии машиностроения", младший научный сотрудник научно-технического и информационного отдела, Харьков. Украина.

Larina Svitlana – Kharkiv Research Institute of Mechanical Engineering Technology, Junior Researcher of Research and Information Department, Kharkiv, Ukraine.

Чумаченко Ігор Володимирович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, завідувач кафедри управління проектами у міському господарстві і будівництві, Харків, Україна; e-mail: ivchumachenko@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-2312-2011>.

Чумаченко Игорь Владимирович – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова, заведующий кафедрой управления проектами в городском хозяйстве и строительстве, Харьков, Украина.

Chumachenko Igor – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Head at the Department of Project Management in Urban Economy and Construction, Kharkiv, Ukraine.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЖИДАНИЙ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ СТОРОН И ИХ КОРРЕКТИРОВКИ ПРИ СТРАТЕГИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ ПРОГРАММОЙ ПРОЕКТОВ

Предметом исследования в статье является управление заинтересованными сторонами проектов при реализации стратегии программы. **Цель** статьи – разработка метода определения ожиданий заинтересованных сторон и их корректировки с позиций стратегического управления программой проектов. В статье решаются следующие **задачи**: выделить в определенную классификацию стейкхолдеров проектов в зависимости от характера их отношения к стратегии программы проектов; разработать матрицу оценки уровня их привлечения к реализации стратегии программы; модифицировать матрицу "власть/интерес" для более точного представления характера интереса; построить модель стратегического куба заинтересованных сторон проектов и программ; разработать рекомендации по организации целенаправленного воздействия на ожидания заинтересованных сторон проектов программы с целью корректировки их ожиданий для содействия эффективности реализации стратегии программы. Используются следующие **методы**: теория множеств, круги Эйлера, матричные и графоаналитические методы. Полученные **результаты**: Разработана классификация стейкхолдеров проектов в зависимости от характера их отношения к стратегии программы. Матрица оценки уровня привлечения стейкхолдеров к реализации стратегии программы предусматривает разработку текущего и желаемого состояния. Модифицированная матрица "власть/интерес" размерностью 2*4 содержит в каждом квадранте рекомендации по управлению стейкхолдерами. Построенная модель стратегического куба заинтересованных сторон содержит 20 квадрантов. Сформулированы рекомендации по использованию метода из пяти этапов для определения ожиданий заинтересованных сторон и их корректировки с позиций стратегического управления программой проектов. **Выводы**: разработан метод определения ожиданий заинтересованных сторон и их корректировки, основанный на оценке уровня привлечения стейкхолдеров к реализации стратегии программы проектов с учетом классификации в соответствии с характером отношения к ней, который в отличие от существующих предполагает построение и анализ модифицированной матрицы "власть/интерес" и стратегического куба заинтересованных сторон проектов и программ, позволяет расширить горизонт анализа и скорость реагирования на меняющиеся запросы стейкхолдеров при планировании реализации стратегии программы.

Ключевые слова: управление проектами и программами; стейкхолдеры; управление ожиданиями; планирование; стратегическое управление.

METHOD FOR DETERMINING AND ADJUSTING THE EXPECTATIONS OF STAKEHOLDERS IN THE CONTEXT OF STRATEGIC MANAGEMENT OF THE PROJECT PROGRAM

The **subject** matter of the article is the management of the stakeholders of projects while implementing the program strategy. The **goal** of the work is to develop a method for determining the expectations of stakeholders and their adjustment in the context of the strategic management of the program of projects. The following **tasks** are solved in the article: project stakeholders are classified depending on the nature of their relationship to the strategy of the program of the project; a matrix for assessing the level of the involvement of stakeholders in the implementation of the program strategy is developed; the power/interest matrix is modified to represent the nature of the interest more accurately; the model of the strategic cube of stakeholders of projects and programs is built; recommendations for organizing a purposeful impact on the expectations of the stakeholders of the project program are developed to adjust their expectations to facilitate the efficient implementation of the program strategy. The following **methods** used are – set theory, Euler circles, matrix and graph-analytic methods. The following **results** were obtained: a classification of project stakeholders was developed depending on the nature of their relationship to the program strategy; the matrix for assessing the level of the involvement of stakeholders in the implementation of the program strategy involves developing the current and desired state; the modified power/interest matrix with the dimension of 2 * 4 contains recommendations for managing stakeholders in each quadrant; the built model of the strategic stakeholder cube contains 20 quadrants; recommendations on the use of the five-stage method for determining the expectations of stakeholders and their adjustment in the context of the strategic management of the project program are formulated. **Conclusions**. The method was developed for determining the expectations of stakeholders and their adjustment based on an assessment of the level of stakeholder involvement in the implementation of the strategy of the project program, taking into account the classification according to the nature of the relationship to it, which, unlike the existing ones, involves the construction and analysis of a modified power / interest matrix and the strategic cube of stakeholders of projects and programs; this method enables expanding the horizon of analysis and speed of response to changing needs of stakeholders while planning the implementation of the program strategy.

Keywords: project and program management; stakeholders; expectations management; planning; strategic management.

V. KOSENKO, V. GOPEJENKO, E. PERSIYANOVA

MODELS AND APPLIED INFORMATION TECHNOLOGY FOR SUPPLY LOGISTICS IN THE CONTEXT OF DEMAND SWINGS

The **subject matter** of the study is the processes of planning supply logistics taking into account swings in demand and prices for products. The **goal** is to develop models and applied information technology for managing enterprise supplies taking into consideration the unforeseen demand swings. The following **tasks** were solved: a process model of supply logistics was developed, a model for forecasting demand for products was developed, a model for calculating the optimal volume of orders for various demand options was developed, the structure and modules of the applied information technology for supply logistics management was developed. The following **methods** were used: structural process models, methods for regression analysis and time series forecasting, inventory management models, STATISTICA software package, object-oriented programming methods. The following **results** were obtained: the generalized pattern of supply logistics was developed; the supplement of the first block of this pattern with the processes of marketing research of demand for products and planning supply volumes according to the forecasted demand and the probability of a shortage or surplus of products due to unforeseen swings in demand was substantiated; the application of the methods of regression analysis and forecasting of time series to assess the market factors of supply logistics was considered; the model for determining the optimal stock size was studied taking into account storage costs and probable shortages; the architecture of the applied information technology for planning supply logistics was developed; the proposed IT enables analyzing and predicting changes in the main market factors and, in accordance with the results obtained, solving inventory management tasks efficiently. In this case, the deficit and back-ordered demand can be taken into account. The operation of IT modules was illustrated by a test case. **Conclusions.** The use of IT is efficient in making decisions on logistics planning of business processes, as well as in analyzing the efficiency of logistics for a certain period of time. Further, the specified technology is going to be supplemented with the capabilities of solving inventory logistics problems.

Keywords: supply logistics; demand forecasting; parameter optimization; time series; applied information technology.

Introduction

Any enterprise, both manufacturing and trading, which processes the material flows, includes the service that purchases, sells and temporarily stores products (raw materials, semi-finished products, consumer goods). All functions of the logistic service should ensure the efficient execution of orders. Management tasks based on the logistic approach are to coordinate the need for operations on the cross-functional basis to achieve the global goal of an enterprise. Logistics management enables combining into a single system the task of managing the internal business processes of the enterprise with the business processes of partners and consumers.

Literature review and problem statement

M. Gordon, E. Kogan and others study the issues of supply management. E. Krykavsky, A. Gadzhynsky, B. Anikin, M. Oklander and others conduct model studies of logistic laws. Methodological approaches to the management of supplies are considered in the works written by such foreign scientists as J. Riggs, O. White, J. Johnson, J. Shapiro and others.

However, the issue of supply logistics is not thoroughly studied in the theory of domestic management. For example, the monograph [1] analyzes the system factors of the efficiency of the supply logistics at enterprises. Theoretical, methodological and applied aspects of the category "supply logistics" are generalized. The peculiarities of the implementation of integrational cooperation in the system "supplier – processing plant" are studied and organizational, strategic and information factors of the supply system optimization are substantiated.

Paper [2] considers the grounds of the material and technical support and the ways of its improvement. The basic requirements for operational inventory accounting were developed to provide the supply department with timely information for inventory management and optimization. The universal structure of the logistics department was developed and the main functions of this department were determined.

The main point of logistics is to reduce the cost of product delivery due to too frequent requests to a supplier and freezing money in excess stocks [3, 4]. Both of these extreme options are the consequence of the non-optimal volume of goods ordered from the product supplier. That is why attention should be paid to the fact how purchases are calculated, planned and carried out, including the way the volume of the purchased consignment of goods is determined.

Factors and efficiency of integration of marketing and logistics are considered in paper [5]. Conditions of such integration at the stages of strategic planning are studied. The idea of integration should also be used to manage supply logistics.

Most of the work is devoted to the analysis of logistic processes for industrial enterprises [6, 7]. The procurement activity of a manufacturing enterprise affects the operation of all sections of the enterprise: from production to sales of finished products. Modern trends of procurement logistics development are analyzed in paper [6], the paper also deals with practical recommendations to select a system for planning material resource needs optimizing, optimizing expenses for the order execution and maintaining the volume of stocks of the industrial enterprise. But for universal enterprises, such as small businesses, trade or intermediary firms, whose work focuses on a wide range of products and highly depends on demand, the problem of supply is not studied

thoroughly.

To plan logistics, forecast models are used, in particular, ones based on regression equations. Paper [8] considers the issues of practical application of formalized methods of forecasting in the process of tactical and strategic planning at the industrial enterprise. The examples of using product life cycle models, regression equations and graphical analysis apparatus during scheduled calculations are given.

Heuristic methods of project management are also used [9]. Paper [10] proposes a choice of an integrated strategy for inventory management on the basis of key nomenclature groups that determine the profitability of the enterprise and on the analysis of the forecastability of goods sales. The methods of ABC/XYZ-analysis are used [11].

Issues of development of selective applied models of analysis, forecasting, quantitative assessment of supply parameters and decision-making tools for supply management according to the logistic concept remain topical.

Under the current conditions of competition and constant update of the range of market products, it is very difficult to predict the demand for a short period of time. In cases where the demand for separate items of the product line temporarily deviates from the predicted value, urgent decisions should be made on the supply of certain volumes of products. To make such decisions, special models for calculating the volume of stocks should

be applied. Under these conditions, the applied software should be used. Under these conditions, the use of modern applied software technologies and tools will be useful [12].

Therefore, the goal of the article is to develop models and applied information technology to manage the supplies of the enterprise taking into account unforeseen demand swings. The following tasks are to be solved:

1. To develop the process model of supply logistics.
2. To form demand forecasting models and product prices.
3. To form models for calculating the optimal volume of orders for different demand options.
4. To develop the structure and modules of applied information technology for managing the supply logistics.

Study materials and methods

1. Process models of supply logistics

Consider the basic logistics processes that support the activities of a small enterprise related to the purchase and sale of certain types of products [13].

Enterprise logistic processes are presented in the context chart as an IDEF0 model (fig. 1):

- supply of goods;
- acceptance of the order from the client;
- order picking;
- sending orders to the client;
- reporting.

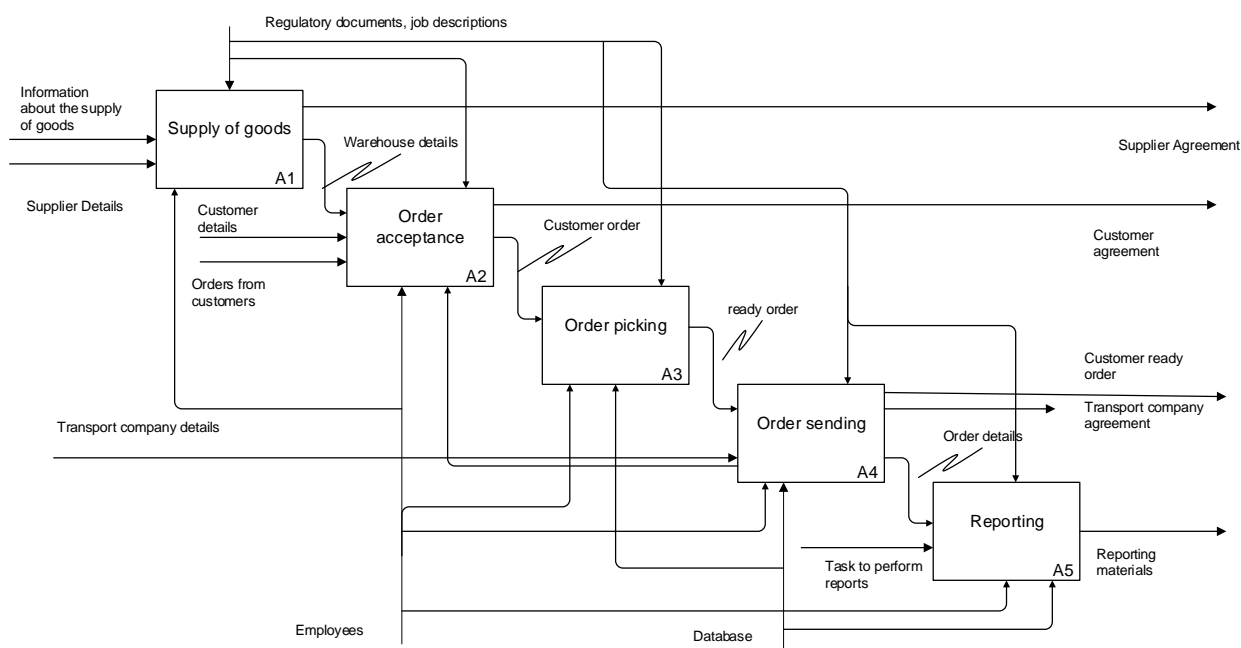


Fig. 1. The generalized chart of the enterprise logistic processes

In addition to the interrelation of processes, the chart reflects the input information, regulatory information, its sources and output documentation for each stage.

Employees will enter information in appropriate forms using the information system for supporting logistic processes. The final cost of the order is indicated by the company's responsible employee but a preliminary estimate of the value of the order

is made in the information system. The details of the order and the customer are stored in the database. The information system automatically calculates the cost of consumables and a service agreement is formed in accordance with a template that can be changed if needed. The data on the contract will be obtained from the directory of customer data and the order form.

However, the task of optimal calculation of a lot of goods should be solved in the first stage of the product supply [14]. The forecast of the demand assessment should be taken into account and a certain product should only be ordered when it is necessary and in the quantities in which the enterprise currently needs.

When implementing these processes, the situation can arise when orders do not correspond to the quantity or range of products kept at the warehouse. In this case, two opposite situations may arise:

- when the ordered products are not available or it will arrive shortly;
- when the products have already arrived but there are no orders for it.

Thus, the classical problem of balancing supply and demand [15] should be solved. This task is essential when making supply management decisions. Its solution is ensured by such components of logistic planning:

- forecasting demand;
- determining the optimal volume of supply orders;
- selecting a supplier with a reliable carrier to ensure supplies of certain volumes and range of products.

The main requirements for the procurement system are briefly described below.

1) while forecasting demand, a model should be used that takes into account trends, seasonality and the required level of meeting the demand with warehouse residues;

2) the order for the supplier should not be carried out until the residues of any product of this supplier have reached a critical level;

3) while determining the needs of the enterprise in any product, exactly such amount that is enough to provide the desired level of sales before entering the next product according to the current order should be ordered.

If these three conditions are fulfilled, the volume of the order, which is optimal in terms of the total costs of transportation and storage of products can be calculated. Determining the optimal amount of a lot of goods is possible only using the modelling of supplies with different variants of the volume and comparing the total costs of transportation and storage.

2. Models of demand forecasting.

To forecast demand for products, regression models that show a change in the resulting indicator when changing the values of factor characteristics are used. In this case, the factors affecting demand can be:

- the level of demand for the same product in past,
- advertising costs,
- the level of customers' paying capacity (or population as a whole),
- economic situation,
- the activity of competitors,
- the level of supply – is determined by substitutes that are available on the market, a number and position of competitors as well as the corresponding volumes of production.

Consider the forecasting variable Y (demand level) and a number of factors that have an impact – X_1, X_2, \dots, X_m (independent variables). The values of the above

factors should be presented in a formalized form (quantitatively).

The model of multiple regression in the general case is described by the expression

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_m) + \varepsilon. \quad (1)$$

In the case of a linear regression model, the dependence of the variable from the independent ones is as follows:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m + \varepsilon, \quad (2)$$

where $\beta_0, \beta_1, \beta_2 \dots \beta_m$ are the assessed coefficients of regression, ε is the error component. It is assumed that all errors are independent and normally distributed.

To build regression models, the database of observations is needed. Using the table of values of past observations, regression coefficients can be determined (for example, by the method of least squares) thus building the model. The correctness and adequacy of the model are verified by several methods:

1) using the coefficient of determination, the strength of dependence can be determined

$$R^2 = 1 - \frac{D_\varepsilon}{D_y}, \quad (3)$$

where D_ε is the residual variability (error dispersion), D_y is the output dispersion.

2) the statistical significance of the linear model can be assessed basing on the F -criterion. If the connection between some variables is non-linear, they should be transformed (for example, their logarithm should be found).

3) the quality of the equation can be assessed using the t -criterion (Student) by checking the hypothesis that the absolute term of an equation β_0 is equal to zero;

4) to determine the problem of multicollinearity, which may arise if a lot of variables are analyzed, statistical indicators of redundancy (tolerance, etc.) should be used as well as ways to cope with redundancy (for example, the ridge regression method).

If the impact of external factors cannot be determined but there are statistics on the change in demand over a certain period of time, the method of time series analysis should be used, in particular, the Box-Jenkins method (ARIMA) [16, 17].

The method is based on the approximation of the stationary sequence by the sum of the autoregression sequence of the p -th order and the sequence of the average variable of the q -th order:

$$y_k = \sum_{j=1}^p \gamma_j y_{k-1} + \varepsilon_k - \sum_{l=1}^q a_l \varepsilon_{k-l}, \quad (4)$$

where γ_j is the autoregression parameters; a_l is the parameters of the average variable; ε_k is the sequence of independent random values.

When there is a monotonous trend, the initial sequence can be numerically differentiated. The result of

such a transformation is checked for the stationary state by analyzing the coefficients of autocorrelation.

The Box-Jenkins method involves the following stages:

1) selecting the model structure, determining the order of autoregression p , the order of the average variable q , the multiplicity d of the numerical differentiation;

2) assessing the parameters γ_j ($j = 1, 2, \dots, p$), a_l ($l = 1, 2, \dots, q$);

3) forecasting the stationary sequence;

4) the numerical integration of the d -th order to renew the character of the process taking into account the trend;

5) assessing the accuracy of the forecast by comparing the forecasted values and real data when testing the method, assessing the statistical characteristics of the residuals, checking if they correspond to the white Gaussian noise.

The model of the demand dynamics is more accurate if it is the sum of two main components – the polynomial and the autoregressive ones.

The polynomial component μ_k characterizes long-term trends in the context of the changes in the demand for products due to the period of the product life cycle.

The autoregression random correlated component y_k characterizes changes caused by external factors. Therefore, the demand variable can be approximated by the sum of polynomial component (of the p -th order) and autoregression component (of the m -th order)

$$y_k = \mu_k + y_k; k = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

where $\mu_k = \sum_{i=0}^p \beta_i \varphi_{ki}$, $y_k = \sum_{j=1}^m \gamma_j y_{k-j} + \varepsilon_k$, γ_j ($j = 1, 2, \dots, m$) are the autoregressive parameters, $\langle \varepsilon_k \rangle = 0$; $\langle \varepsilon_k^2 \rangle = \sigma_\varepsilon^2 = \gamma_0$.

The stationary autoregression sequence is characterized by normalized autocorrelation coefficients

$$\rho_l = \frac{R_l}{\sigma_y^2} = \frac{R_l}{R_0}, \quad (6)$$

where $R_l = \langle y_k y_{k+l} \rangle = \sigma_y^2 \rho_l$ are unnormalized

autocorrelation coefficients ($l = 0, 1, \dots, m-1$); σ_y^2 is the dispersion of the autoregression component.

The parametric adaptation of the model components of the polynomial and autoregression sequence provides for the assessment and iterative refinement of the coefficients of the polynomial $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ as well as the parameters of the autoregression ($\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m$; $\sigma_\varepsilon^2 = \gamma_0$) by the data being observed. That will enable solving the

task of determining the two components of the sequence based on the difference in their correlation properties.

3. Models of stock formation in the context of stochastic demand

The economic volume of the order is equal to the volume of the order for replenishment of stocks, which minimizes the total cost of the stock of inventory. The basis for the order is to reach the renewal point of the inventory level. The economic volume of the order is calculated to minimize the combined value of inventories including costs for buying, storing, placing the order and so on. The task of determining the order volume is related to the optimization of the reserve stock. At the same time, an optimal threshold value that acts as the basis for placing an order should be found.

The most famous formula for calculating an economic volume of an order is the Wilson formula, that is based on the following assumptions [18]:

- the cost of placing an order is constant;
- the rate of demand is known;
- the time of order execution is constant;
- the purchase price of a unit of goods is constant.

Let us introduce the following variables:

- Y is the volume of demand for a certain period of time;
- C_z is the fixed cost of placing one order;
- C_x is the cost of stock storage.

According to the above assumptions, the optimal volume of order is equal to

$$q = \sqrt{\frac{2YC_z}{C_x}}. \quad (7)$$

But this formula cannot be used in modern logistic systems where the cost of placing an order is the only key factor and does not take into account changes in demand and price swings which are important when ordering a large number of goods.

Consider the case when a real demand is somewhat lower than a forecasted one. Then, the model of the stock formation with the final delivery rate without any deficit should be applied.

Let the ordered lot of goods of the q volume be supplied with the rate of λ units a period of time. The supply system can operate without deficit if the rate of supply λ is greater than the rate of consumption Y .

The stock is both obtained and consumed during the period of time τ_1 . The stock is only consumed during the period of time τ_2 . Then, the cycle length is $\tau = \tau_1 + \tau_2$.

Let us designate the volume of demand for a certain period of time as Y . Taking into account that the minimal available stock is

$$l_m = q \left(1 - \frac{Y}{\lambda} \right), \quad (8)$$

the system costs for a unit of time are:

$$C = \frac{C_z Y}{q} + \frac{C_x q}{2} \left(1 - \frac{Y'}{\lambda}\right). \quad (9)$$

The volume of the optimal lot is:

$$q^* = \sqrt{\frac{2C_z Y}{C_x \left(1 - \frac{Y'}{\lambda}\right)}}. \quad (10)$$

The optimal period of the order renewal is:

$$\tau^* = \sqrt{\frac{2C_z}{C_x Y' \left(1 - \frac{Y'}{\lambda}\right)}}. \quad (11)$$

The minimal cost in a unit of time is:

$$C^* = \sqrt{2C_z C_x Y' \left(1 - \frac{Y'}{\lambda}\right)}. \quad (12)$$

Consider the case when real demand is higher than the forecasted one. Then the model of stock formation should be used in the context of a deficit taking into account the unsatisfied requirements. When the losses due to the deficit are comparable to the cost of saving, the deficit is allowed.

Fines related to the stock unit deficit per a unit of time are designated as d , the maximal value of the back-ordered demand is designated as y_d . The cost of storing products is proportional to the average value of the stock $\frac{q - y_d}{2}$ and the time of its existence $\frac{q - y_d}{Y}$; in the same way, the deficit losses are proportional to the average value of deficit $\frac{y_d}{2}$ and the time of its existence $\frac{y_d}{Y}$. The average cost of the system operation within a cycle including the cost of placing an order, maintaining stock and losses due to the deficit is as follows:

$$C = C_z + \frac{C_x (q - y_d)^2}{2Y} + d y_d^2. \quad (13)$$

Let us divide the cycle costs by its value $\tau = \frac{q}{Y}$, system operation costs per unit of time are obtained:

$$C = \frac{C_z Y'}{C_x} + \frac{C_x (q - y_d)^2}{2q} + d y_d^2.$$

Therefore

$$q^* = \sqrt{\frac{2C_z Y' \left(1 + \frac{C_x}{d}\right)}{C_x}}, \quad (14)$$

$$y^* = \frac{1}{d} \sqrt{\frac{2C_z Y' C_x}{1 + \frac{C_x}{d}}}, \quad (15)$$

$$C^* = \sqrt{\frac{2C_z C_x Y'}{1 + \frac{C_x}{d}}}. \quad (16)$$

Substituting values q^* and y^* into corresponding equations, other optimal supply parameters can be calculated:

$$Y^* = q^* - y_d^* = \sqrt{\frac{2C_z Y'}{1 + \frac{C_x}{d}}}, \quad (17)$$

$$\tau_1^* = \frac{Y^*}{Y} = \sqrt{\frac{2C_z}{C_x Y' \left(1 + \frac{C_x}{d}\right)}}, \quad (18)$$

$$\tau_2^* = \frac{y_d^*}{Y} = \frac{1}{d} \sqrt{\frac{2C_z C_x}{Y' \left(1 + \frac{C_x}{d}\right)}}. \quad (19)$$

Results and discussion

The proposed applied IT for supply management consists of modules of the developed software, the Statistica standard system and the database. The architecture of the applied IT is given in fig. 2 [19].

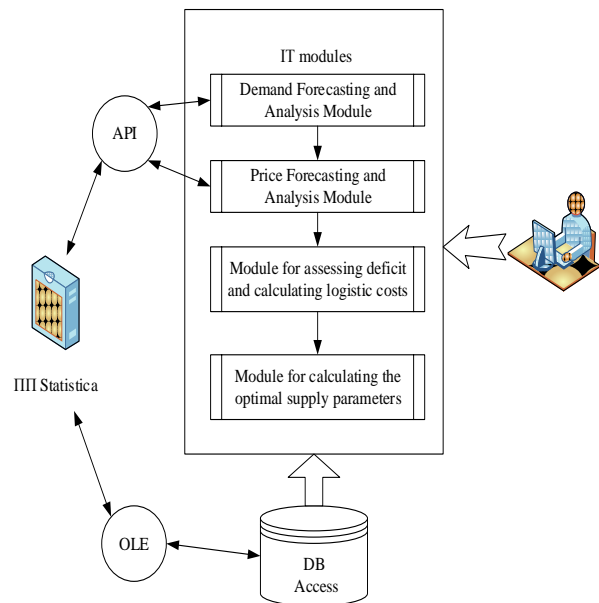


Fig. 2. The architecture of the applied IT of supply logistics

Information technology contains four calculation modules [20, 21]:

- demand forecasting and analysis module;
- price forecasting and analysis module;
- module for assessing deficit and calculating logistic costs;
- module for calculating the optimal supply parameters.

First two modules are linked to the Statistica system by ActiveX connection. The other two modules receive

data from the database in the MS Access format and make calculations basing on the built-in algorithms. The Statistica system is integrated with the data based on the OLE technology.

The approbation of the applied IT operation was carried out using the example of procurement of materials for construction companies by an intermediary firm. Demand forecasting is carried out by the method of multiple regression. The following steps are performed:

- a base of observations is formed;
- significant independent variables (factors) are singled out;
- variables are transformed in the case of nonlinear dependence;

- a regression equation is built;
- the quality of the equation and forecast is assessed based on a number of criteria;
- the forecast is assessed by the diagram of predicted values and errors;
- the predicted value of demand is determined.

The forecasted variable denoted as Y is the time series of changes in demand for a month. The normalized values of the variables are chosen as independent variables: X_1 is the change in income of construction companies, X_2 is the cost of advertising, X_3 is the impact of competitors, X_4 is the change of price. The results of the regression are presented in table 1.

Table 1. Multiple regression results

Regression summary for dependent variable Y						
$R = 0,898$ $R^2 = 0,806$ Adjusted $R^2 = 0,801$ $F(4,177)=183,76$ $p < 0,000$						
	β	Std.err. of β	b	Std.err. of b	$t(177)$	p -value
Intercept			111324,6	100412,8	1,108	0,269
X_1	0,023	0,034	11203,8	16198,5	0,691	0,490
X_2	1,698	0,095	0,3	0,0	17,702	0,000
X_3	-0,499	0,088	-0,3	0,1	-5,646	0,000
X_4	-0,609	0,049	-3,3	0,3	-12,248	0,000

The table shows that the first variable is not statistically significant, that means that it can be neglected in the equation. In this case, the regression equation is as follows:

$$Y = 111324,6 + 0,3 X_2 - 0,3 X_3 - 3,3 X_4.$$

Thus, the conclusion can be made that the price change has the greatest impact on the value of demand. However, the advertising cost factor is the most statistically significant (β_2 is maximal).

The built model reflects a significant dependence of demand on these factors since the coefficient of

determination is high (0,8). F -criterion proves the model linearity. However, the absolute term of the equation is not determined exactly enough (the error is about 25%).

Let us analyze the errors of this model. Fig. 3 shows the normal probability curve of residuals (errors). It shows that the residues are not distributed normally. Let us build the diagram of the residue dispersion with respect to the magnitude of the forecasted variable (fig. 4). It is evident that the dispersion of residues is random for large and average demand values. But for small values, this distribution is not random. That is, the built model is more adequate for large demand values.

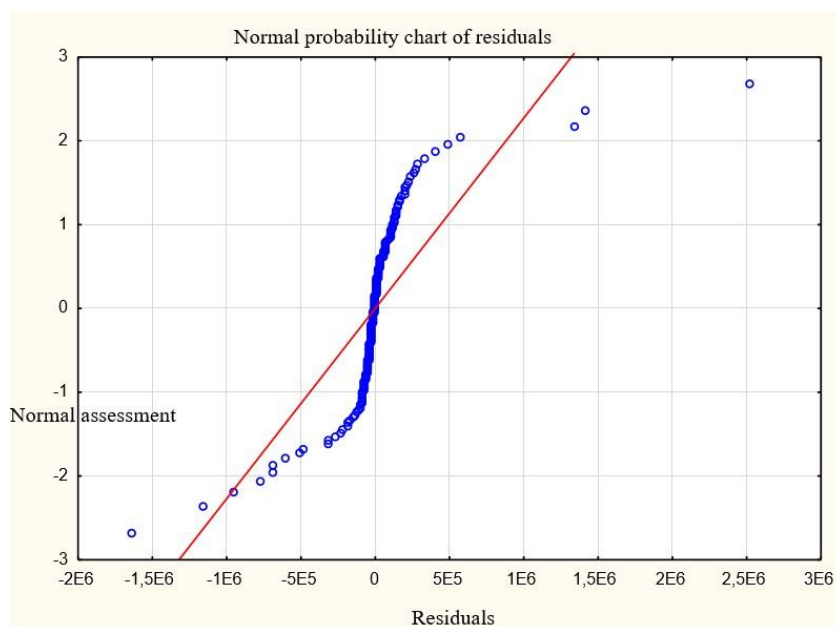


Fig. 3. The normal probability graph of regression residuals

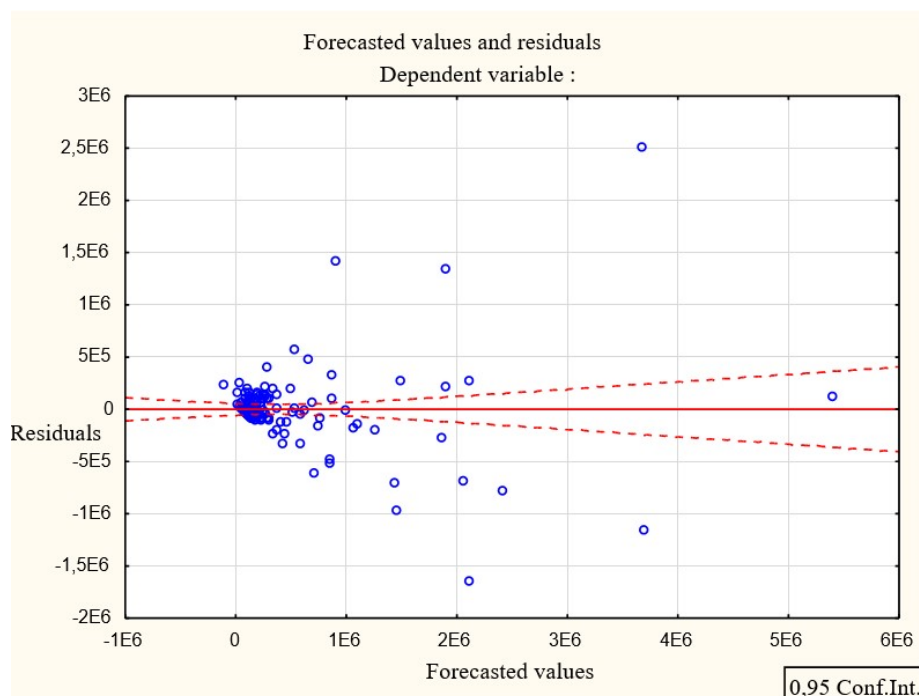


Fig. 4. The diagram of residual scatter relative to the forecasting variable value

Let us analyze the change in the price of products. The linear graph of price changes during a year is given in fig. 5. It is seen that the given time series is not stationary.

To use the Box-Jenkins method, a number of transformations should be done: three-point, moving, average, and logarithmic ones.

While assessing the model parameters, several sets were analyzed. The best parameters are $p = 0$, $P = 0$, $q = 1$, $Q = 1$ (table 2).

The built graph of the autocorrelation function also evidences the quality of the model (fig. 6). Thus, the built model of the autoregression can be used for forecasting product price.



Fig. 5. Source time series

Table 2. The results of model parameter assessment

Output: Price: Transformations: 3 pts mov. aver., ln(x) Model: (0,0,1)(0,0,1) MS residual = 0,089						
	Paramet.	Asympt.std.err.	Asympt. t(394)	p	lower - 95% conf.	upper - 95% conf.
q(1)	-0,973	0,008	-113,993	0,00	-0,989	-0,956
Q(1)	-0,857	0,018	-46,690	0,00	-0,893	-0,820

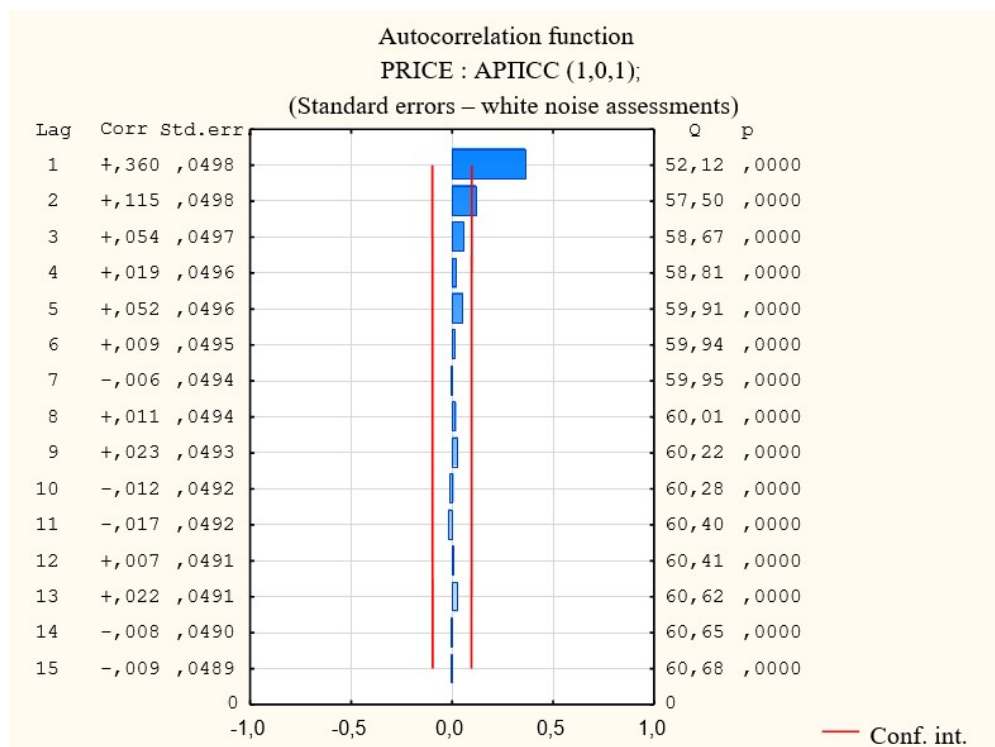


Fig. 6. Autocorrelation function

The next stage of logistics analysis is the assessment of the potential deficit or filling of the warehouse. In this case, costs and optimal supply parameters are calculated. Among the costs, the costs for the supply cycle and per unit of time are calculated.

In the model for calculating the optimal supply parameters, the following parameters are calculated (fig. 7):

- the optimal amount of a supply lot;
- the optimal amount of back-ordered demand;
- the optimum value of the stock;
- the optimal value of the order renewal period;
- optimal logistics costs.

Для расчета оптимальных показателей введите значения переменных

Введите стоимость заказа K: 1

Введите издержки содержания продукции в единицу времени s: 5

Введите величину спроса v: 19820

Введите величину штрафа за дефицит d (если дефицита нет, то 1): 10

Объем оптимальной партии: 109,05

Оптимальная величина задолженного спроса: 0,01

Оптимальная величина запаса: 109,04

Оптимальный период возобновления заказа: 72,70

Оптимальные издержки работы системы: 363,50

Сравните значения оптимальных показателей с действительными. Внесите необходимые изменения

Fig. 7. The results of the calculation of the optimal parameters of supply logistics

Conclusions

The generalized logistics chart of supply was developed. The supplement of the first block of the above chart is substantiated by the processes of market research of demand for products and planning of volumes of supply in accordance with forecasted demand and possibilities of a deficit (or surplus) of products as a result of unforeseen swings of demand.

The use of methods of regression analysis and forecasting of time series for assessing market factors of supply logistics is considered.

The models for determining the optimal volume of the stock are considered taking into account storage costs and possible deficit.

The architecture of the applied information technology of supply logistic planning is developed. The proposed IT enables analyzing and forecasting the change in key market factors and, in accordance with the results obtained, efficiently solves the tasks of stock management. In this case, it is possible to take into account the deficit and back-ordered demand. The operation of IT modules is illustrated by a testing example.

The use of IT is efficient when making decisions on logistic planning of business processes as well as when analyzing the efficiency of logistics over a certain period of time. In the future, it is supposed to supplement the mentioned technology with capabilities for solving tasks of warehouse logistics.

References

1. Moroz, O. V., Muzika, O. V., Bezsmertna, O. V. (2007), System factors of the efficiency of the logistic concept of supply at the enterprises : Monograph [Systemni faktory efektyvnosti lohistychnoyi kontseptsiyi postachannya na pidpryyemstvakh : Monohrafiya], Vinnytsya : UNIVERSUM Vinnytsia, 165 p.
2. Zhulvsky, A. Yu., Sidorenko, N. V. (2011), "Organization of material and technical support of the enterprise as an object of logistic decisions" ["Orhanizatsiya material'no-tekhnichnoho zabezpechennya pidpryyemstva yak ob'ekt lohistychnykh rishen"], *Visnyk Sumy State University, Series Economics*, No. 2, P. 51–58.
3. 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>.
4. Sumets, O. M. (2011), "Recommendations on introduction of synthetic accounting of logistics costs at the enterprise" ["Rekomendatsiyi shchodo zaprovadzhennya syntetychnoho obliku lohistychnykh vytrat na pidpryyemstvi"], *Logistics: Problems and Solutions*, No. 4 (35), P. 42–47.
5. Krykavs'kyi, Ye. V. (2001), "Integration of marketing and logistics in the management system" ["Intehratsiya marketynhu i lohistyky v systemi menedzhmentu"], *Bulletin of Lviv Polytechnic National University*, No. 416: Logistics, P. 52–61.
6. Rosumna, N. V. (2011), "Actual questions of procurement marketing, planning of the needs of the material resources of the industrial enterprise" ["Aktual'ni pytannya marketynhu zakupivel', planuvannya potreby material'nykh resursiv promyslovoho pidpryyemstva"], *Marketing and Innovation Management*, No. 2, P. 131–138.
7. Priyamak, O. Yu. (2007), "Methodical procedures of managerial accounting of inventory in logistics and enterprise management" ["Metodychni protsedury upravlinsk'oho obliku vyrobnychykh zapasiv v lohistytsi ta upravlinni pidpryyemstvom"], *Bulletin of Lviv Polytechnic National University*, No. 594: Logistics, P. 141–148.
8. Yankovoi, A. G., Gura, O. L. (2009), "Improving enterprise planning with the help of math-statistical forecasting methods" ["Sovershenstvovaniye planirovaniya na predpriyatii s pomoshch'yu matematiko-statisticheskikh metodov prognozirovaniya"], *Actual problems economics*, No. 1 (91), P. 229–238.
9. Kosenko, V. (2018), "Decision support 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>.
10. Kunitskaya, O. M., Merzhievskaya, Ye. V. (2009), "Stock management using modern logistics and marketing approaches" ["Upravlinnya zapasamy z vykorystanniam suchasnykh pidkhodiv lohistyky ta marketynhu"], *Bulletin of Lviv Polytechnic National University*, No. 649: Logistics, P. 193–197.
11. Improving inventory management with ABC and XYZ analysis, available at : <http://upravlenie-zapasami.ru/>.
12. Filatov, V., Doskalenko, S. (2018), "On the approach to searching for functional dependences of data in relational systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (3), P. 54–58. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.3.054>.
13. Description of the business processes of the warehouse network [Opisaniye biznes-protsesov sklada tovgovoy seti], available at : www.Ser-pavilion.narod.ru.
14. Ryzhikov, Yu. I. (2001), *Queue theory and inventory management [Teoriya ocheredey i upravleniye zapasami]*, SPb. : Peter, 384 p.
15. Description of methods for optimizing inventory management [Opisaniye metodov optimizatsii upravleniya zapasami], available at : <http://upravlenie-zapasami.ru/>.
16. Algorithm of the monthly forecast of the demand for the year ahead, taking into account the trend and seasonality [Algoritm pomesyachnogo prognoza sprosa na god vpered s uchetom trenda i sezonnosti], available at : <http://upravlenie-zapasami.ru/>.
17. Kosenko, V. V., Ginevsky, M. I., Sidorenko, M. F. (2007), "Modeling of non-stationary random processes" ["Modelyuvannya nestatsionarnykh vypadkovykh protsesiv"], *Information processing systems*, No. 7 (47), P. 199–202.
18. The optimal period between shipments [Optimal'nyy period mezhdru postavkami], available at : <http://upravlenie-zapasami.ru/>.
19. Malyeyeva, O. V., Elizyeva, A. V. (2013), "System model and architecture of information technology supporting the procurement management of a manufacturing enterprise" ["Sistemnaya model' i arkhitektura informatsionnoy tekhnologii podderzhki protsesov upravleniya zakupkami proizvodstvennogo predpriyatiya"], *Processing Systems Information*, No. 2, P. 286–289.
20. Malyeyeva, O., Yelizyeva, A., Kosenko, N., Nevlyudova, V. (2018), "Information technologies of supporting decision-making on managing the procurement of a manufacturing enterprise", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (5), P. 57–66. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.5.057>.
21. Malyeyeva O.V., Elizyeva A.V. (2013), "Information technology of logistics procurement management taking into account the product life cycle" ["Informatsionnaya tekhnologiya logisticheskogo upravleniya zakupkami s uchetom zhiznennogo tsikla produktsii"], *Radio and Computer Systems*, No. 1, P. 119–126.

Received 19.02.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Косенко Віктор Васильович – доктор технічних наук, доцент, Державне підприємство "Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування", директор, Харків, Україна; e-mail: kosv.v@ukr.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4905-8508>.

Косенко Віктор Васильевич – доктор технических наук, доцент, Государственное предприятие "Харьковский научно-исследовательский институт технологии машиностроения", директор, Харьков, Украина.

Kosenko Viktor – Doctor of Sciences (Engineering), Associate Professor, State Enterprise "Kharkiv Scientific-Research Institute of Mechanical Engineering Technology", Chief Executive Officer, Kharkiv, Ukraine.

Гопсенко Віктор – доктор технічних наук, професор, ISMA Вища школа менеджменту інформаційних систем, проректор з наукової роботи, Рига, Латвія; e-mail: viktors.gopejenko@isma.lv; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7783-4519>.

Гоєєнко Виктор – доктор технических наук, профессор, ISMA Высшая школа менеджмента информационных систем, проректор по научной работе, Рига, Латвия.

Gopejenko Viktors – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, ISMA University, Vice-rector for research issue, Riga, Latvia.

Персіянова Елена Юрїївна – Державне підприємство "Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості", інженер науково-дослідного відділу, Харків, Україна; e-mail: persikqw@gmail.com; ORCID ID: <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.

Persiyanova Elena – State Enterprise "Southern National Design & Research Institute of Aerospace Industries", Research Engineer, Kharkiv, Ukraine.

МОДЕЛІ ТА ПРИКЛАДНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ЛОГІСТИКИ ПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ КОЛИВАНЬ ПОПИТУ

Предметом дослідження є процеси планування логістики постачання з урахуванням коливань попиту і цін на продукцію. **Мета** роботи – розробка моделей та прикладної інформаційної технології для управління поставками підприємства з урахуванням непередбачених коливань попиту. При цьому вирішуються такі **завдання**: розробка процесної моделі логістики постачання, формування моделей прогнозування попиту на продукцію, формування моделей розрахунку оптимального обсягу замовлень при різних варіантах попиту, розробка структури та модулів прикладної інформаційної технології з управління логістикою постачання. **Методи** дослідження: структурні процесні моделі, методи регресійного аналізу та прогнозування часових рядів, моделі управління запасами, програмний пакет STATISTICA, методи об'єктно-орієнтованого програмування. **Результати**: Розроблено узагальнену схему логістики постачання. Обґрунтовано доповнення першого блоку вказаної схеми процесами маркетингового дослідження попиту на продукцію та планування обсягів постачання згідно з прогнозованим попитом та можливістю дефіциту або надлишку продукції внаслідок непередбачуваних коливань попиту. Розглянуто застосування методів регресійного аналізу та прогнозування часових рядів для оцінки ринкових факторів логістики постачання. Досліджено моделі визначення оптимального розміру запасу з урахуванням витрат зберігання і можливого дефіциту. Розроблено архітектуру прикладної інформаційної технології (ІТ) планування логістики постачання. Запропонована ІТ дозволяє аналізувати і прогнозувати зміну основних ринкових факторів і відповідно до отриманих результатів ефективно вирішувати завдання управління запасами. При цьому з'являється можливість враховувати наявність дефіциту і заборгований попит. Робота модулів ІТ проілюстрована тестовим прикладом. **Висновки**: використання ІТ ефективно при прийнятті рішень логістичного планування бізнес-процесів, а також в аналізі ефективності логістики за певний період часу. Надалі передбачається доповнити зазначену технологію можливостями вирішення завдань складської логістики.

Ключові слова: логістика постачання; прогнозування попиту; оптимізація параметрів; часові ряди; прикладна інформаційна технологія.

МОДЕЛИ И ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЛОГИСТИКИ СНАБЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ КОЛЕБАНИЙ СПРОСА

Предметом исследования являются процессы планирования логистики снабжения с учетом колебаний спроса и цен на продукцию. **Цель** работы – разработка моделей и прикладной информационной технологии для управления поставками предприятия с учетом непредвиденных колебаний спроса. При этом решаются следующие **задачи**: разработка процессной модели логистики поставок, формирование моделей прогнозирования спроса на продукцию, формирование моделей расчета оптимального объема заказов при различных вариантах спроса, разработка структуры и модулей прикладной информационной технологии управления логистикой поставок. **Методы** исследования: структурные процессные модели, методы регрессионного анализа и прогнозирования временных рядов, модели управления запасами, программный пакет STATISTICA, методы объектно-ориентированного программирования. **Результаты**: Разработана обобщенная схема логистики снабжения. Обоснованно дополнение первого блока указанной схемы процессами маркетингового исследования спроса на продукцию и планирования объемов поставок согласно прогнозируемому спросом и возможности дефицита или избытка продукции вследствие непредсказуемых колебаний спроса. Рассмотрено применение методов регрессионного анализа и прогнозирования временных рядов для оценки рыночных факторов логистики поставок. Исследована модель определения оптимального размера запаса с учетом издержек хранения и возможного дефицита. Разработана архитектура прикладной информационной технологии планирования логистики поставок. Предложенная ИТ позволяет анализировать и прогнозировать изменение основных рыночных факторов и в соответствии с полученными результатами эффективно решать задачи управления запасами. При этом появляется возможность учитывать наличие дефицита и задолженный спрос. Работа модулей ИТ проиллюстрирована тестовым примером. **Выводы**: использование ИТ эффективно при принятии решений логистического планирования бизнес-процессов, а также в анализе эффективности логистики за определенный период времени. В дальнейшем предполагается дополнить указанную технологию возможностями решения задач складской логистики.

Ключевые слова: логистика снабжения; прогнозирования спроса; оптимизация параметров; временные ряды; прикладная информационная технология.

D. LYTVYENKO, A. DOROKHINA, R. ARTIUKH

ANALYZING THE INTERESTS AND INTERACTION OF THE PARTICIPANTS OF A TRANSPORT SYSTEM DEVELOPMENT PROJECT

The **subject** matter of the article is the communication processes of stakeholders in transport system development projects. The **goal** is to analyze the interests of the stakeholders of a transport project, taking into account the main differences in this industry. The article solves the following **problem**: the features of transport infrastructure project management are considered; the main interests of the stakeholders for transport infrastructure development projects are highlighted and their interests are analyzed; a model of interaction among stakeholders at different stages of the project life cycle is built. The following **methods** are applied: value approach, structural models, optimization models. The following **results** are obtained: the requirements of standards for project management are analyzed regarding the value approach and project management by stakeholders; the main characteristics of the transport project are considered, they include the impact on the nature of the social and economic development of a region, significant cost, duration, the interaction of state bodies and private firms; the set of stakeholders in the transport project are identified; the specific characteristics of the management of transport projects by various stakeholders are analyzed, they are expectations, goals, roles, the level of responsibility and related actions. Asymmetric and symmetric types of communications in the project are considered; a model of stakeholder relations is built as a network where there is a project manager in the centre who is connected with all other peaks and stakeholder peaks that are connected with each other, the model is formalized as a graph with multiple vertices and bidirectional links; a model of the process of interchanging the resources of project participants during its implementation is developed, the model contains resource flows (direct and inverse), takes into account the impact of stakeholders that change over the stages of the life cycle of a transport system development project. **Conclusions.** The conducted analysis of the interests and interaction of the project participants is the basis for developing a model for minimizing the imbalance of stakeholders' resources. The results are based on the value approach and can be used when making decisions on managing communications of a transport infrastructure development project.

Keywords: project management; stakeholders; transport system; interaction model.

Introduction

Modern transport infrastructure is one of the most important conditions for the development of the economy. Inherently the projects of construction and reconstruction of infrastructure objects have a pronounced macrofinancial effect, as the strategic advantages of the state in the long-term perspective, including the development of highly efficient transport-logistic systems, as well as the improving of the conditions and social living of the population.

According to the budget of Ukraine for 2019, it is planned to allocate 51 billion UAH to the roads and transport infrastructure, which is almost 28% more than in the budget of 2018. A significant part of these funds is planned to be spent on major infrastructure projects, such as the Odesa-Reni (1.5 billion), Kropivnitsky-Mykolaiv (1 billion) and 4 billion for the Go Highway national project. Such expenditures shows the state's interest in the development of domestic infrastructure, and the tendency suggests a further increase in the number and magnitude of projects in case of maintaining the rates of economic growth in the country [1, 2].

The growth in the number of infrastructure projects for transport development can significantly revitalize the industry, and application of methods for project management will enable to consolidate success and in matters of qualitative changes.

Analysis of recent research and problem statement

Last time the scientific publications and regulations paid more attention to the peculiarities of project management from the perspective of different

stakeholders and in the context of their relationships with each other.

The main sources for reviewing knowledge systems and project management methodologies are: PMBoK, ICB, P2M, PRINCE2. But, objectively, it should be noted that the theoretical basis of project management is not completely formed and continues to evolve. Such a state, at the time of the active practical use of already published work, can not remain unnoticed by scholars who continue to seek the new theoretical knowledge and build the new models for existing systems.

Among the domestic scientists who were engaged in the research and development of project management, one should highlight the works of K. V. Kolesnikova [3], Yu. Yu. Guseev, M. V. Sidorenko, I. V. Chumachenko, O. S. Martynenko [4, 5].

The issue of classification and description of project stakeholders is discussed in detail in two standards: PMBOK and PRINCE2.

In PMBOK, in particular, there is a separate knowledge sector that includes the following processes: Stakeholder Identification, Stakeholder Management Planning, Stakeholder Engagement Management, and Stakeholder Engagement Control.

The standards described in Prince2, in turn, distinguish only three main stakeholders: business sponsors, users and suppliers.

Reviewing the profile literature, it was noted that the standards pay insufficient attention to the sectoral diversity of project management and related features that arise in the characteristics of stakeholders. Often researchers in their work have to do their own review of the features and characteristics of project management, and in particular stakeholders in certain conditions of the industry [6 – 8].

Different stakeholders may differ in expectations, roles, responsibilities and actions. This is despite the fact that they all act as partners in the project and participate in the joint process, but their personal goals can vary considerably. Thus, each side may have different criteria for success, assessing the degree to which their goals are achieved, different values and ways to succeed. These conditions significantly influence the process of project implementation, it is especially important to take into account when constructing communication processes. It is important to use correct and effective methods, tools and technologies in solving management tasks that would be oriented specifically to these problems [9, 10].

Therefore, the purpose of this article is to analyze the interests of the parties involved in the transport project, taking into account the main features of this industry.

The article solves the problem:

- consideration of the peculiarities of transport infrastructure projects management;
- allocation of key stakeholders for transport infrastructure development projects and analysis of their interests;
- building a model for interaction between stakeholders at different stages of the project's life cycle.

Materials of research

Management of transport projects involves the creation of new or reconstruction of the country's old infrastructure systems for modernization or restoration. Management of transport projects should be distinguished from other types of conventional construction. The transport project in its classification is included in the definition of the infrastructure project, and therefore has a certain number of identical characteristics.

The main characteristics of the transport project are:

- significant influence on the nature and pace of socio-economic development of the region;
- exceptionally high capacity of funds;
- durability;
- close interaction between public authorities and private firms.

The competitiveness of the region is mostly dependent on transport accessibility than on the geographical location of production or service. The high development of the transport system in the region and the mobility of material and labor resources in it provides ample opportunities for both trade and production, which makes the area attractive for investment. Implementation of transport infrastructure projects generates the so-called impulses of development, which increase the attractiveness of the mainland territories, increasing the market value of surrounding lands and other natural resources.

Infrastructure projects are worth the cost. For example, the construction of one kilometer of road may amount to 5 to 78 million hryvnia [11]. At the same time, the terrain, climatic conditions and the development of the territory can increase the costs at one time. For this reason, and also because road construction is often not commercial, the main burden of funding is divided into

budgets of different levels. Public-private partnerships and other similar instruments of division of responsibilities and financial injections are created specifically for solving this problem. A slightly different situation with transport terminals, there, mainly, financing is carried out by private entrepreneurs and companies.

A transport project often has a strategic component that determines the competitiveness of the region in which the project was implemented. That is why transport projects can be implemented for decades. Even if the project does not require significant funds, but the timing of repayment of these funds and receipt of investment gains may take considerable time. Sometimes, even the first phase of the life cycle of a project with expertise and approvals, as well as the process of buying and disposing of land, may last for years and sometimes last longer than construction itself. Very often, transport projects may be suspended due to significant changes in conditions or inconsistencies in funding plans with realities. That is why the transport infrastructure of the regions is often planned in advance and for a long time with the calculations for further development and the state of the region.

Often, before the project is implemented, it is necessary to solve a huge number of conflicts in order to regulate public, private, social and economic interests.

The main risk and the main problem of any transport project is the risk of losing funding [12]. First of all, as there is always a temptation to invest in social projects that will benefit much faster, rather than in the case of infrastructures that spend the money spent over the years. When allocating budget funds, there is also the question of giving preferences to the region. High-level officials often have to choose the infrastructure of which region or city to improve, and work on which objects should be postponed at another time. This often creates a conflict between regions and competition for funding, which can lead to individual risks during the project implementation. And, finally, the construction of a transport infrastructure changes the territory itself and sometimes destroys the habitual location for people, or even their place of life. The construction of a transport facility requires the alienation of a large amount of land and is accompanied by pollution of the environment, both during construction and during operation.

Research results

1. Determination of the stakeholders of the transport project

Stakeholders, in other words, interested parties, are the parties that are directly involved in the implementation of the project at different or all stages of the life cycle and directly affect it. Stakeholders can include the public, civil servants, owners, managers, investors and all other actors directly influencing and participating in the life cycle of the project.

Transport project, unlike some other projects, is interrelated with the public at all stages of its life cycle. The community and the interests of the inhabitants of the region have a significant impact on the project, from the

design phase and throughout the time of exploitation to the stage of project closure. Because the transport project is primarily aimed at solving the interests and needs of society. Some studies and organizations even believe that a proper assessment of the role of society and determining the main characteristics of a society as a stakeholder can play a key role in the implementation of a transport project [14]. Significant public participation in project management also requires significant transparency of project processes and documentation to be disseminated to public resources.

Politicians who embody the side of the state also play a significant role at all stages of the project. First, because the transport project has such a close relationship with the public in the region. In addition to financial issues, civil servants can also resolve public-conflict issues as well as control information channels about the project's progress to the general public. The state may also be responsible for obtaining different types of permits. Obtaining permits is one of the most likely risks of a transport project, which is why the role of state bodies in this matter is difficult to overestimate. And political will can significantly reduce political and some economic risks, which greatly accelerates the process of project implementation.

In the world classification it is used to allocate the project owner as a separate stakeholder. That is, the side which becomes the owner of the object after construction. But in the Ukrainian realities, all transport arteries of the country belong to the state, and since the issue with the appearance of concession roads is still not resolved, the role of the owner should also be given to state structures.

Stakeholders may also include different supervisory authorities that are related both to the investor or the contractor, that is, those who control the quality of the work, as well as various organizations at the request of the state that control environmental norms and norms of law [15].

Also, an investor, a project team leader, a contractor with their own subcontractors and a supplier participate in the implementation of the transport project. Their role in the transport project is classical and has no pronounced features.

Specific characteristics regarding the management of transport projects by various stakeholders are presented in table 1. The table serves as a visual indicator of the main differences and peculiarities in the positions of stakeholders on those or other issues.

Table 1. Table of interests and visions of different stakeholders

Stakeholders of transport project	Interests of stakeholders in specific project issues		
	Project vision	Target in a project	Expectations
Society	Creating a product that you will need to take and which will bring additional convenience or opportunity	To get a project under construction that will bring the minimum number of inconveniences and risks, and at the end will give the greatest possible convenience and new opportunities	Finished product that brings additional convenience and features
Government agencies	Budget streams and reputation events	To master the maximum possible budgetary resources and to gain more reputational and economic benefits from the project, while reducing risks.	The ready project which is to become the brand of the political program and will bring economic and social benefits
Regulatory authorities	Technological process, limited by the norms and requirements. Granting permissions	To ensure the implementation of all processes within defined norms, eliminate or punish violations.	Avoid all possible violations until the project is complete. Complete all penalty procedures
Investor	Financial flows, the dynamics of expenses and revenues	Profit through investment	Return of invested funds with maximum profit
Project Manager and his team	Product creation management process	A result that meets quality, deadlines, budget and requirements. Satisfaction from the project of all stakeholders	Team success after project implementation, financial and reputational benefit
General contractor	Execution of works on all points of the contract	Maximum financial benefit from the work	The company gained profit from the project and received a reputable profit from successful execution
General supplier	The process of supply fulfillment according to the contract	Maximum financial benefit from supply fulfillment	The company gained profit from the project and received a reputable profit from successful execution

2. Model of interconnection of stakeholders of a transport project

Project implementation is accompanied by constant efforts of the project manager to meet the requirements of project stakeholders. But in addition to interacting with project management, stakeholders are also interacting with each other. The purpose of such interaction is often only

one – the exchange of resources for each of the parties. And resources in this case can be the most diverse things, from information to certain actions, in short, everything that can cause the interest of the parties. As a result of this situation, a network of relationships is created [8, 16].

All links between vertices act as an interaction between stakeholders, where resources are exchanged.

There are three types of exchanges:

- asymmetrical to the benefit of the target element;
- symmetrical with mutually beneficial relationship;
- asymmetric with benefit to the other party and deterioration of the resource base of the target element.

One of the tasks of the project manager and team is to weigh and control the relationships among other stakeholders, not allowing, or trying to prevent resource distortion. Such distortions may include, for example, non-fulfillment of the terms of an agreement by one of the parties, non-fulfillment of their powers by state bodies despite considerable tax pressure, etc. Similarly, a project manager may also give less resources in the process of exchange, for example, failing to fully exercise their authority or demonstrating unprofessionalism in the decisions. In the event of such problems, there is always a certain tension between the parties and the desire of the injured party to align the situation by reducing the leakage of resources on its part.

Thus, the relationship model has the form of a network where the project manager has a link with all other vertices in the center and other stakeholders with or without a different relationship. To construct the model of the interaction of participants, define the graph in fig. 1 as a set of vertices and relationships: $G = (V, A)$. The node corresponding to the project manager is marked V_0 .

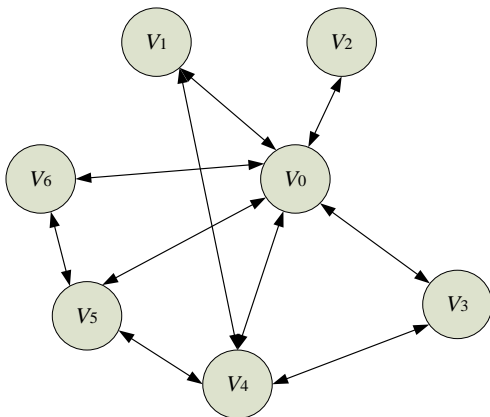


Fig. 1. An example of a network of interaction between project stakeholders

At the same time, it should be noted that such a network may have different views and structures at different stages of the life cycle of the project. That is, at the start of the next stage of the project, a network of stakeholders should be reviewed and balanced..

When considering the network of stakeholders interaction, the balancing of the process of transferring resources between stakeholders is of paramount importance. To do this, it is customary to allocate the target steward and separately consider the situation on his part, taking into account its features and characteristics, as well as features of a particular stage of the project life cycle. It is in this form that one needs to pay attention to the situation when the stacker receives less resources than gives, this situation is the main problem that the network model is trying to solve.

In some situations, the vertices may be uneven, or rather, have a priority over other vertices. For example,

the public, which is the most important stakeholder of the transport project and influences the critical number of decisions, may be more important than other stakeholders. It means that the situation with the exit from the balance, when a certain stakeholder will receive more resources, and the priority stacker receives less resources, always remains completely unacceptable. Thus, the project manager must make efforts to balance the model. In the long run, the goal of the project team is to balance all relationships among stakeholders, taking into account their weight at a particular stage.

Note that the set of bonds A is bi-directional, that is, it consists of two subsets (fig. 2): $A^+ \cup A^-$, where A^+ is the volume of resources transmitted by the participants of the communication in the forward direction (from the initiator of action), A^- is the volume of resources transferred in the opposite direction (as the corresponding reaction).

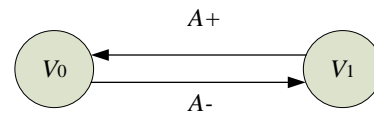


Fig. 2. Scheme of interaction between two stakeholders

According to fig. 2 we can record the condition:

$$A^+ \geq A^-, \quad (1)$$

which states the process of interchange of resources of project participants during its implementation.

Indicate a_{ij} as a volume of the resources transferred between V_i and V_j by project participants when $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}$. Thus, the graph of interconnections can be divided into separate subgraphs with a dedicated target holder and obtain conditions for the absorption of resources for a plurality of participants:

$$\sum_{i,j=1}^n a_{ij}^+ \geq \sum_{i,j=1}^n a_{ij}^-. \quad (2)$$

Formula (2) can be supplemented by the factor of the importance of a stakeholder for a certain stage of the project life cycle [17]. To determine such a factor, for example, you can use the Mitchell model to identify the importance of the parties. Thus, formula (2) will look like:

$$\sum_{l=1}^m \sum_{i,j=1}^n k_i(T^l) a_{ij}^+ \geq \sum_{l=1}^m \sum_{i,j=1}^n k_j(T^l) a_{ij}^-, \quad (3)$$

where $k_i(T^l)$ and $k_j(T^l)$ are the coefficients of significance (influence) of stakeholders on the first stage of project implementation.

The main task of communication management is to achieve a balance of interactions, that is, to minimize the difference

$$\left(\sum_{l=1}^m \sum_{i,j=1}^n k_i(T^l) a_{ij}^+ - \sum_{l=1}^m \sum_{i,j=1}^n k_j(T^l) a_{ij}^- \right) \rightarrow \min. \quad (4)$$

In the event that an imbalance can not be avoided, it is possible to align the overall system by creating artificial

imbalances in relation to other stakeholders. But this approach will work only when stakeholders know about the approach and only in this case they will consider the system of exchange of resources to be fair.

Conclusions

In the article the features of management of transport infrastructure development projects are considered. A set of stakeholders is identified. Their vision, goals and interests in the project are analyzed. The structural model of interaction in the graph representation is proposed. A

model for minimizing imbalance of resources in the process of interaction is developed. The unevenness of the stakeholder's influence over the life cycle of the project is taken into account.

The results obtained are based on a value-based approach and can be used in decision-making on communications management of transport infrastructure development projects.

The research will continue in the direction of constructing a mathematical model of compromise solutions with the interaction of different groups of stakeholders.

References

1. "Draft Law on the State Budget of Ukraine for 2019 dated September 15, 2018" ["Proekt Zakonu pro Derzhavnij byudzhet Ukraїni na 2019 rik vid 15 veresnya 2018"], available at: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=64598.
2. "On the State Budget of Ukraine for 2018 from October 13, 2018" [Pro Derzhavnij byudzhet Ukraїni na 2018 rik vid 13 zhovtnya 2018], *Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine*, 2018, No. 3-4, P. 26.
3. Kolesnikova, K. V. (2013), "Development of the theory of project management: justification of the law of initiation of projects" ["Rozvitok teorii proektnogo upravlinnya: obgruntuvannya zakonu iniciacii proektiv"], *Management of the development of complex systems*, No. 3, P. 18–24.
4. Guseva, Yu. Yu., Sidorenko, M. V., Chumachenko, I. V. (2016), "Management of interested parties in educational projects" ["Upravlinnya zacikavlenimi storonami osvithnih proektiv"], *Bulletin of the NTU KhPI*, No. 2, P. 8–11.
5. "Information technologies and innovations in economics, project and program management" ["Informacijni tekhnologii ta innovacii v ekonomici, upravlinni proektami i programami"]: monograph, for colleges. Ed. V. O. Timofeev, I. V. Chumachenko, Kharkiv : KNURE, 2016, 402 p.
6. Skachkov, O., Skachkova, I. (2018), "Theoretical and methodical toolkit for managing the stakeholders of a project" ["Teoretiko-metodichnij instrumetarij upravlinnya zacikavlenimi storonami proektu"], *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (3), P. 48–53. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.3.048>.
7. Owens, J. Project Management for Complex Transportation Projects. Iowa State University. Graduate Theses and Dissertations. 11627, available at: <https://lib.dr.iastate.edu/etd/11627>.
8. Smendina, N. V., Klevetsevich, N. A. (2016) "Management of Infrastructure Projects" ["Upravlinnya infrastrukturmimi proektami"], Odessa : ONEU, 193 p.
9. Kosenko, V. (2018), "Decision support system in planning investment project" ["Sistema pidtrimki prijnnyattya rishen' v planuvanni investicijnih proektiv"], *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (6), P. 113–119. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.6.113>.
10. Berman, S. L., Wicks, A. C., Kotha, S., Jones, T. M. (1999), "Does stakeholder orientation matter? The relationship between stakeholder management models and firm financial performance", *The Academy of Management Journal*, Vol. 42, No. 5, P. 488–506.
11. "How much is 1 km of roads in Ukraine?" ["Skil'ki koshtue 1 km dorig v Ukraїni?"], available at: <http://gromex.com.ua/ua/skilki-koshtuye-1-km-dorig-v-ukrayini/>.
12. Wang, W-X, Li, Q-M. (2008), "Early warning of risk for transportation infrastructure projects under a PPP model", *J. Chongqing Jianshu Univ.*, No. 5.
13. Cantarelli, C. C., Flyvbjerg, B., Molin, E. J. E., van Wee, B. (2013), "Cost overruns in large-scale transportation infrastructure projects: Explanations and their theoretical embeddedness", *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, No. 10 (1), P. 5–18.
14. Dorohina, A., Starostina, A., Artyuh, R., Gopeenko, V. (2018), "Development the mechanism for systematization the components of the contents of the construction projects portfolio" ["Rozrobka mekhanizmu sistemizacii komponentiv zmistu portfelya budivel'nih proektiv"], *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (5), P. 17–25. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.5.017>.
15. Benjamin, A. N. (2006), "Stakeholder Multiplicity: Toward an Understanding of the Interactions between Stakeholders", *Journal of Business Ethics*, No. 66, P. 377–391.
16. Timothy, J. R. (1997), "Moving beyond Dyadic Ties: A Network Theory of Stakeholder Influences", *The Academy of Management Review*, Vol. 22, No. 4, P. 887–910.
17. Hillman, A. J., Gerald, D. K. (2001), "Shareholder value, stakeholder management, and social issues: what's the bottom line", *Strategic management journal*, No. 22.2, P. 125–139.

Received 12.02.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Литвиненко Дмитро Петрович – Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", аспірант кафедри інформаційних управляючих систем, Харків, Україна; e-mail: newboroshno@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5766-0139>.

Литвиненко Дмитрий Петрович – Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт", аспирант кафедры информационных управляющих систем, Харьков, Украина.

Lytvynenko Dmytro – National Aerospace University – "Kharkiv Aviation Institute", Graduate Student at the Department of Informational Control Systems, Kharkiv, Ukraine.

Дорохіна Анна Анатоліївна – Державне підприємство "Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості", провідний архітектор, Харків, Україна; e-mail: annadorokhina2018@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5073-7383>.

Дорохина Анна Анатольевна – Государственное предприятие "Южный государственный проектно-конструкторский и научно-исследовательский институт авиационной промышленности", ведущий архитектор, Харьков, Украина.

Dorokhina Anna – State Enterprise "National Design & Research Institute of Aerospace Industries", Lead Architect, Kharkiv, Ukraine.

Артюх Роман Володимирович – кандидат технічних наук, Державне підприємство "Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості", директор, Харків, Україна; e-mail: roman.artuyh77@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5129-2221>.

Артюх Роман Владимирович – кандидат технических наук, Государственное предприятие "Южный государственный проектно-конструкторский и научно-исследовательский институт авиационной промышленности", директор, Харьков, Украина.

Artiukh Roman – PhD (Engineering Sciences), State Enterprise "National Design & Research Institute of Aerospace Industries", Director, Kharkiv, Ukraine.

АНАЛІЗ ІНТЕРЕСІВ ТА ВЗАЄМОДІЇ УЧАСНИКІВ ПРОЕКТУ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

Предметом дослідження в статті є процеси комунікації зацікавлених сторін в проектах розвитку транспортних систем. **Мета** – аналіз інтересів зацікавлених сторін транспортного проекту з урахуванням основних особливостей цієї галузі. В статті вирішуються **завдання**: розгляд особливостей управління проектами транспортної інфраструктури, виділення основних зацікавлених сторін для проектів розвитку транспортної інфраструктури та аналіз їх інтересів, побудова моделі взаємодії стейкхолдерів на різних етапах життєвого циклу проекту. Застосовані **методи**: ціннісний підхід, структурні графові моделі, оптимізаційні моделі. Отримані **результати**: Проаналізовано вимоги стандартів з управління проектами стосовно ціннісного підходу і управління зацікавленими сторонами проекту. Розглянуто основні характеристики транспортного проекту: вплив на характер соціально-економічного розвитку регіону, значна вартість, довготривалість, взаємодія державних органів та приватних фірм. Визначено множини зацікавлених сторін транспортного проекту. Проаналізовано специфічні характеристики щодо управління транспортними проектами різними зацікавленими сторонами, такі як очікування, цілі, ролі, ступінь відповідальності та можливі дії. Розглянуто асиметричні та симетричні типи комунікацій у проекті. Побудовано модель взаємовідносин стейкхолдерів у вигляді мережі, де в центрі знаходиться менеджер проекту, що має зв'язок з усіма іншими вершинами, та вершини-стейкхолдери, що мають зв'язок між собою. Формалізовано подання моделі у вигляді графу з множиною вершин та двонаправлених зв'язків. Розроблено модель процесу взаємообміну ресурсами учасників проекту при його реалізації. Модель містить потоки ресурсів (прямі та зворотні), урахує коефіцієнти впливу стейкхолдерів, які змінюються на протязі етапів життєвого циклу проекту розвитку транспортної системи. **Висновки**. Проведений аналіз інтересів та взаємодії учасників проекту є основою розробки моделі мінімізації дисбалансу ресурсів стейкхолдерів. Отримані результати ґрунтуються на ціннісному підході та можуть бути використані при прийнятті рішень з управління комунікаціями проекту розвитку транспортної інфраструктури.

Ключові слова: управління проектами; стейкхолдери; транспортна система; модель взаємодії.

АНАЛИЗ ИНТЕРЕСОВ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УЧАСТНИКОВ ПРОЕКТА РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Предметом исследования в статье являются процессы коммуникации заинтересованных сторон в проектах развития транспортных систем. **Цель** – анализ интересов заинтересованных сторон транспортного проекта с учетом основных особенностей этой отрасли. В статье решаются **задачи**: рассмотрение особенностей управления проектами транспортной инфраструктуры, выделение основных заинтересованных сторон для проектов развития транспортной инфраструктуры и анализ их интересов, построение модели взаимодействия стейкхолдеров на разных этапах жизненного цикла проекта. Применены **методы**: ценностный подход, структурные графовые модели, оптимизационные модели. Полученные **результаты**: Проанализированы требования стандартов по управлению проектами относительно ценностного подхода и управления заинтересованными сторонами проекта. Рассмотрены основные характеристики транспортного проекта: влияние на характер социально-экономического развития региона, значительная стоимость, продолжительность, взаимодействие государственных органов и частных фирм. Определено множество заинтересованных сторон транспортного проекта. Проанализированы специфические характеристики по управлению транспортными проектами различными заинтересованными сторонами, такие как ожидание, цели, роли, степень ответственности и соответствующие действия. Рассмотрены асимметричные и симметричные типы коммуникаций в проекте. Построена модель взаимоотношений стейкхолдеров в виде сети, где в центре находится менеджер проекта, который имеет связь со всеми другими вершинами, и вершины-стейкхолдеры, имеющие связь между собой. Формализовано представление модели в виде множества вершин и двонаправленных связей. Разработана модель процесса обмена ресурсами участников проекта при его реализации. Модель содержит потоки ресурсов (прямые и обратные), учитывает коэффициенты влияния стейкхолдеров, которые меняются на протяжении этапов жизненного цикла проекта развития транспортной системы. **Выводы**. Проведенный анализ интересов и взаимодействия участников проекта является основой разработки модели минимизации дисбаланса ресурсов стейкхолдеров. Полученные результаты основаны на ценностном подходе и могут быть использованы при принятии решений по управлению коммуникациями проекта развития транспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: управление проектами; стейкхолдеры; транспортная система; модель взаимодействия.

V. MARTSENYUK, A. SVERSTIUK

CYBER-PHYSICAL MODEL OF THE IMMUNOSENSOR SYSTEM AT THE HEXAGONAL LATTICE WITH THE USE OF DIFFERENCE EQUATIONS OF THE POPULATION DYNAMICS

The **subject** matter of the study is a model of cyber-physical immunosensory systems. The **goal** of the work is to create and to study the stability of the cyber-physical model of the immunosensory system at the hexagonal lattice using difference equations. The following **tasks** are solved in the article: development of functional scheme and cyber-physical model of immunosensory system; creation of discrete dynamics of the studied system; development of dynamic logical simulation of the cyber-physical immune system; definition of permanent states for studying the stability of a model of an immunosensor at the hexagonal lattice; the analysis of the results of numerical simulation of the cyber-physical model of the immunosensory system in the form of image of phase planes, the probability of contact of antigens with antibodies, lattice images of the probability of antibody bonds and an electron signal from the converter, that characterizes the number of fluorescing pixels. The following **methods** are used: methods of mathematical statistics and random processes, methods of the theory of optimization and operations research. The following **results** were obtained: The cyber-physical model of the immunosensory system at the hexagonal lattice using the difference equations that takes into account the presence of colonies of antigens and antibodies localized in pixels as well as the diffusion of colonies of antigens between pixels was developed. Discrete dynamics of populations in conjunction with dynamic logic is described. A class of delay time difference equations was introduced to simulate the interaction of "antigen-antibody" in the pixels of the immunosensor. The stability of the cyber-physical model of the immunosensory system with the help of the R package is researched. The results of numerical simulation in the form of phase planes image, the probability of contact of antigens with antibodies, lattice images of the probability of antibody bonds and an electron signal from the converter, that characterizes the number of fluorescing pixels, are obtained. The identical and endemic stable states of the cyber-physical model of the immunosensory system at the hexagonal lattice using differential equations of population dynamics are proposed. **Conclusions:** The numerical simulation of the developed cyber-physical model of the immunosensory system was conducted. It is established that its qualitative behavior significantly depends on the time of the immune response r . An electrical signal, modeled by the number of fluorescent immunopips, is important in the design of cyber-physiological immunosensory systems and studies of their resilience. Limit cycle or steady focus determine the appropriate form of immunosensory electrical signal. The conclusion on the stability of immunosensors is based on the grid image of the pixels that are fluorescing. The obtained experimental results allowed to perform a complete analysis of the stability of the immunosensor model, taking into account the delay in time.

Keywords: cyber-physical model; immunosensory system; biosensor; immunosensor; stability of the model; difference equations; hexagonal lattice.

Introduction

Cyber-physical system (CPS) is a physical system that implements the integration of computing and physical processes. It occurs more often in the form of embedded systems and networks for monitoring and controlling physical processes in feedback systems. In such systems, the dynamics of physical processes is the source of information of the investigated phenomenon with the ability to control and calculate the signals of control of the object [1].

Cyber-physical systems are identified with the manifestation of the fourth industrial revolution that takes place in the modern world [2]. Thus, there is also a physical opportunity to use technologies of "Internet of Things", where it is necessary to use signals from sensors and measuring devices. Thus, more and more publications [3] appear in the literature that draw attention to the modern concepts and offer the innovative solutions. A. Platzer proposed an approach based on "dynamic logic", which describes and analyzes cyber-physical systems [4], [5]. In these works, the hybrid programs (HPs) are used at the simple programming language with the simple semantics. HPs allow the programmer to refer directly to the actual values of variables that represent the real values and determine their dynamics.

Analysis of the problem and the existing methods

With the growth of the pace of life and the need for more accurate methods for monitoring various parameters, interest in cyber-physical systems and biosensors as their components is growing in science and industry. Biosensors are an alternative to well-known measurement methods that are characterized by poor selectivity, high cost, poor stability, slow response, and can often be performed only by the highly trained personnel. This is a new generation of sensors that use biological material in a design that provides very high selectivity and allows you to quickly and simply measure [6], [7].

Cell biosensors can be used to quantify the infection of an organism with certain electrochemical or optical phenomena. The article [8] describes a cellular biosensor that uses electrochemical impedance spectroscopy. This biosensor is intended for counting human CD4 + cells. The sensing area of this biosensor includes electrode pixels, each of which is compared to the size of the CD4 + cell, which is attracted to the pixels of the electrode. They are detected by observing informative changes on the pixel. The "On" or "Off" state of the electrode pixel indicates the detection of one CD4 + cell. Thus, in order to calculate CD4 + cells, it is necessary to summarize electrode pixels in the "On" state.

This general approach to quantitative detection of cells is used to simulate an immunosensory system based

on the fluorescence phenomenon. Immunosensors [9] are a subgroup of biosensors, in which the immunochemical reaction is associated with the transducer. The principle of all immunosensors is the specific molecular recognition of antigens by antibodies to form a stable complex.

An important stage in the design of cyber-physical immunosensory systems is the development and research of their mathematical models that adequately reflect the important aspects of the spatial structure of immune-pixels important in terms of the research tasks. After all, the quality of the immunosensor model determines the effectiveness of its processing methods in measuring systems. The design of cyber-physical immunosensory systems involves the selection of parameters that would ensure their operational stability. Such a task, in particular, arises in the development of an immunosensor, which includes a three-dimensional array of immune pixels, and which consists in finding appropriate parameters describing immunological and diffusion processes. This problem can be solved by developing and studying the stability of the corresponding cyber-physical model of the immunosensory system on a hexagonal lattice using difference equations.

Purpose of the work. To develop a cyber-physical model of the immunosensory system on a hexagonal lattice using the differential equations of population dynamics with the possibility of studying its stability. The article addresses the following tasks:

- development of functional scheme and cyber-physical model of immunosensory system;
- creation of discrete dynamics of the studied system;
- development of dynamic logical modeling of the cyber-physical immune system;
- definition of permanent states for studying the stability of a model of an immunosensor on a hexagonal lattice;
- analysis of the results of numerical simulation of the cyber-physical model of the immunosensory system in the form of image of phase planes, the probability of contact of antigens with antibodies, lattice images of the probability of antibody bonds and an electron signal from the converter, which characterizes the number of fluorescing pixels.

Solving the problem

Cyber-physical Immunosensory System (CPISS). The definition of the term "Cyber-physical sensory system (CPSS)" is given in [10]. This definition was introduced for the industrial use of sensors. The general definition of the CPSS involves "a higher degree of combination, system sharing, the ability to use embedded systems in the field of automation and compliance with existing standards." The considered approach is used for the characterization of CPISS, the functional scheme of which is presented in fig. 1 and allows to perform numerical simulation of the system under study.

According to [10], the definitions and schemes for CPIS are used to define the CPS. CPISS converts physically measured immunological parameters into the

digital information, which enables them to process signals in time using certain algorithms. There is also an interaction with their own capabilities, requirements, internal data and internal tasks in terms of distribution to the same or higher level of the hierarchy.

The concept of CPS at the basis of the CPISS (the external rectangle in fig. 1), with the account of the features of intellectual imaging sensors is used. With the additional skills (dotted line in fig. 1), the sensor extends to CPIS, which allows to receive more diagnostic information about the object being studied.

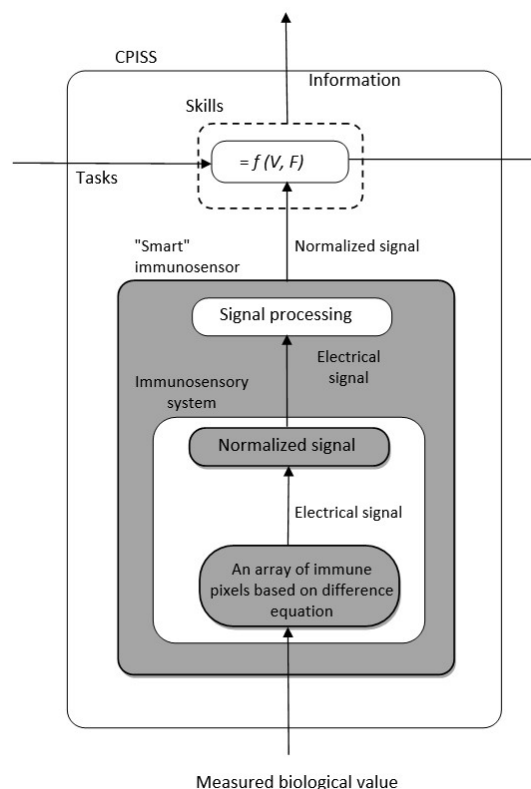


Fig. 1. Functional scheme of CPISS

Four main types of detection are used in immunosensory devices: electrochemical (potentiometric, amperometric or conductivity (capacitive), optical and thermometric [9]). All types of sensors can be used as direct (not marked) or as indirect (marked) immunosensors. Direct sensors are able to detect physical changes during the formation of the immune complex, while indirect use different levels of the generated signal that enable more sensible and universal detection in measuring systems.

CPISS refers to the high-intelligence information systems. They use an affordable set of interfaces that allow you to receive fast and accurate information of the status and internal system data that should be available to other CPSs. According to [10] CPISS as the self-organizing system requires comprehensive knowledge of its own dynamic structure and infrastructure of the general system. In order to make this, it is necessary to determine the types of immunosensory devices, taking into account their functional application. For example, immunosensors can be used to assess critical states in cardiovascular diseases, insulin values when measuring glucose levels in

blood and to identify quantitative parameters in some pharmaceutical formulations.

In the article [10] the general structure of CPSS is proposed. While applying this scheme, in the case of immunosensors, three directions can be singled out: general information about the immunosensor; measurements of immunological parameters and skills in relation to unit conversion and calibration; interaction with other immunosensors. In this way, the certain methods are described that allow the immunosensor to be described. In the study of CPISS, the programming language R was used. Despite the great variety of programming languages used in the development of CPS (Assembly, C, C++, D, Java, JavaScript, Python, Ada, etc. [11]), the language R is widely used in Nowadays, in many industries involved in machine learning and visualization of data.

Discrete Dynamics CPISS. For the CPISS dynamics we use the mathematical description with the help of nonlinear difference equations with delay.

The model of the immunosensor on the basis of a hexagonal lattice is considered. In this case, for the numbering of immune pixels (i, j, k) , $i, j, k = -N, N$, $i + j + k = 0$ the cubic coordinate system is used [11].

Let $V_{i,j,k}(t)$ is the concentration of antigens, $F_{i,j,k}(t)$ is the concentration of antibodies in the immunopixel (i, j, k) ; $i, j, k = -N, N$, $i + j + k = 0$.

The model is based on such biological assumptions for an arbitrary immunopile (i, j, k) .

1. Antigens are detected, bind, and finally neutralized by antibodies with some probability velocity $\gamma > 0$.

2. It is assumed that when colonies of antibodies are absent, colonies of antigens are regulated by a logistic equation with a delay:

$$V_{i,j,k}(n+1) = (1 + \beta - \delta_v V_{i,j,k}(n-r)) V_{i,j,k}(n), \quad (1)$$

where β and δ_v – positive numbers, and $r \geq 0$ mean latency of the negative response of the antigens' colonies.

3. The fertility rate $\beta > 0$ for the antigen population is introduced.

4. Antigens are neutralized by antibodies at a certain probability rate $\gamma > 0$.

5. The population of antigens tries to reach a certain limit of saturation with a speed $\delta_v > 0$.

$$\begin{aligned} V_{i,j,k}(n+1) &= V_{i,j,k}(n) \exp\{\beta - \gamma F_{i,j,k}(n-r) - \delta_v V_{i,j,k}(n-r)\} + \hat{S}\{x_{i,j,k}(n)\}, \\ F_{i,j,k}(n+1) &= F_{i,j,k}(n) \exp\{-\mu_f + \eta\gamma V_{i,j,k}(n-r) - \delta_f F_{i,j,k}(n)\} \end{aligned} \quad (2)$$

where $\hat{S}\{V_{i,j,k}\}$ is a discrete diffusion for a spatial operator \hat{S} .

$$\hat{S}\{V_{i,j,k}\} = \begin{cases} D\Delta^{-2} [V_{i+1,j,k-1} + V_{i+1,j-1,k} + V_{i,j-1,k+1} + V_{i-1,j,k+1} + V_{i-1,j+1,k} + V_{i,j+1,k-1} - 6nV_{i,j,k}] \\ i, j, k \in \overline{-N+1, N-1}, \quad i + j + k = 0. \end{cases} \quad (3)$$

6. The diffusion of antigens from six adjacent pixels is considered $(i+1, j, k-1)$, $(i+1, j-1, k)$, $(i, j-1, k+1)$, $(i-1, j, k+1)$, $(i-1, j+1, k)$, $(i, j+1, k-1)$ (fig. 1) with diffusion speed $D\Delta^{-2}$, where $D > 0$ – coefficient of diffusion; $\Delta > 0$ – distance between two adjacent pixels.

7. The constant mortality of antibodies $\mu_f > 0$ is introduced.

8. As a result of the immune response the antibody density increases with a probabilistic velocity $\eta\gamma$.

9. The antibody population is approaching a certain level of saturation with a speed $\delta_f > 0$.

10. The immune response occurs with some constant delay in a time $r > 0$.

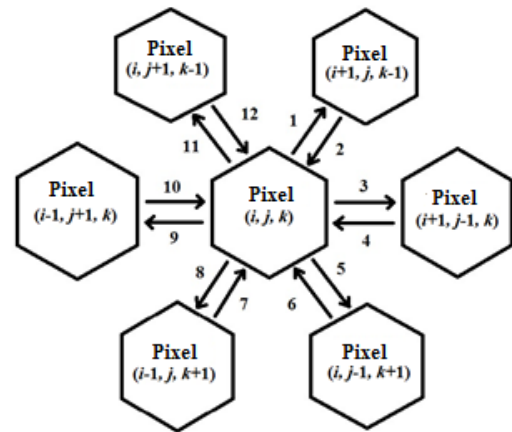


Fig. 2. Hexagonal lattice, which binds six neighboring pixels in the model of the immunopixel using the cubic coordinates:

$$\begin{aligned} &1, 3, 5, 8, 9, 11 - \left(\frac{D}{\Delta^2} V_{i,j,k}(t)\right); 2 - \left(\frac{D}{\Delta^2} V_{i+1,j,k-1}(t)\right); \\ &4 - \left(\frac{D}{\Delta^2} V_{i+1,j-1,k}(t)\right); 6 - \left(\frac{D}{\Delta^2} V_{i,j-1,k+1}(t)\right); \\ &7 - \left(\frac{D}{\Delta^2} V_{i-1,j,k+1}(t)\right); 10 - \left(\frac{D}{\Delta^2} V_{i-1,j+1,k}(t)\right); \\ &12 - \left(\frac{D}{\Delta^2} V_{i,j+1,k-1}(t)\right). \end{aligned}$$

On the basis of the above information, we will write the mathematical model of late-antigen-antibody interaction for a hexagonal array of immunopiles based on the well-known Marchuk model [12-14] and uses the spatial operator \hat{S} proposed in [15] (additional information is on page 10).

Dynamic logical simulation of CPISS. In order to simulate the dynamic logic of CPISS, we use the syntax proposed by A. Platser for the general CPS [4]. The CPS uses the Hybrid Programming Language (HP), which has

$$\begin{aligned} a &::= V_{i,j,k}(n+1) = V_{i,j,k}(n) \exp\{\beta - \gamma F_{i,j,k}(n-r) - \delta_x V_{i,j,k}(n-r)\} + \hat{S}\{V_{i,j,k}(n)\}, \\ F_{i,j,k}(n+1) &= F_{i,j,k}(n) \exp\{-\mu_y + \eta\gamma V_{i,j,k}(n-r) - \delta_y F_{i,j,k}(n)\} \& \Phi_i, \end{aligned} \quad (4)$$

where Φ_i is an evolutionary domain constraint in the form of a formula for the logic of the first order of real arithmetic

$$\begin{aligned} \Phi_i &\stackrel{def}{=} V^{\min} \leq V_{i,j,k}(n) \leq V^{\max}, \\ \wedge F^{\min} \leq F_{i,j,k}(n) \leq F^{\max} \wedge i, j, k = \overline{-N, N} \wedge n > 0, i + j + k = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

The functioning of the immunopixel (i, j, k) is determined by two states, with respect to fluorescence. Namely, s_{fl} is a state of fluorescence and s_{nonfl} is one of the non-fluorescence states. The use of the first order of semantics of logic and the satisfaction ratio $s| = L$ for the first-order formula L of real arithmetic and state s can be determined for some pixels $(i, j, k); i, j, k = \overline{-N, N}$, $i + j + k = 0$ states s_{fl} and s_{nonfl} as

$$\begin{aligned} s_{fl} | &= k_{fl} V_{i,j,k}(n) F_{i,j,k}(n) \geq \theta_{fl}, \\ s_{nonfl} | &= k_{fl} V_{i,j,k}(n) F_{i,j,k}(n) < \theta_{fl}. \end{aligned} \quad (6)$$

Discrete changes occur in computer programs when they accept new values for variables. This situation occurs when a fluorescence phenomenon occurs in a pixel $(i, j, k); i, j, k = \overline{-N, N}$, $i + j + k = 0$. The state $s_{fl,i,j,k} := 1$ is assigned a value of 1 to the variable $s_{fl,i,j,k}$. This leads to a discrete, jump-like change, as the value $s_{fl,i,j,k}$ does not change smoothly, but rapidly when it suddenly changes from 1 to $s_{fl,i,j,k}$, causing a discrete jump of values $s_{fl,i,j,k}$. In this way, we obtain a discrete model of change $s_{fl,i,j,k} := 1$, except for the model of change (6).

Investigation of stability of immunosensor model on hexagonal lattice. Constant states.

In general, the state of equilibrium $\varepsilon_{i,j,k} \equiv (V_{i,j,k}, F_{i,j,k})$, $i, j, k = \overline{-N, N}$, $i + j + k = 0$ for the system (2) can be found as a solution of an algebraic system:

$$\begin{aligned} V_{i,j,k} &= V_{i,j,k} \exp\{\beta - \gamma F_{i,j,k} - \delta_v V_{i,j,k}\} + \hat{S}\{V_{i,j,k}\} \\ F_{i,j,k} &= F_{i,j,k} \exp\{-\mu_f + \eta\gamma V_{i,j,k} - \delta_f F_{i,j,k}\}. \end{aligned} \quad (7)$$

Considering $(V_{i,j,k}, F_{i,j,k})$, $i, j, k = \overline{-N, N}$, $i + j + k = 0$, we have the following cases.

Stable state without antigens and antibodies

$$\varepsilon_{i,j,k}^{0,0} \equiv \varepsilon^{0,0} = (0, 0), \quad i, j, k = \overline{-N, N}, \quad i + j + k = 0.$$

more features than differential equations. The first level of HP is a dynamic program that is defined by the following grammar

Stable state without antibodies

$$\varepsilon_{i,j,k}^{*,0} \equiv \varepsilon^{*,0} = \left(\frac{\beta}{\delta_v}, 0 \right), \quad i, j, k = \overline{-N, N}, \quad i + j + k = 0.$$

Identical endemic steady state. In the case if $V_{i,j,k} \equiv V^{ident} > 0$, $i, j, k = \overline{-N, N}$, $i + j + k = 0$, $(\hat{S}\{V_{i,j,k}\} \equiv 0)$, we receive the stable state $\varepsilon_{i,j,k} \equiv \varepsilon^{ident} = (V^{ident}, F^{ident})$, where

$$V^{ident} = \frac{\beta\delta_f + \gamma\mu_f}{\eta\gamma^2 + \delta_v\delta_f}, \quad F^{ident} = \frac{-\mu_f\delta_v + \eta\gamma\beta}{\eta\gamma^2 + \delta_v\delta_f}.$$

So if $-\mu_f\delta_v + \eta\gamma\beta > 0$, then ε^{ident} is an endemic state.

Non-identical endemic steady state. In the general case, we need to solve the algebraic system (7) and find an endemic stable state, which will be called non-identical stationary state $\varepsilon^{non-ident} = (V_{i,j,k}^{non-ident}, F_{i,j,k}^{non-ident})$, $i, j, k = \overline{-N, N}$, $i + j + k = 0$. In case all $(V_{i,j,k}^{non-ident}, F_{i,j,k}^{non-ident}) > 0$, then $\varepsilon^{non-ident}$ is an endemic state. Values V^{ident} and F^{ident} can be used as the initial approximations for numerical methods for solving a nonlinear algebraic system (7).

Numerical modeling.

Model (2) is considered at $h = 0.01^2$; $\beta = 2h$; $\gamma = 2h$; $\mu_f = h$; $\eta = 0.01184/\gamma$; $\delta_v = 0.5h$; $\delta_f = 0.5h$; $D/\Delta^2 = 2.22\sqrt{h}$; $N = 4$.

Similar to the model based on the differential equations [16, 17], in a system with the discrete time when the delay time value is changed r we observe the qualitative changes in the behavior of immune pixels and the model under study as a whole. Numerical modeling is performed at the values of the parameters given above. In this case, the long-term behavior of the system (2), which describes a hexagonal array of immunopixels at $N = 4$ for $r = 5$; $r = 17$; $r = 22$. Phase diagrams of antibody and antigen populations for pixel and adjacent pixels at different values are shown in fig. 3–5.

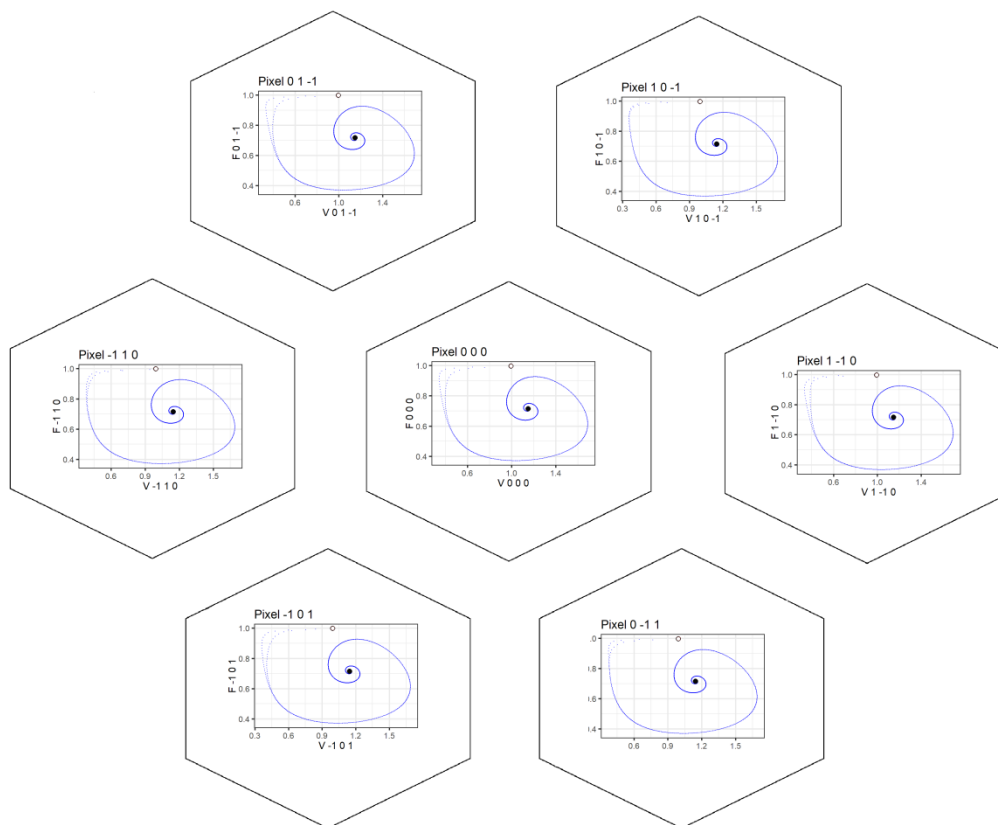


Fig. 3. Numerical modeling of the system (2) at $r = 5$. The image of the phase planes in coordinates $(V_{i,j,k}, F_{i,j,k})$ for the pixel $(0, 0, 0)$ and its six neighboring pixels. Designation: \circ – identical steady state, \bullet – non-identical steady state

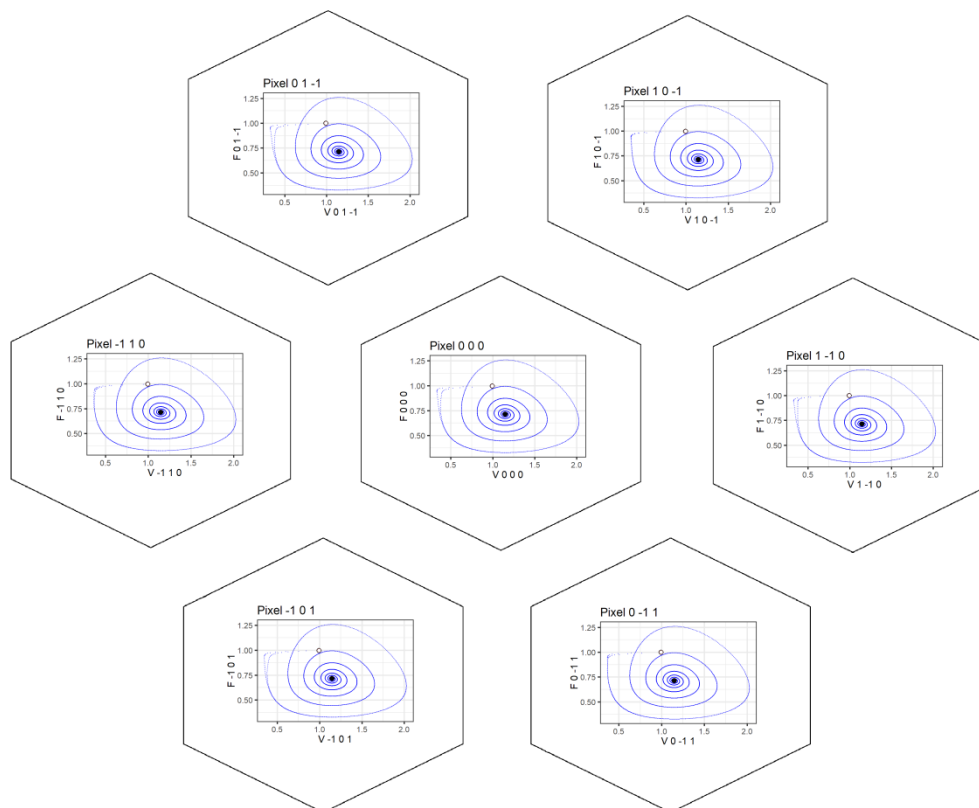


Fig. 4. Numerical modeling of the system (2) at $r = 17$. The image of the phase planes in the coordinates $(V_{i,j,k}, F_{i,j,k})$ for a pixel $(0, 0, 0)$ and its six neighboring pixels. Symbols: \circ – identical steady state, \bullet – non-identical steady state

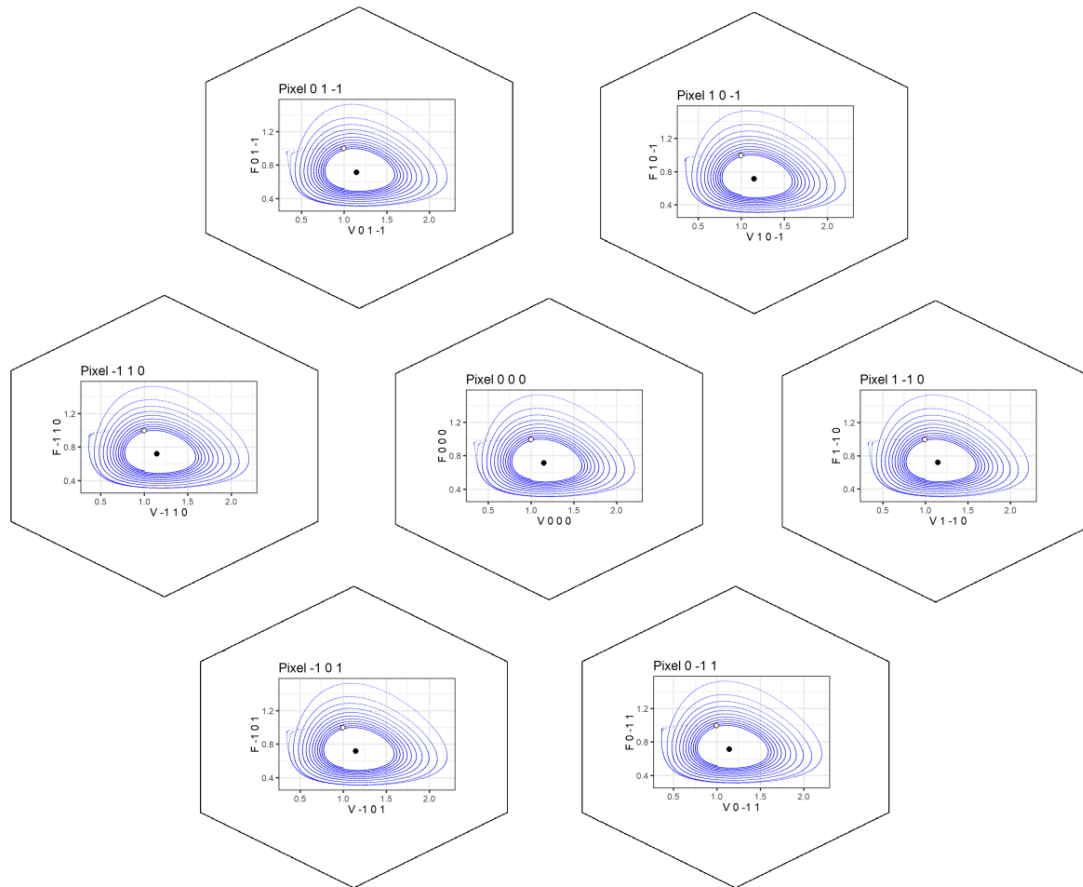


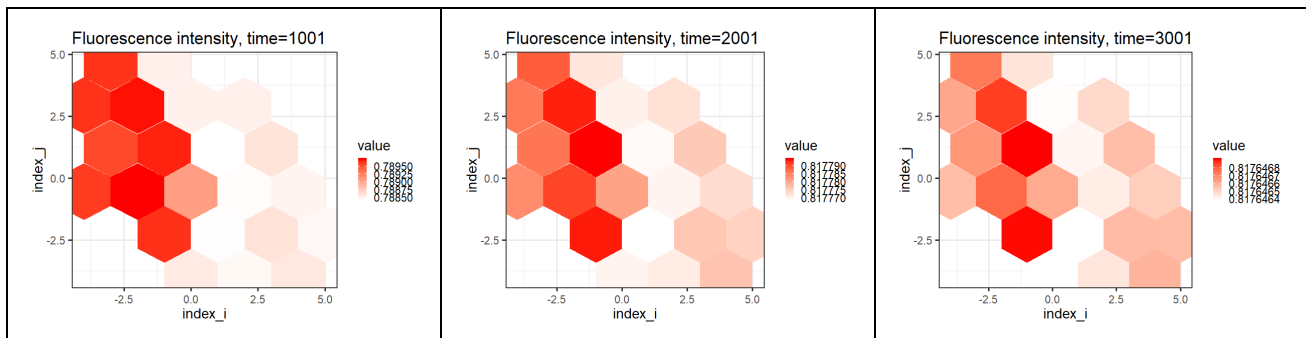
Fig. 5. Numerical modeling of the system (2) at $r = 22$. The image of the phase planes in the coordinates $(V_{i,j,k}, F_{i,j,k})$ for a pixel $(0,0,0)$ and its six neighboring pixels. Symbols: ○ – identical steady state, ● – non-identical steady state.

Thus at $r \leq 16$ there are trajectories that correspond to a stable focus for all pixels (fig. 3). At a value $r = 17$ Hopf bifurcation occurs – the following trajectories correspond to stable ellipsoidal boundary cycles for all pixels (fig. 4). The results of numerical modeling are consistent with the theoretical results on the basis of the theorem on the Hopf bifurcation [18], which confirms the appearance of small invariant cycles of the radius $O(\sqrt{h})$. Fig. 5 for $r = 22$ shows the phase diagrams, which are the limit cycles with two

extremums (one local maximum and one local minimum).

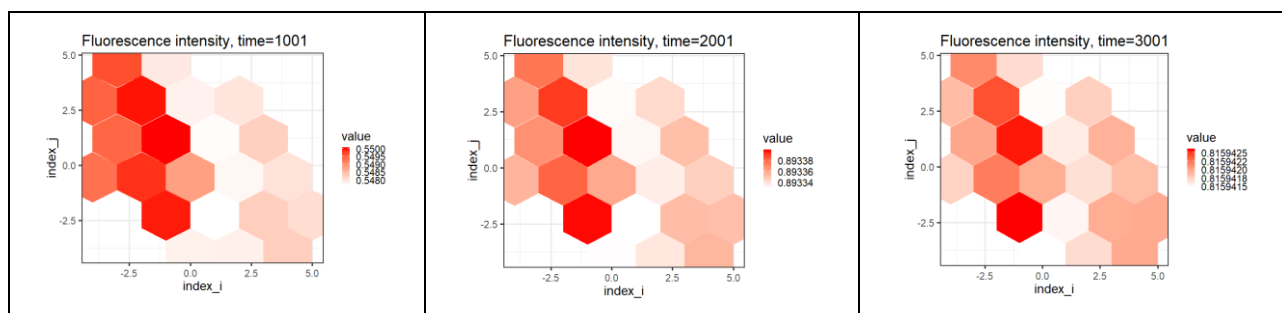
Lattice graphs were used for numerical modeling of the cyber-physical model of the immunosensor. Firstly, the corresponding graphs were constructed, where the probability of antigen-antibody contact was given for each pixel, and as $V_{i,j,k} \times F_{i,j,k}$ at $r = 5$, $r = 17$, $r = 22$, are shown at fig. 6 (a-c).

At the second stage of numerical simulation of CPISS, lattice graphs of fluorescing pixels were obtained based on the condition (6) shown at fig. 7.

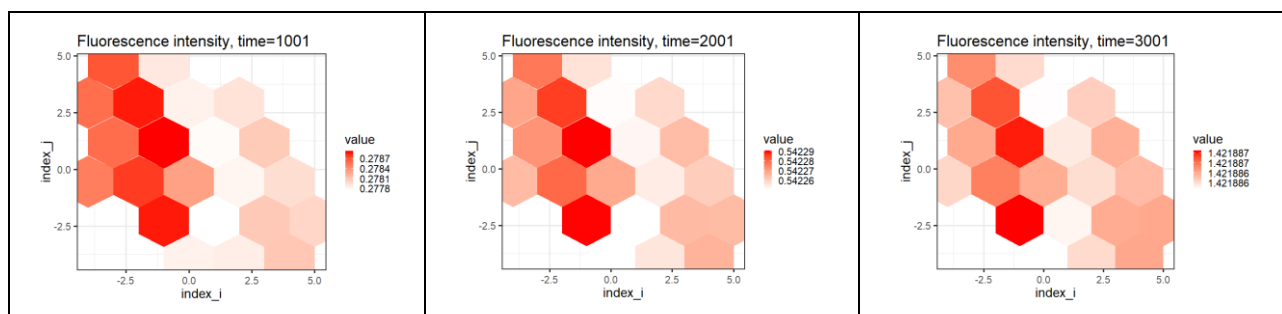


a)

Fig. 6. Lattice images of the probability of antibody bonds with antibodies in pixels of the system (2) at $r = 5$ (a)

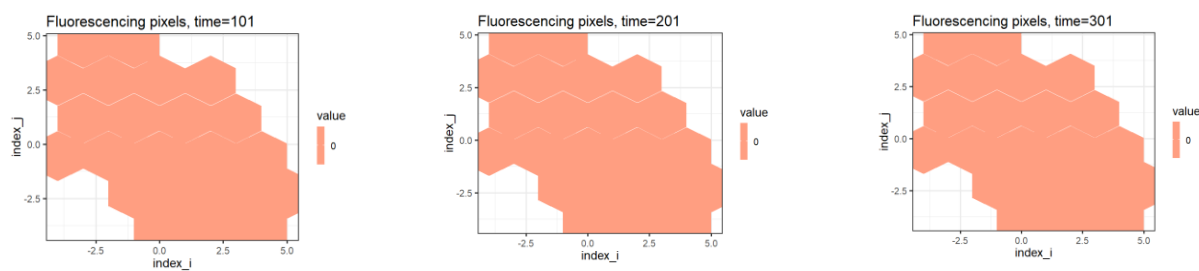


b)

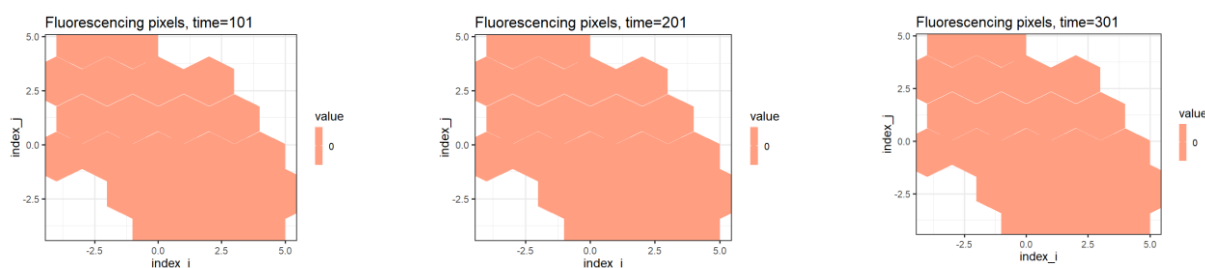


c)

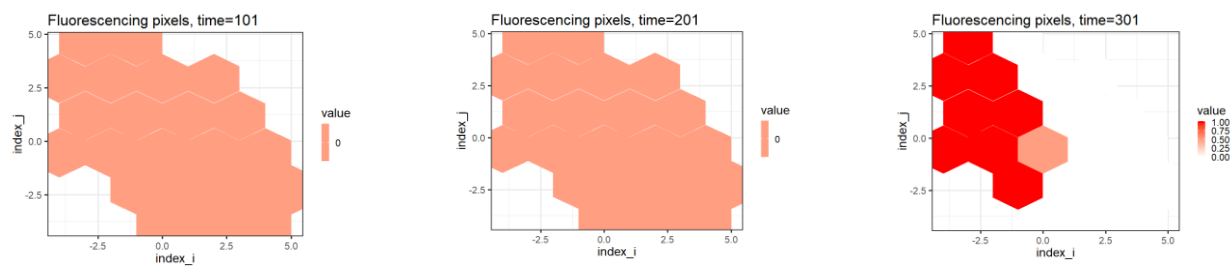
The end of the **fig. 6**. Lattice images of the probability of antibody bonds with antibodies in pixels of the system (2) at $r = 17$ (b), $r = 22$ (c).



a)



b)



c)

Fig. 7. Image of the fluorescence pixels of the system (2) at $r = 5$ (a), $r = 17$ (b), $r = 22$ (c)

As an example of the final stage of numerical simulation of the CPISS, the form of an electrical signal of the converter is obtained, which characterizes the number of fluorescing pixels, depending on the different value of the delay in time r . Fig. 8 (a, b) shows the result of the numerical simulation of the system (2) at $r = 5$ and

$r = 17$ that corresponds to a stable focus. At $r = 22$ there is a running wave of fluorescence pixels that is represented in fig. 8 (c).

For the numerical simulation of CPISS, a threshold value for fluorescence was used $\Theta_{fl} = 1,5$.

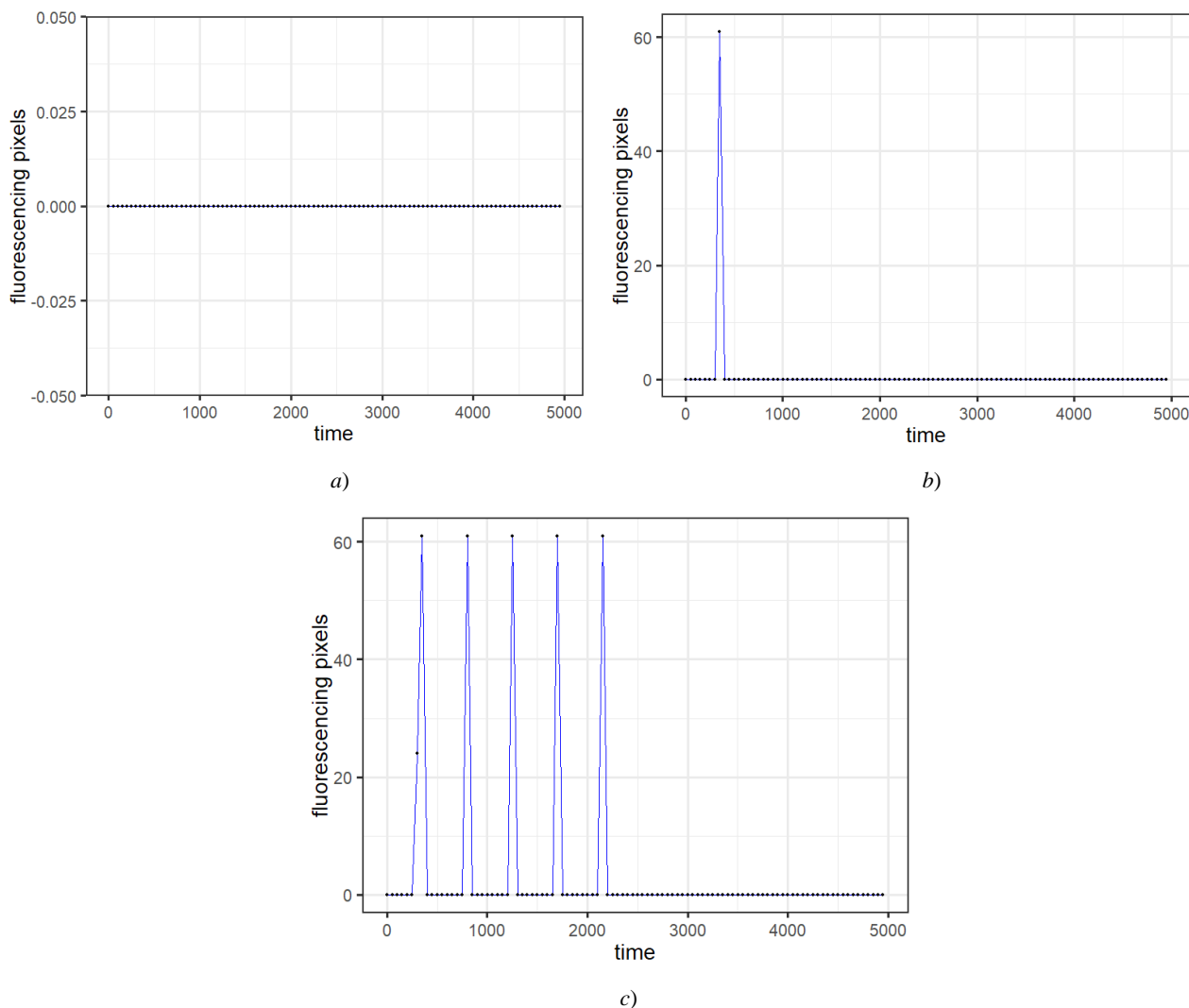


Fig. 8. An electrically transmitted signal from a transducer that characterizes the number of fluorescing pixels at $r = 5$ (a), $r = 17$ (b), $r = 22$ (c)

As it was shown by the numerical analysis fluorescing states in immunopixels are changed according to the laws of discrete dynamics. Analyzing the obtained results, it was concluded that when changing the values of r , the behavior of pixels and CPISS changes qualitatively.

Conclusions

In this work a model of cyber-physical immunosensory system on a hexagonal lattice with the use of difference equations is developed and its stability is investigated. The presence of colonies of antigens and antibodies that are localized in pixels, as well as the diffusion of colonies of antigens between pixels was taken

into account. The mathematical description of CPISS contains a discrete population dynamics, which is combined with the dynamic logic used for discrete events.

The continuous dynamics of the immunological response, each immunopixel is considered as CPISS was studied. The electrical signal, modeled by the number of fluorescent immuno pixels, is important in the design of CPISS and the study of their sustainability. Sustained focus or limiting cycle determines the appearance of an immunosensory electrical signal. The conclusion on the stability of immunosensors can be made on the basis of the lattice image of the pixels that are fluorescing. The experimental results obtained allow us to perform a complete analysis of the stability of the immunosensor model, taking into account the delay in time.

References

1. Lee, E. A. (2008), "Cyber physical systems: Design challenges", Center for Hybrid and Embedded Software Systems, EECS University of California, Berkeley, CA 94720, USA, Tech. Rep. UCB/EECS-2008-8, Jan. 2008, P. 10. [Online], available at : <https://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2008/EECS-2008-8.pdf>.
2. Lee, J., Bagheri, B. and Kao, H.-A. (2015), "A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems", *Manufacturing Letters*, Vol. 3, P. 18–23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>. [Online], available at : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221384631400025X>.
3. Kim, K.-D., Kumar, P. R. (2012), "Cyber-physical systems: A perspective at the centennial", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 100, No. Special Centennial Issue, P. 1287–1308, May 2012. DOI: 10.1109/jproc.2012.2189792.
4. Platzer, A. (2008), "Differential dynamic logic for hybrid systems", *Journal of Automated Reasoning*, Vol. 41, NO. 2, P. 143–189. DOI: 10.1007/s10817-008-9103-8.
5. Platzer, A. (2018), "Logical Foundations of Cyber-Physical Systems", *Springer International Publishing*. DOI: 10.1007/978-3-319-63588-0.
6. Martsenyuk, V. P., Klos-Witkowska, A., Sverstiuk, A. S. (2018), "Study of classification of immunosensors from viewpoint of medical tasks", *Medical informatics and engineering*, No. 1 (41), P. 13–19. DOI: <https://dx.doi.org/10.11603/mie.1996-1960.2018.1.8887>.
7. Martsenyuk, V. P., Klos-Witkowska, A., Sverstiuk, A. S., Bihunyak, T. V. (2018), "On principles, methods and areas of medical and biological application of optical immunosensors", *Medical informatics and engineering*, № 2 (42), P. 28-36. DOI: <https://dx.doi.org/10.11603/mie.1996-1960.2018.2.9289>.
8. Martsenyuk, V., Andrushchak, I., Zinko, P., Sverstiuk, A. (2018), "On Application of Latticed Differential Equations with a Delay for Immunosensor Modeling", *Journal of Automation and Information Sciences*, Vol. 50, Issue 6, P. 55–65. DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v50.i6.50.
9. Moyna, C, Ybarra, G. (2012), "Fundamentals and applications of immunosensors", *Advances in immunoassay technology*, P. 65–80.
10. Klos-Witkowska, A. (2016), "The phenomenon of fluorescence in immunosensors", *Acta Biochimica Polonica*, Vol. 63, NO. 2, P. 215–221. DOI: 10.18388/abp.2015_1231.
11. Internet-resurs: <https://www.redblobgames.com/grids/hexagons/>.
12. McCluskey, C. C. (2010), "Complete global stability for an SIR epidemic model with delay — distributed or discrete", *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, Vol. 11, No. 1, P. 55–59. DOI: 10.1016/j.nonrwa.2008.10.014.
13. Nakonechny, A, Marzeniuk, V. (2006), "Uncertainties in medical processes control", *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Vol. 581, P. 185–192. DOI: 10.1007/3-540-35262-7_11. [Online], available at : https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-53749093113&doi=10.1007%2f3-540-35262-7_11&partnerID=40&md5=03be7ef103cbbc1e94cacbb471daa03f.
14. Marzeniuk, V. (2001), "Taking into account delay in the problem of immune protection of organism", *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, Vol. 2, No. 4, P. 483–496. DOI: 10.1016/S1468-1218(01)00005-0. [Online], available at : <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0041331752&doi=10.1016%2fS1468-1218%2801%2900005-0&partnerID=40&md5=9943d225f352151e77407b48b18ab1a9>.
15. Prindle, A, Samayoa, P, Razinkov, I, Danino, T, Tsimring, L.S, Hasty, J. (2011), "A sensing array of radically coupled genetic 'biopixels'", *Nature*, Vol. 481, No. 7379, P. 39–44. DOI: 10.1038/nature10722.
16. Martsenyuk, V, Klos-Witkowska, A, Sverstiuk, A. (2018), "Stability, bifurcation and transition to chaos in a model of immunosensor based on lattice differential equations with delay", *Electronic Journal of Qualitative Theory of Differential Equations*, No. 27, P. 1–31. DOI: 10.14232/ejqtde.2018.1.27.
17. Martsenyuk, V., Klos-Witkowska, A., Sverstiuk, A., Bagrii-Zayats, O., Bernas, M. (2018), "On modelling predator-prey cellular automaton with help of lattice differential equations with time dilay", *Advances in biotechnology, 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018. Nano, bio, green and space technologies for a sustainable, 2th-8th of July, Albena, Bulgaria*, Vol. 18, Issue 6.2, P. 407–414.
18. Hofbauer, J, Iooss, G. (1984), "A hopf bifurcation theorem for difference equations approximating a differential equation", *Monatshefte fur Mathematik*, Vol. 98, No. 2, P. 99–113.

Received 03.03.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Марценюк Василь Петрович – доктор технічних наук, професор, Університет в Бельско-Бялій, професор кафедри інформатики та автоматики, Бельско-Бяла, Польща, e-mail: vmartsenyuk@ath.bielsko.pl; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5622-1038>.

Марценюк Василий Петрович – доктор технических наук, профессор, Университет в Бельско-Бялой, профессор кафедры информатики и автоматики, Бельско-Бяла, Польша.

Martsenyuk Vasyi – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, University of Bielsko-Biala, Professor at the Department of Informatics and Automatics, Bielsko-Biala, Poland.

Сверстюк Андрій Степанович – кандидат технічних наук, доцент, Тернопільський державний медичний університет імені І. Я. Горбачевського, доцент кафедри медичної інформатики, Тернопіль, Україна; e-mail: sverstyuk@tdmu.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8644-0776>.

Сверстюк Андрей Степанович – кандидат технических наук, доцент, Тернопольский государственный медицинский университет имени И. Я. Горбачевского, доцент кафедры медицинской информатики, Тернополь, Украина.

Sverstiuk Andriy – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, I. Y. Gorbachevsky Ternopil State Medical University, Associate Professor at the Department of Medical Informatics, Ternopil, Ukraine.

КИБЕР-ФИЗИЧНА МОДЕЛЬ ІМУНОСЕНСОРНОЇ СИСТЕМИ НА ГЕКСАГОНАЛЬНІЙ РЕШІТЦІ З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИЦЕВИХ РІВНЯНЬ ПОПУЛЯЦІЙНОЇ ДИНАМІКИ

Предметом дослідження є моделі кібер-фізичних імуносенсорних систем. **Мета** роботи – створення та дослідження стійкості кібер-фізичної моделі імуносенсорної системи на гексагональній решітці з використанням різницевих рівнянь. В статті вирішуються наступні **завдання**: розробка функціональної схеми та кібер-фізичної моделі імуносенсорної системи; створення дискретної динаміки досліджуваної системи; розробка динамічного логічного моделювання кібер-фізичної імуносенсорної системи; визначення постійних станів для дослідження стійкості моделі імуносенсора на гексагональній решітці; аналіз результатів чисельного моделювання кібер-фізичної моделі імуносенсорної системи у вигляді зображення фазових площин, ймовірності контакту антигенів з антитілами, решітчастих зображень ймовірності зв'язків антигенів з антитілами та електричного сигналу з перетворювача, який характеризує кількість флуоресціюючих пікселів. Використовуються такі **методи**: методи математичної статистики та випадкових процесів, методи теорії оптимізації та дослідження операцій. Отримано наступні **результати**: Розроблено кібер-фізичну модель імуносенсорної системи на гексагональній решітці з використанням різницевих рівнянь, яка враховує наявність колоній антигенів та антитіл, що локалізовані у пікселях, а також дифузію колоній антигенів між пікселями. Описано дискретну динаміку популяцій у поєднанні з динамічною логікою. Введено клас різницевих рівнянь із запізненням в часі для моделювання взаємодії “антиген-антитіло” в пікселях імуносенсора. Досліджено стійкість кібер-фізичної моделі імуносенсорної системи за допомогою пакету R. Отримано результати чисельного моделювання у вигляді зображення фазових площин, ймовірності контакту антигенів з антитілами, решітчастих зображень ймовірності зв'язків антигенів з антитілами та електричного сигналу з перетворювача, який характеризує кількість флуоресціюючих пікселів. Запропоновано ідентичний та ендемічний стійкі стани кібер-фізичної моделі імуносенсорної системи на гексагональній решітці з використанням різницевих рівнянь популяційної динаміки. **Висновки**: Проведено чисельне моделювання розробленої кібер-фізичної моделі імуносенсорної системи. Встановлено що її якісна поведінка суттєво залежить від часу імунної відповіді r . Електричний сигнал, що моделюється кількістю імунопікселів, які флуоресціюють, є важливим при проектуванні кібер-фізичних імуносенсорних систем та дослідженнях їх стійкості. Граничний цикл або стійкий фокус визначають відповідний вигляд імуносенсорного електричного сигналу. Висновок про стійкість імуносенсорів зроблено на основі решітчастого зображення пікселів, що флуоресціюють. Отримані експериментальні результати дозволили виконати повний аналіз стійкості моделі імуносенсора з врахуванням запізнення в часі.

Ключові слова: кібер-фізична модель; імуносенсорна система; біосенсор; імуносенсор; стійкість моделі; різницеві рівняння; гексагональна решітка.

КИБЕР-ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИМУНОСЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ НА ГЕКСАГОНАЛЬНОЙ РЕШЁТКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗНОСТНЫХ УРАВНЕНИЙ ПОПУЛЯЦИОННОЙ ДИНАМИКИ

Предметом исследования являются модели кибер-физических иммуносенсорных систем. **Цель** работы – создание и исследование устойчивости кибер-физической модели иммуносенсорной системы на гексагональной решётке с использованием разностных уравнений. В статье решаются следующие **задачи**: разработка функциональной схемы и кибер-физической модели иммуносенсорной системы; создание дискретной динамики исследуемой системы; разработка динамического логического моделирования кибер-физической иммуносенсорной системы; определение постоянных состояний для исследования устойчивости модели иммуносенсора на гексагональной решётке; анализ результатов численного моделирования кибер-физической модели иммуносенсорной системы в виде изображения фазовых плоскостей, вероятности контакта антигенов с антителами, решётчатых изображений вероятности связей антигенов с антителами и электрического сигнала с преобразователя, который есть характеристикой количества флуоресцирующих пикселей. Используются следующие **методы**: методы математической статистики и случайных процессов, методы теории оптимизации и исследования операций. Получены следующие **результаты**: Разработано кибер-физическую модель иммуносенсорной системы на гексагональной решётке с использованием разностных уравнений, учитывающей наличие колоний антигенов и антител, которые локализованы в пикселях, а также диффузию колоний антигенов между пикселями. Описанная дискретная динамика популяций в сочетании с динамической логикой. Введено класс разностных уравнений с запаздыванием во времени для моделирования взаимодействия “антиген-антитело” в пикселях иммуносенсора. Исследована устойчивость кибер-физической модели иммуносенсорной системы с помощью пакета R. Полученные результаты численного моделирования в виде изображения фазовых плоскостей, вероятности контакта антигенов с антителами, решётчатых изображений вероятности связей антигенов с антителами и электрического сигнала с преобразователя, характеризующий количество флуоресцирующих пикселей. Предложено идентичное и эндемическое устойчивые состояния кибер-физической модели иммуносенсорной системы на гексагональной решётке с использованием разностных уравнений популяционной динамики. **Выводы**: Проведено численное моделирование разработанной кибер-физической модели иммуносенсорной системы. Установлено, что ее качественное поведение существенно зависит от времени иммунного ответа r . Электрический сигнал, моделируется количеством имунопикселей, которые флуоресцируют, является важным при проектировании кибер-физических иммуносенсорных систем и исследования их устойчивости. Предельный цикл или устойчивый фокус определяют соответствующий вид иммуносенсорного электрического сигнала. Вывод об устойчивости иммуносенсора сделано на основе решётчатого изображения пикселей, что флуоресцируют. Полученные экспериментальные результаты позволили выполнить полный анализ устойчивости модели иммуносенсора с учетом опоздания во времени.

Ключевые слова: кибер-физическая модель; иммуносенсорна система; биосенсор; иммуносенсор; устойчивость модели; разностные уравнения; гексагональная решётка.

T. MOMOT, O. VASHCHENKO, R. TESLENKO, D. MOMOT

STRATEGIC MONITORING OF THE EXTERNAL ENVIRONMENT IN THE SYSTEM OF ENSURING THE FINANCIAL AND ECONOMIC SECURITY OF THE STATE, REGION, ENTERPRISE

The **subject** of the study in the article is a comprehensive analysis of the external environment in terms of the country's competitiveness. The **goal** of the work is to substantiate the scientific and methodological foundations of a comprehensive analysis of the external environment according to the level of a country's competitiveness within the framework of strategic monitoring in the system of ensuring the financial and economic security of the state, the region, and business entities. The following **tasks** were solved in the article: reasonably hierarchical relations in the process of strategic monitoring implementing in the financial and economic security ensuring system of the state, region, business entities; reviewed the hierarchy of strategic monitoring levels in the system of national economic security; characterized by information flows of the strategic monitoring organization levels; describes the process of using information by economic entities at various levels of government in order to implement strategic monitoring; systematized international approaches to the construction of competitiveness countries ratings; analyzed the place of Ukraine in international competitiveness ratings. The following **methods** are used: abstract logical analysis, theoretical generalization, system and statistical analysis. The following **results** were obtained: we proved that the strategic monitoring at the regional and local levels, as a rule, has hierarchical relationship with the inherent characteristics of all hierarchical systems; the economic security of any economic entity is formed under the influence of environmental factors at the global, national and regional levels; a country's competitiveness is considered as a set of properties inherent in the national economy, which determine a country's ability to compete with other countries; according to the analysis of key international ratings of competitiveness of the country, Ukraine first of all needs to concentrate its efforts on fighting against corruption and rational macroeconomic policies implementing. **Conclusions:** strategic monitoring in the system of the financial and economic security ensuring of the state, region, business entities in the framework of conducting a system analysis and forecasting changes in the global competitiveness of countries should be a significant measure of the system-integrated implementation to counter existing threats to ensure the state national interests protection as the basis viability and conditions for further progressive country development.

Keywords: strategic monitoring; country competitiveness; financial and economic security; international competitiveness ratings; comprehensive analysis.

Introduction

The consolidation of Ukraine's course towards the North Atlantic Alliance and the European Union in the Constitution of Ukraine defined the country's foreign policy strategy. The choice of a development vector towards a European civilization model contributes to progress in all spheres of society and the state, approximates the standards of democracy, the information society, a competitive and socially oriented market economy based on the principles of the rule of law and the safeguarding of human and civil rights and freedoms. Due to the urgent need to ensure national security, the establishment and development of an integrated system of strategic monitoring and audit support for the establishment of the organizational and legal framework for the development of the sphere of security according to European standards, blocking the preconditions for the criminalization of economic relations and creating a favorable investment climate is seen as a priority task. Considering the importance of adapting the system of financial and economic security of the state, region, business entities of Ukraine to the international security space, the important task is the development and practical implementation of European tools for evaluating and strategic monitoring of the level of financial and economic security, a systematic analysis of corruption risks, combining efforts and ensuring effective interaction on the implementation of state anti-corruption policy in the development of the European vector of foreign policy.

Analysis of recent research and publications

The importance of the question of the financial and economic security of the state, the region, economic entities in the modern conditions is substantiated in the works of such scholars as Bilik R. I. [1], Vlasyuk O. S. [2], Krylenko I.V. [3] Muntian V.I. [4], V.B. Podborsky [5], Sak T.V. [6], Timoshenko O.V. [7] and others.

The works of scientists substantiate the fundamental aspects of the system of ensuring financial and economic security, which helps to improve the tools for assessing the level of financial and economic security of the state, region and economic entities in accordance with the parameters of the dynamic environment and causes the relevance of the study of this problem.

In the circumstances necessary and timely, research and improvement of the process of implementing strategic analytics and audit support in the system of providing financial and economic security of Ukraine in the context of the application of European standards of security and anti-corruption management.

Formulating the goals of the article (statement of the task)

The aim of the work is to deepen the scientific and methodical principles of a comprehensive analysis of the environment on the level of competitiveness of the country in the framework of strategic monitoring in the system of ensuring financial and economic security of the state, region, economic entities. Achievement of the set

goal set the following tasks: to substantiate the hierarchy of connections in the process of strategic monitoring in the system of providing financial and economic security of the state, region, economic entities; to consider the hierarchy of levels of strategic monitoring in the system of national economic security; to detail information flows of levels of organization of strategic monitoring; describe the process of using information by economic entities at the micro, meso and macro levels in order to carry out strategic monitoring and management; systematize international approaches to constructing country competitiveness ratings; to analyze Ukraine's place in international competitiveness ratings.

Materials and methods

Theoretical and methodological basis of the research were the scientific works and informational and analytical materials of the leading domestic scientists and foreign scientists-economists in the field of analysis of the environment on the level of competitiveness of the country. In the course of the research, the following methods were used: abstract-logical analysis - for a theoretical generalization and justification of research directions and results; theoretical generalization - to study the features of the analysis of the environment on the level of competitiveness of the country using international ratings; system and statistical analysis - for the analysis of Ukraine's rating by international competitiveness indices.

Presentation of the main research material

At various levels of managerial decision making, there is always a significant number of problem situations that are characterized by high uncertainty of occurrence; considerable complexity and uniqueness of the conditions; a large number of parameters that need to be taken into account during their analysis; contradictory criteria for selecting an optimal alternative solution to the problem; the complexity of predicting the consequences of implementing possible alternatives; limited time to decide.

Based on the peculiarities of the emerging problems, the urgent need is to create an effective system of strategic monitoring of economic security at the state, regional and local levels as an integrated system of strategic research that is designed to monitor, analyze and evaluate the real-time environment, forecast trends in the development of individual components of the environment, diagnostics, the state of the environment and the choice of means to regulate deviations of the actual state of the environment from the predicted [8].

An important element for strategic monitoring is the regulatory environment [9] both at the level of legislative acts and at the level of individual scientific developments. In today's very difficult economic conditions of Ukraine, this is particularly important with the strengthening of the role of various examinations, methods of assessing the current and future state of objects at different levels of economic development management, because the possession of reliable and relevant information, along with the ability to maximize the use of adequate methods of its

collection, processing, analysis and presentation are the basis of effective activity of the state, the region and business entities.

Such work at the state, regional and local levels, as a rule, has a hierarchical relationship with the characteristics inherent in all hierarchical systems [10], which include:

- sequential vertical subordination of subsystems forming this system (vertical decomposition);
- priority of actions or right of intervention of top-level subsystems;
- dependence of actions of subsystems of the top level on the actual execution of subsystems of the lower level of their functions.

In this case, the system or subsystem is considered as a process of converting input parameters into output ones.

On the basis of the above provisions, we consider it appropriate to identify a hierarchy of levels of strategic monitoring in the system of national economic security, namely (fig. 1):

- mega level (global or world level);
- macro level (state, national level);
- meso level (regional level);
- micro level (local level, level of subjects).

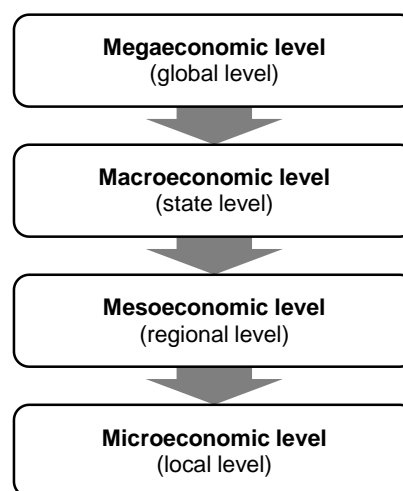


Fig. 1. The hierarchy of levels of strategic monitoring

The formation of information flows should be carried out at all levels. Accordingly, the levels of strategic monitoring organizations are characterized by:

- quantitative and qualitative composition of the analyzed information;
- the nature of the self-organization of this level of activity, the degree of its centralization (decentralization);
- the ratio of economic and administrative (non-economic) mechanisms of regulation of activities of entities of this level;
- the nature of relations between actors (relations of the hierarchy, equality, etc.);
- the reaction rate of subjects of this level of activity on the influence of factors of the environment;
- the characteristics of the flows of information that function at this level of the hierarchy (volume, diversity, complexity);
- the potential ("throughput") of subjects of the given level of the hierarchy in the field of collection, processing, storage and transmission of information [11].

In addition, the organization of activities at a certain level of management hierarchy:

- primarily aimed at ensuring the sustainable development of subjects of this level;
- associated with activities on the higher and lower levels of the hierarchy by a system of direct and inverse relationships;

- to a certain extent, affects the activity of the lower level of the hierarchy, and in its turn, its effectiveness at this level depends on the effectiveness of the organization of the lower level of activity [11].

The process of using information of economic entities on the micro, meso and macro levels for the purpose of strategic monitoring and management is schematically shown in fig. 2.

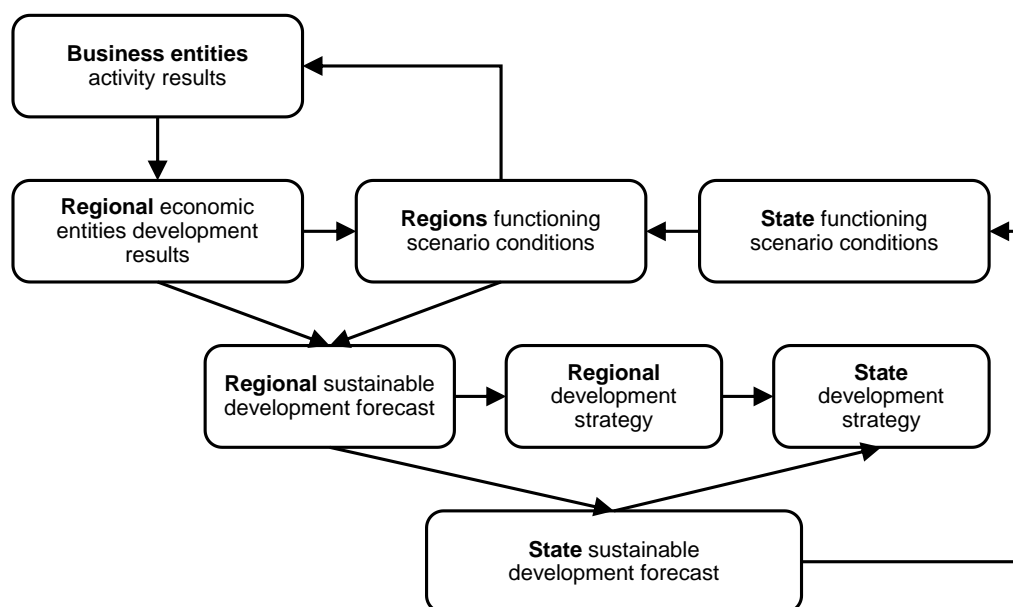


Fig. 2. The process of using information of economic entities of different levels for the purpose of strategic monitoring and management

Thus, the economic security of an entity is shaped by the influence of environmental factors at the global, national and regional levels.

One of the key characteristics of the modern development of global economic processes is globalization. The interdependence of national economies and the interconnection of socio-economic processes in different regions of the world are constantly increasing, which in fact determines the expediency of the analysis of

environmental factors at the world level on the level of competitiveness of the country.

At the same time, the competitiveness of the country is considered as a set of properties inherent in the national economy, which determine the ability of the country to compete with other countries. The level of competitiveness of a country is determined by the different methods presented in table 1.

Table 1. International Competitiveness Ratings: Systematizing Approaches

Name of rating and the position of Ukraine	Description	Structure
The Global Competitiveness Index, Ukraine is ranked 83 out of 140 (according to The Global Competitiveness Report 2018).	Developed by the World Economic Forum (WEF), Switzerland. Represents one of the most complete complexes of competitiveness indicators in different countries of the world.	98 indicators divided into 12 groups: quality of institutions, infrastructure, macroeconomic stability, health and primary education, higher education and vocational training, efficiency of the goods and services market, labor market efficiency, financial market development, technological development level, size the domestic market, the competitiveness of companies, the innovation potential.
World Competitiveness Ranking – Ukraine is ranked 59th out of 63 (according to World Competitiveness Rankings 2018).	Published by the World Competitiveness Center at the Institute for Management Development (Switzerland) in the World Competitiveness Yearbook.	More than 340 indicators according to 52 research institutes in the world, divided into 4 groups: state of the economy, government efficiency, state of the business environment, state of infrastructure.
The Global Sustainable Competitiveness Index - Ukraine is ranked 91st out of 180 (according to The Global Competitiveness Report 2017).	Designed by the Swiss-Korean Joint Venture SolAbility. Measures the current and future capabilities of national economies to generate and / or maintain financial and non-financial incomes and wealth of their populations.	111 indicators based on World Bank, International Monetary Fund and UN data are aggregated into 5 subindices: natural capital, social capital, resource management, intellectual management, and government efficiency.

The end of the **Table 1**

Ease of Doing Business Index – Ukraine is ranked 71st out of 190 (according to Doing Business 2019).	Created by the World Bank Group. Allows you to objectively evaluate the legislation related to business regulation, and its application in 190 countries, as well as in selected cities and regional levels.	Analyzes the legal rules applicable to enterprises in 11 areas: establishment of enterprises, obtaining construction permits, connection to the electricity supply system, registration of property, obtaining loans, protection of minority investors, taxation, international trade, enforcement of contracts, insolvency and regulation the labor market.
Index of Economic Freedom - Ukraine is ranked 147th out of 180 and is in a group of countries with a "mostly non-free economy" (according to the 2019 Index of Economic Freedom).	Calculated by the American research center The Heritage Foundation in collaboration with The Wall Street Journal and assesses the level of liberalization of the interaction between the state and business. All countries of the world are divided into 5 contingent groups - "with a free economy", "with a predominantly free economy", "with a moderately free economy", "mostly non-free economy" and "with a non-free economy".	12 quantitative and qualitative indicators (formerly 10), grouped under the four components of economic freedom: the rule of law; government restrictions; regulatory efficiency; market openness. The index takes values from 0 (worst value) to 100 (best).

The Global Competitiveness Index GCI 4.0 [12], almost 40 years after the first annual assessment of the world economy, is estimated by the World Economic Forum on a new methodology that allows the fullest possible account to be taken of the impact of the fourth industrial revolution on the development of economies in the world in 12 groups: environmental friendliness (institutions, infrastructure, implementation of ICT, macroeconomic stability); human capital (health, qualification); markets (market of goods, labor market, financial system, market capacity); ecosystem innovation

(business dynamics, innovation capacity). The average score of GCI 4.0 for the world economy in 2018 is 60.40 points. The first place in the rating is occupied by the United States. They are followed by Singapore, Germany, Switzerland, Japan, the Netherlands, Hong Kong, the United Kingdom, Sweden and Denmark. The last place in the ranking is occupied by Haiti, Yemen and Chad.

The positions of Ukraine in comparison with some countries of the world under the index GCI 4.0 is given in the table 2.

Table 2. Positions of Ukraine and some countries of the world according to the Global Competitiveness Index

States	2012 (among 144 countries)	2013 (among 148 countries)	2014 (among 144 countries)	2015 (among 140 countries)	2016 (among 138 countries)	2017 (among 137 countries)	2018 (among 140 countries)
Ukraine	73	84	76	79	85	81	83
Georgia	77	72	69	66	59	67	66
Russia	67	64	53	45	43	38	43
Turkey	43	44	45	51	55	53	61
Poland	41	42	43	41	36	39	37

Poland is in the 37th place, Hungary is 48, Slovakia – 41, Romania – 52, Turkey – 61, Moldova – 88. Russia is ranked the 43rd place, rising by two lines compared to last year.

The components that reduce Ukraine's performance were Macroeconomic Stability (131st place), Financial System (117th place) and Institutions (110th place). Among the indicators for which Ukraine received low marks, in particular, are: the impact of organized crime on the cost of doing business, the level of inflation (average for 2016-2017 years), the dynamics of debt, taking into account the country's credit rating, the level of terrorism, the independence of the judicial system, protection property rights, road quality, the impact of taxes and subsidies on competition, the flexibility of setting salaries, financing small and medium-sized businesses, the reliability of banks, the share of problem loans, the growth rate of innovation companies.

IMD's global competitiveness rating [13] is based on the assessment of the state of the country's economy, the

efficiency of public authorities, the state of the business environment and the state of infrastructure. The first place in the 2018 ranking was the United States. Ex-Hong Kong ranked the second. Three leaders, like last year, are completing Singapore. Ukraine has moved from the 60th to 59th place from 63 countries and three positions ahead of Mongolia and still lags behind Russia by 14 positions.

The Global Sustainable Competitiveness Index [14] is developed by the Swiss-Korean joint venture SolAbility to assess the current and future ability of countries and their economies to create and maintain financial and non-financial income for their populations. In the ranking for this index, Ukraine ranked 91st out of 180.

According to the Index of ease of doing business [15], Ukraine ranks 71st out of 190 countries (between Kyrgyzstan and Greece), which is 5 positions higher compared to the Doing Business-18 ranking.) Ukraine ranks the 71st out of 190 countries (between Kyrgyzstan and Greece), which is 5 positions higher in comparison with the rating of Doing Business-2018. Ukraine has

shown the greatest growth in the nominations for "international trade" and "fulfillment of contractual obligations". New Zealand (86.59 points), Singapore (85.24) and Denmark (84.64) ranked the top three leaders in the ranking of ease of doing business.).

The Index of Economic Freedom [16] is an instrument for in-depth analysis of economies around the world and is calculated by the American research center The Heritage Foundation in collaboration with The Wall Street Journal on the basis of 12 indicators, grouped into four broad categories, or pillars of economic freedom. According to the results of the full ranking, all countries in this index are divided into 5 conditional groups - "with a free economy", "with a predominantly free economy", "with a moderately free economy", "mostly non-free economy" and "with a non-free economy". The first group

of countries with a free economy included countries that scored more than 80 points: Hong Kong, Singapore, New Zealand, Switzerland, Australia and Ireland. Recent ranking positions were taken by Nigeria, Sudan, Chad, Central African Republic, Angola, Ecuador, Suriname, Timor-Leste, Togo, Turkmenistan, Mozambique, Djibouti, Algeria, Bolivia, Zimbabwe, Equatorial Guinea, Eritrea, Congo, Cuba, Venezuela and North Korea. as countries where economic freedom is suppressed or absent altogether.

According to this year's study, Ukraine scored 52.3 points out of 100 possible and ranked the 147th out of 180 countries (the last position among 44 European countries) in a group of countries with a "mostly non-free economy". The dynamics of the index of economic freedom of Ukraine is shown in fig. 3.

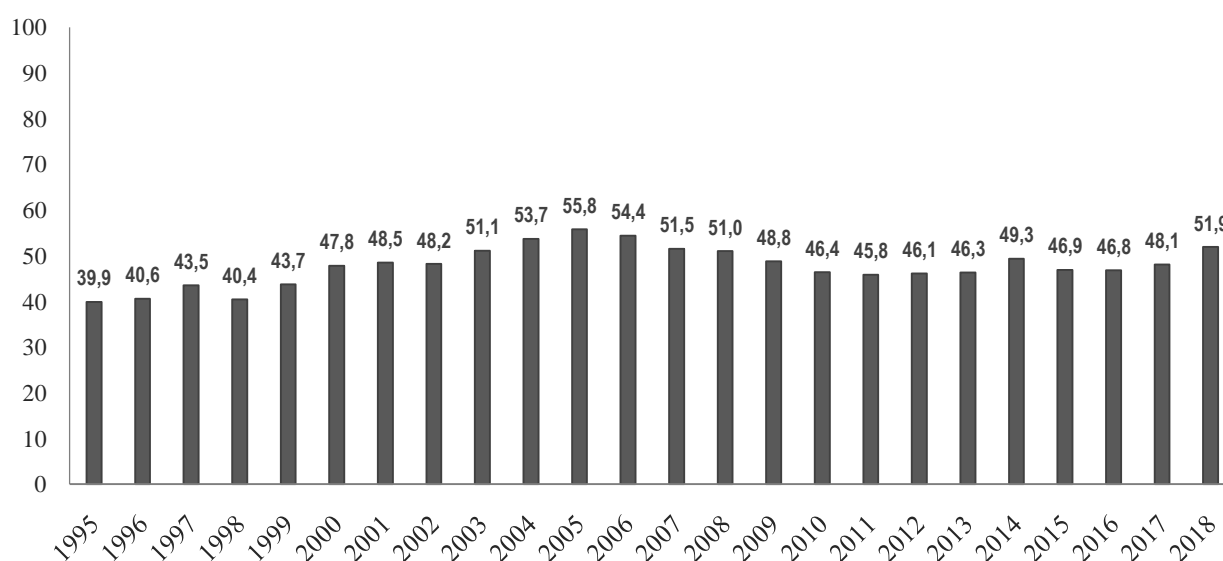


Fig. 3. The dynamics of the index of economic freedom of Ukraine for 1995-2018 years

Over the past year, the Index of Economic Freedom of Ukraine has grown by 3.8 points, thanks to positive changes in the assessment of monetary freedom and freedom of investment. Instead, three indicators of Ukraine are rated worse than last year, namely property rights, government integrity and freedom of trade, indicating the need to fight corruption, capital markets, privatization of state-owned enterprises, and the improvement of the legislative framework and the rule of law.

Conclusions from this study

In the context of the main trends of globalization, the effectiveness of ensuring national security, including the fight against international terrorism, cross-border crime; migration regulation; provision of social services; market regulation; control over the extraction of natural resources, etc., is based on the active participation of the country in the regional and global integration processes.

In this regard, the problems of research into threats to national interests and national security of Ukraine were reformed to reform all spheres of public life within the

framework of the European integration course. First of all, global trends are potentially sources of threats to national security. These include: the intensification of competition between world centers of force, the strengthening of competition for raw materials resources for access to them and control over the routes of their delivery to the consumption markets; intensification of labor migration;

Thus, according to the results of the study, the hierarchical structure and functional content of the strategic monitoring information system was improved to ensure the financial and economic security of the state, region, economic entities taking into account international competitiveness ratings of the countries by identifying the sources of threats (both internal and external) national Ukraine's security and Ukraine's positioning on components of world-class competitiveness in comparison with other countries. Such an approach allows determining the ways of increasing competitive advantages for the formation of strategic priorities for ensuring economic security of economic entities in the conditions of Ukraine's integration into European political, economic, security, legal space, membership of

the European Union and the North Atlantic Treaty Organization, the development of equal, mutually beneficial relations with other states.

In the context of the current challenges and threats to regional security, Ukraine's cooperation with regional partners in implementing sound macroeconomic policies and restoring confidence in the financial sector is the most important priority of foreign policy. According to international competitiveness ratings, it is first of all necessary to concentrate efforts on combating corruption, which is defined in Article 3 of the Association

Agreement with the EU as one of the main principles for strengthening relations between Ukraine and the EU.

Strategic monitoring in the system of providing financial and economic security of the state, region, business entities within the framework of system analysis and forecasting changes in global competitiveness of the world should become a significant measure of the system and complex implementation of the system of counteracting threats to ensure the protection of the realization of the national interests of the state as the basis viability and conditions for further progressive development of our country.

References

1. Bilyk, R. I. (2013), "Economic security of the region in the system of modern regional policy of Ukraine" ["Ekonomiczna bezpeka rehionu u systemi suchasnoi rehionalnoi polityky Ukrainy"], *Visnyk Akademii pratsi i sotsialnykh vidnosyn Federatsii profspilok Ukrainy*, No. 2, P. 31–37.
2. Vlasiuk, O. S. (2010), *State economic security system [Systema ekonomichnoi bezpeky derzhavy]*, Stylos, Kyiv, 684 p.
3. Krylenko, I. V. (2013), "Economic security of the region as a component of national economic security" ["Ekonomiczna bezpeka rehionu yak skladova zabezpechennia natsionalnoi ekonomichnoi bezpeky"], *Efektivna ekonomika*, available at : <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1779> (last accessed 01.03.2019).
4. Muntian, V. I. (1999), *Economic security of Ukraine [Ekonomiczna bezpeka Ukrainy]*, KVITs, Kyiv, 462 p.
5. Predborskyi, V. A. (2005), *Economic security of the state : a monograph [Ekonomiczna bezpeka derzhavy : monohrafiia]*, Kondor, Kyiv, 391 p.
6. Sak, T. V. (2013), "Economic security of Ukraine: concept, structure, main tendencies" ["Ekonomiczna bezpeka Ukrainy: poniattia, struktura, osnovni tendentsii"], *Innovatsiina ekonomika*, No. 6 (44), P. 336–340.
7. Tymoshenko, O. V. (2016), *Economic security of the national economy in the globalization conditions : a monograph [Ekonomiczna bezpeka natsionalnoi ekonomiky v umovakh hlobalizatsii : monohrafiia]*, TOV "Nash format", Kyiv, 384 p.
8. Shershnova, Z. Ye. (2004), *Strategic Management : Textbook [Stratehichne upravlinnia : Pidruchnyk]*, 2nd ed., KNEU, Kyiv, 699 p.
9. Chekh, N. O., Vashchenko, O. M. (2017), "Regulatory environment of business activities in Ukraine", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (1), P. 124–129. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.124>.
10. Mesarovich, M., Mako, D., Takahara, I. (1973), *Theory of Hierarchical Multilevel Systems [Teoriya ierarkhicheskikh mnogourovnevnykh sistem]*, Mir, Moscow, 344 p.
11. Kulytskyi, S. P. (2002), *Fundamentals of information management in the field of management : Teaching manual [Osnovy orhanizatsii informatsiinoi diialnosti u sferi upravlinnia : Navch. posib.]*, MAUP, Kyiv, 224 p.
12. The Global Competitiveness Report 2018, available at : <http://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2018> (last accessed 01.03.2019).
13. World Competitiveness Ranking 2018, available at : <http://www.imd.org/wcc/world-competitiveness-center-rankings/world-competitiveness-ranking-2018/> (last accessed 01.03.2019).
14. The Global Sustainable Competitiveness Index, available at : <http://solability.com/the-global-sustainable-competitiveness-index/the-index> (last accessed 01.03.2019).
15. Doing Business, available at : <http://www.doingbusiness.org/> (last accessed 01.03.2019).
16. 2019 Index of Economic Freedom, available at : <http://www.heritage.org/index/> (last accessed 01.03.2019).

Received 27.02.2019

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; e-mail: tvmomot@gmail.com; ORCID ID: <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 Kharkiv National University of Urban Economy, Head at the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Auditing, Kharkiv, Ukraine.

Вашенко Олександр Миколайович – кандидат економічних наук, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, доцент кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, Харків, Україна; e-mail: vashchenko_an@yahoo.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3027-7644>.

Вашенко Александр Николаевич – кандидат экономических наук, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, доцент кафедры финансово-экономической безопасности, учета и аудита, Харьков, Украина.

Vashchenko Oleksandr – PhD (Economics Sciences), O. M. Beketov National University of Urban Economy, Associate Professor at the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Auditing, Kharkiv, Ukraine.

Тесленко Роман Юрійович – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, аспірант кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, Харків, Україна; e-mail: roman.tslnk@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9008-2959>.

Тесленко Роман Юрьевич – Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, аспирант кафедры финансово-экономической безопасности, учета и аудита, Харьков, Украина.

Teslenko Roman – O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, Post-Graduate Student at the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Auditing, Kharkiv, Ukraine.

Момот Дарина Тарасівна – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, аспірант кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, Харків, Україна; e-mail: momotdaryna@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6026-541X>.

Момот Дарина Тарасовна – Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, аспирант кафедры финансово-экономической безопасности, учета и аудита, Харьков, Украина.

Momot Daryna – O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, Post-Graduate Student at the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Auditing, Kharkiv, Ukraine.

СТРАТЕГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА В СИСТЕМІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ, РЕГІОНУ, СУБ'ЄКТІВ ГОСПОДАРЮВАННЯ

Предметом дослідження в статті є комплексний аналіз зовнішнього середовища за рівнем конкурентоспроможності країни. **Мета** роботи – поглиблення науково-методичних засад комплексного аналізу зовнішнього середовища за рівнем конкурентоспроможності країни в рамках стратегічного моніторингу в системі забезпечення фінансово-економічної безпеки держави, регіону, суб'єктів господарювання. В статті вирішуються наступні **завдання**: обґрунтовано ієрархічність зв'язків у процесі здійснення стратегічного моніторингу в системі забезпечення фінансово-економічної безпеки держави, регіону, суб'єктів господарювання; розглянуто ієрархію рівнів стратегічного моніторингу в системі національної економічної безпеки; охарактеризовані інформаційні потоки рівнів організації стратегічного моніторингу; описано процес використання інформації економічними суб'єктами на різних рівнях управління з метою здійснення стратегічного моніторингу; систематизовано міжнародні підходи до побудови рейтингів конкурентоспроможності країн; проаналізовано місце України в міжнародних рейтингах конкурентоспроможності. Використовуються такі **методи**: абстрактно-логічний аналіз, теоретичного узагальнення, системного та статистичного аналізу. Отримано наступні **результати**: доведено, що стратегічний моніторинг на державному, регіональному та місцевому рівнях, як правило, має ієрархічний зв'язок з притаманними всім ієрархічним системам характеристиками; фінансово-економічна безпека будь-якого економічного суб'єкта формується під впливом факторів зовнішнього середовища глобального, національного та регіонального рівнів; конкурентоспроможність країни розглядається як сукупність властивостей, притаманних національній економіці, які визначають здатність країни конкурувати з іншими країнами; за результатами аналізу ключових міжнародних рейтингів конкурентоспроможності країни встановлено, що Україні для забезпечення фінансово-економічної безпеки на різних рівнях передусім необхідно сконцентрувати зусилля на боротьбі з корупцією та здійсненні раціональної макроекономічної політики. **Висновки**: стратегічний моніторинг в системі забезпечення фінансово-економічної безпеки держави, регіону, суб'єктів господарювання в межах проведення системного аналізу і прогнозування змін глобальної конкурентоспроможності країн світу має стати вагомим заходом системно-комплексної реалізації системи протидії наявним загрозам для забезпечення захисту реалізації національних інтересів держави як основи життєздатності та умови подальшого прогресивного розвитку країни.

Ключові слова: стратегічний моніторинг; конкурентоспроможність країни; фінансово-економічна безпека; міжнародні рейтинги конкурентоспроможності; комплексний аналіз.

СТРАТЕГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА, РЕГИОНА, ПРЕДПРИЯТИЯ

Предметом исследования в статье является комплексный анализ внешней среды по уровню конкурентоспособности страны. **Цель** работы – обоснование научно-методических основ комплексного анализа внешней среды по уровню конкурентоспособности страны в рамках стратегического мониторинга в системе обеспечения финансово-экономической безопасности государства, региона, субъектов хозяйствования. В статье решаются следующие **задачи**: обоснованно иерархичность связей в процессе осуществления стратегического мониторинга в системе обеспечения финансово-экономической безопасности государства, региона, субъектов хозяйствования; рассмотрена иерархия уровней стратегического мониторинга в системе национальной экономической безопасности; охарактеризованы информационные потоки уровней организации стратегического мониторинга; описан процесс использования информации экономическими субъектами на различных уровнях управления с целью осуществления стратегического мониторинга; систематизированы международные подходы к построению рейтингов конкурентоспособности стран; проанализировано место Украины в международных рейтингах конкурентоспособности. Используются следующие **методы**: абстрактно-логический анализ, теоретического обобщения, системного и статистического анализа. Получены следующие **результаты**: доказано, что стратегический мониторинг на региональном и местном уровнях, как правило, имеет иерархический характер связи с присущими всем иерархическим системам характеристиками; экономическая безопасность любого экономического субъекта формируется под влиянием факторов внешней среды глобального, национального и регионального уровней; конкурентоспособность страны рассматривается как совокупность свойств, присущих национальной экономике, которые определяют способность страны конкурировать с другими странами; по результатам анализа ключевых международных

рейтингов конкурентоспособности страны установлено, что Украине для обеспечения финансово-экономической безопасности на разных уровнях прежде всего необходимо сконцентрировать усилия на борьбе с коррупцией и осуществлении рациональной макроэкономической политики. **Выводы:** стратегический мониторинг в системе обеспечения финансово-экономической безопасности государства, региона, субъектов хозяйствования в рамках проведения системного анализа и прогнозирования изменений глобальной конкурентоспособности стран мира должен стать важным мероприятием системно-комплексной реализации противодействия имеющимся угрозам для обеспечения защиты реализации национальных интересов государства как основы жизнеспособности и важного условия дальнейшего прогрессивного развития страны.

Ключевые слова: стратегический мониторинг; конкурентоспособность страны; финансово-экономическая безопасность; международные рейтинги конкурентоспособности; комплексный анализ.

A. POPOV, A. YELIZYEVA, S. GUBKA, S. KRYIVULIA

DEVELOPMENT OF THE APPLICATION FOR THE INFORMATION SUPPORT OF LOGISTIC BUSINESS PROCESSES OF THE CONSTRUCTION SERVICES ON BUILDINGS INSULATION

The **subject** of the research is the methods and technologies of information support of logistic business processes of buildings facades insulation. The **goal** of the paper is to provide the information support to the companies that provide services for the buildings facades insulation. The following **problems** were solved: analysis of functionality the sites of the companies providing insulation services; formation of business process diagrams; database development; web application development for business processes informational support for buildings facades insulation. To solve these problems, **methods** of system analysis, set theory, database and web applications development technologies were used. The following **results** were obtained. Sites of companies providing the facades insulation services were analyzed and identified as for their advantages and disadvantages. The advantages of developing web applications compared to sites are considered. The model of logistic business processes for facade insulation is formed, which consists of three stages: preparatory, main and final. The set-theoretical description of the business process model components is given, which allows to determine the main components of the insulation process logistic support and to apply the calculation formulas for the corresponding information support module. The information support architecture for insulation business processes is developed, which consists of a database, a calculation module and a web application interface. The database structure is developed, which contains information about the company, the contractors for insulation, the necessary materials in stock, order and customer parameters. The web application development allows automating the information processing for the organization of work and providing the user with the ability to quickly place an order. **Conclusions:** information support of insulation logistic business processes ensures their maintenance at all stages of work through the timely preparation of an individual services list and checking the availability of necessary materials. The main result of the web application is the ability to automatically calculate the warming area and the order cost, taking into account the availability or purchase of the necessary materials, and the formation of an agreement between the customer and the company-performer on the basis of the selected parameters of the insulation service.

Keywords: business processes; building insulation; set-theoretical description; precedent diagram; system architecture; database; web application.

Introduction

The issue of insulation of facades becomes an important in connection with the increase in the cost of heating houses in winter. This reduces heat loss and therefore reduces heating costs. Today there are many companies providing such services that do not always meet all requirements for the execution of orders: no preliminary work to eliminate defects in the walls is carried out, cheap low-quality materials are used, etc. These disadvantages lead to the gradual destruction and deformation of the structure, as well as contribute to the appearance of fungal formations, which ultimately can cause collapse. To avoid such situations, it is necessary to form an individual list of works and materials that will be used for work in a timely manner, which requires considerable time. Information automated support of this process will reduce the time for material support [1].

Analysis of recent research and publications

When performing works on construction services, special attention should be paid to their timely implementation [2], which is impossible without logistic control methods [3]. This requires the development of an information support system using modern technology [3, 4].

Today, each company has its own website from which the user can obtain the information he needs. But

the growing popularity of using web applications is due to their benefits, the main of which are the following [5–7]:

- flexible data access;
- the guarantee of a safe user registration;
- support for all devices;
- faster user access to the necessary data in comparison with the site;
- quick user registration;
- applications run through the URL;
- support for all devices;
- web application development is more simple than website.

Thus, for convenient use, it is proposed to develop a mobile application that supports the logistics process of insulation of the facades of buildings.

Table 1 shows the comparative characteristics of the sites of firms providing services for insulation of houses exclusively in the city of Kharkov [8 – 11].

Based on the analysis, functional requirements for the web application were developed [1]:

- 1) review information about:
 - list of materials necessary for performance of installation works;
 - additional services (with possibility of demonstration of finished objects);
 - general information about the crew of climbers and their tolerances to high-altitude works;
- 2) the choice of the working components of insulation of the facade of the building;
- 3) the calculation of the cost of the order for the selected parameters.

Table 1. Comparative analysis of the sites of companies for insulation of walls

Name of the Company	Possibilities	Disadvantages
"VESTA"	- the price is set per square meter; - the choice of material; - drawing up a contract with a representative of the firm; - insulation of walls by the standard technology.	- absence of the choice of auxiliary material and coating; - the length of the order processing; - exceeding the time of execution of works; - lack of access to the material; - the contract is not complete.
"Albatros"	- the possibility of choosing the technology of insulation of walls; - drawing up a contract with a representative of the firm; - insulation of walls by the standard technology; - the possibility of performing work on a lifting machine.	- no billing; - lack of insulation of individual apartments.
"W-teple"	- drawing up a contract with a representative of the firm; - insulation of walls by standard technology; - provision of services for the purchase of foamed insulating plates.	- lack of the choice of material; - no tariffs set; - lack of access to the material. - the contract is not complete.
"TeploHata"	- the possibility of ordering different types of work; - insulation of walls by standard technology; - fixed price for services; - the scheme of work with the customer is shown.	- absence of the choice of auxiliary material; - absence of review of the performed works; - the lack of the ability to calculate the price of the order.

Materials and methods

Fig. 1 shows the scheme of logistics business processes providing services for the insulation of facades of houses in the form of a sequence of works, which can be divided into three stages:

- stage of preparation, that is, discussion of the details of the order, which begins with the receipt of the order;
- the main stage, that is, carrying out the necessary calculations;
- the final stage, that is, the conclusion of the contract and the conduct of insulation.

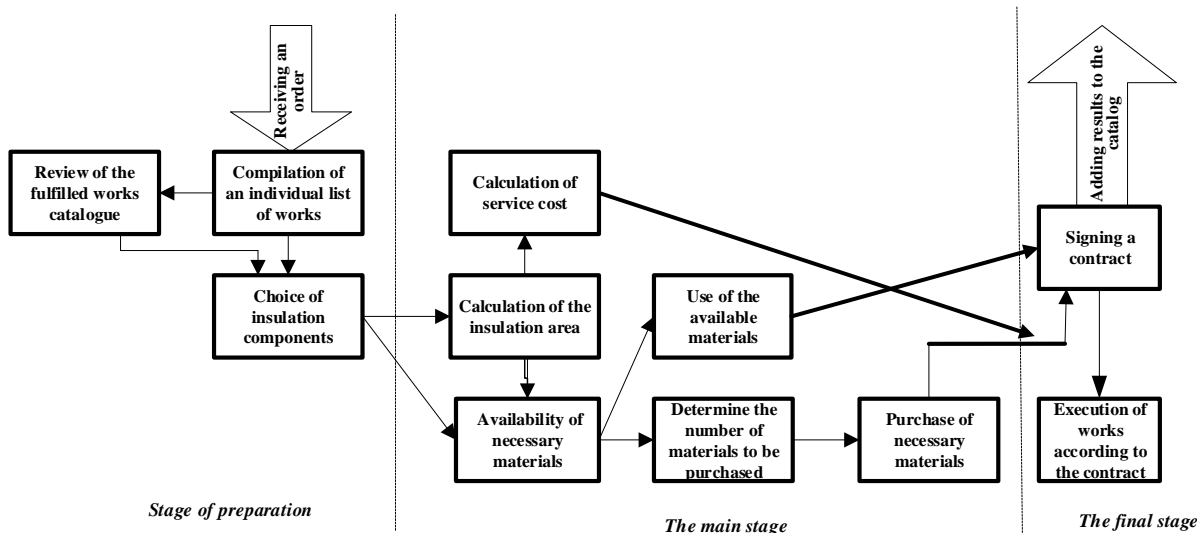


Fig. 1. Scheme of logistic business processes providing insulation services to the facade of the building

We give the set-theoretic representation of the model of business processes of providing the insulation services [1, 3, 4]:

$$Posl = (Pidgot, Osn, Zakl), \quad (1)$$

where *Pidgot* – preparation stage;
Osn – main stage;
Zakl – final stage.

We will decompose the processes of these stages into sub processes and separate works.

After receiving the order, the representative of the company goes to the object and agrees with the customer the details that correspond to the stage of preparation. Let's imagine this process as a set of sub processes:

$$Pidgot = (per_rob, vib_komp, per_inf), \quad (2)$$

where *per_rob* – preparation of an individual list of works;
vib_komp – selection of insulation components;
per_inf – the ability to view information about the work done, the brigade of masters, etc.

In turn, the choice of insulation components provides for the definition [12, 13]:

- type of insulation;
- type of dowels for mounting, which corresponds to the selected type of insulation;
- adhesive for reinforcing layer;
- facade mesh (fiberglass);
- reinforcing primer;
- decorative plaster;
- facade paint.

$$rozr_ob_komp = (rozr_ob_mat, rozr_ob_ut, rozr_ob_dm), \quad (5)$$

where *rozr_ob_mat* – determination of the materials amount *mat* to be purchased to complete the order;

rozr_ob_ut – determination of insulation material volume;

rozr_ob_dm – determination of the volume of additional materials (dowels, paint, etc.).

The result of the sub process of calculating components is a set of volumes of materials:

$$rozr_zam \Rightarrow zam = (pl + S_2) \cdot (var_mat + var_ut + var_rob) \cdot (var_mat + var_ut) + \sum_{i=1}^{n_3} var_i \cdot ob_dm_i, \quad (7)$$

where *var_mat* – the cost of the selected material for insulation;

var_ut – the cost of the selected insulation;

var_i – cost of the *i*-st additional material,

n₃ – quantity of additional materials;

kil_dmi – quantity of the *i*-st additional material;

var_rob – the cost of carrying out the work by a team of climbers;

pl – square of the insulated area;

S₂ – square of zones that are insulated by other materials (window slopes).

The sub process of checking the presence of material is decomposed into a set of such works:

$$nayav = (vik, viz_ob_komp_zak), \quad (8)$$

where *vik* – determination of materials that are present in the warehouse in full;

$$ob_mat_zak_i = ob_mat_i - ob_mat_skl_i, i = \overline{1, n_2}, n_2 + n_2' = n_2. \quad (10)$$

Thus, the result of the process of determining the required materials is the value:

$$nayav \Rightarrow ob_mat = \sum_{i=1}^{n_2'} ob_mat_i + \sum_{i=1}^{n_2''} ob_mat_zak_i. \quad (11)$$

Thus we have the third level – the decomposition of the sub process into separate work of the selection of materials:

$$vib_komp = (v_1, v_2, \dots, v_{n_1}). \quad (3)$$

The main stage can be represented as a set of calculated sub processes:

$$Osn = (rozr_pl, rozr_ob_komp, rozr_zam, nayav), \quad (4)$$

where *rozr_pl* – calculation of the square of the insulated aream *pl*;

rozr_ob_komp – calculation of the volume of components required for insulation;

rozr_zam – calculation of the cost of the order *zam*;

nayav – checking the availability of material in stock.

The sub process of calculating the components for insulation, in its turn, consists of the calculation of three components:

$$rozr_ob_komp \Rightarrow mat = (m_1, m_2, \dots, m_{n_2}). \quad (6)$$

The result of the sub process of calculating the cost of the order is the price, which contains the cost of all the necessary components and the costs of performing the volumes of the corresponding high-rise and installation works by the team. Thus,

viz_ob_komp_zak – determination of the amount of components that must be purchased to complete the order.

Determining the availability of necessary materials is as follows. If the condition is fulfilled

$$ob_mat_skl_i \geq ob_mat_i, i = \overline{1, n_2}, \quad (9)$$

where *ob_mat_i_skl* – the amount of the *i*-th material at the firm's warehouse;

ob_mati – the amount of the *i*-th material for insulation,

than for insulation the material from the warehouse is used.

If the condition (10) is not met, the volume of the *i*-th material for purchase *ob_mati_zak* is determined in the following way:

The final stage will be presented in the form of three sub processes:

$$Zakl = (ukl_dogov, zak, prov_rob), \quad (12)$$

where *ukl_dogov* – conclusion of the contract between the customer and the contractor;
zak – purchase of necessary materials and components,
prov_rob – work on the facade insulation.

After the work is finished, the result is saved in the catalog of completed orders.
Let's form a hierarchical structure of business processes according to the given sets (fig. 2.).

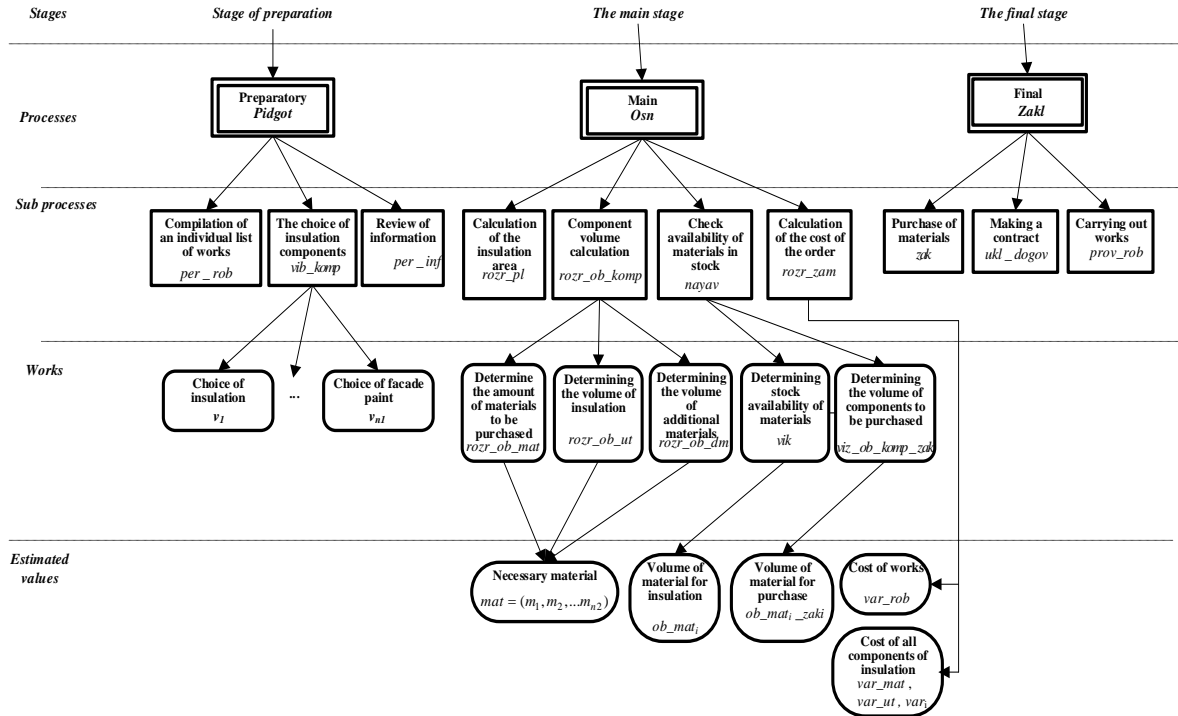


Fig. 2. Hierarchical structure of business processes providing services of insulation of the facade of the house

The presentation of these elements in the form of a set-theoretic description allows us to determine the main components of the logistics business processes of insulation of facades of houses, which are the basis for the development of the functional structure of the web application. The formalized representation of the calculated values allows to develop an algorithm of the calculation module and take into account

the storage of these values in the database.

Research results

For automated maintenance of logistic business processes of insulation, information support is required for each of the steps, set out in fig. 2. Based on this, we will form the architecture of the web application [14] (fig. 3).

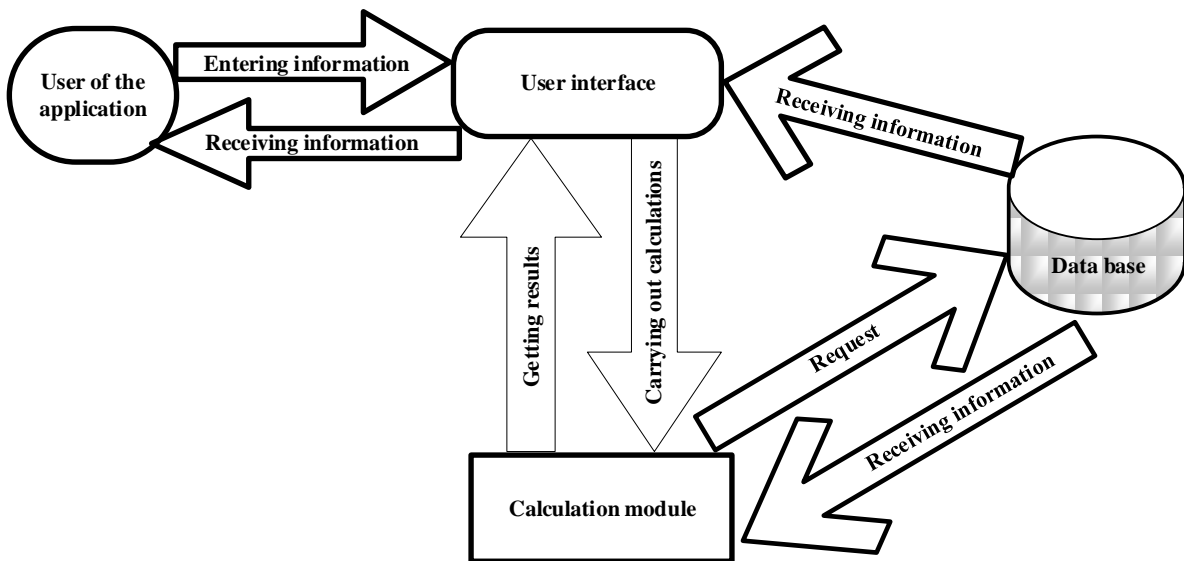


Fig. 3. Generalized architecture of web application for information support of logistics business processes

So, the architecture consists of such modules as:

- web application interface for automating the work of the company's employees;
- data base;
- calculation module for basic calculations and the formation of the invoice and the contract.

To develop a web application for information support, a client-server architecture was chosen, that is, a separate, sufficiently powerful and reliable server is allocated for the database (DB), network access to which is carried out by several users (employees and clients) [15]. This gives you the quick access to viewing the necessary data thanks to the user interface, which speeds up the work of the employee of the company and eliminates the need to return to the office with the necessary documents

Due to the simple architecture of the web application, the representative of the company without much effort is able to obtain information about the list of items stored in the DB, as well as to analyze and calculate the necessary costs for insulation, as well as to arrange a contract for the implementation of installation work by the team of climbers [14].

Fig. 4 shows the structure of the DB, which consists of nine tables that contain information about the following:

- general information about the firm providing services (table Firma);
- membership of the teams of craftsmen (table Brigada);

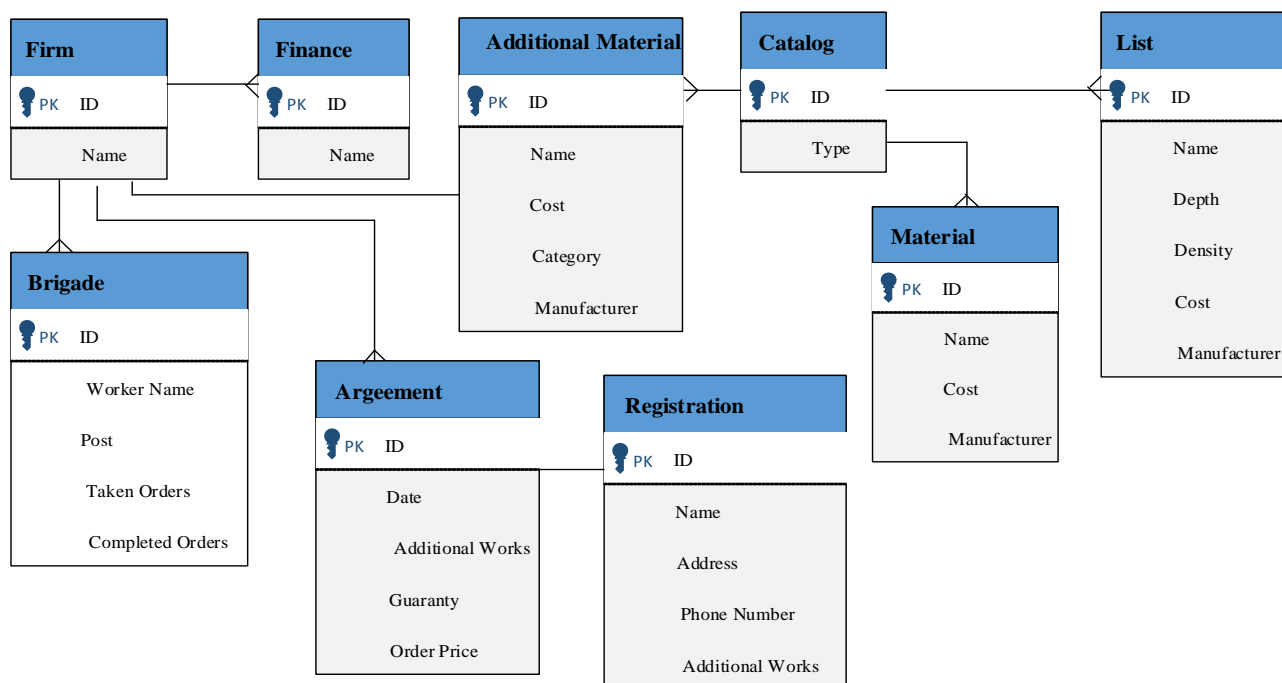


Fig. 4. Database structure

Fig. 5 shows a precedent diagram that reflects the basic functionality of the web application for the three categories of users: administrator, employee and customer.

The application includes the separation of powers: the customer has the opportunity to register

list of the main material (sheets for insulation) (table List);

- basic materials for insulation (table Material);
- list of additional materials for insulation (table Dop.Material);
- contracts (table Dogovor);
- the presence of materials in the warehouse (table Katalog);
- customer data (table Registracia);
- financial statements of the company (table Finans)-contracts (table Dogovor).

Microsoft SQL Server DBMS was chosen to implement the database because it provides high performance, productivity and sufficient functionality, and is compatible with the Windows operating system and web application development technologies [16, 17].

To calculate the cost of materials in the application interface provides a special dialog form in the form of a table. The table shows all the necessary components for the insulation of the facade of the building, their units of measurement, the necessary volumes and cost. The required fields indicate the insulated facade area and the cost of the insulation chosen by the customer. After that, the total cost of all necessary materials for insulation is calculated. It should be noted that the table plays the role of an invoice, that is, on its basis will be purchased all the necessary material, and the result of the calculations is stored in the financial statements of the company and serves as the basis for the conclusion of the contract between the company and the customer.

and view information about the company, its news and events; the administrator can view information in the database and edit it, i.e. to make changes about the company and contribute data to the catalog of available materials for insulation.

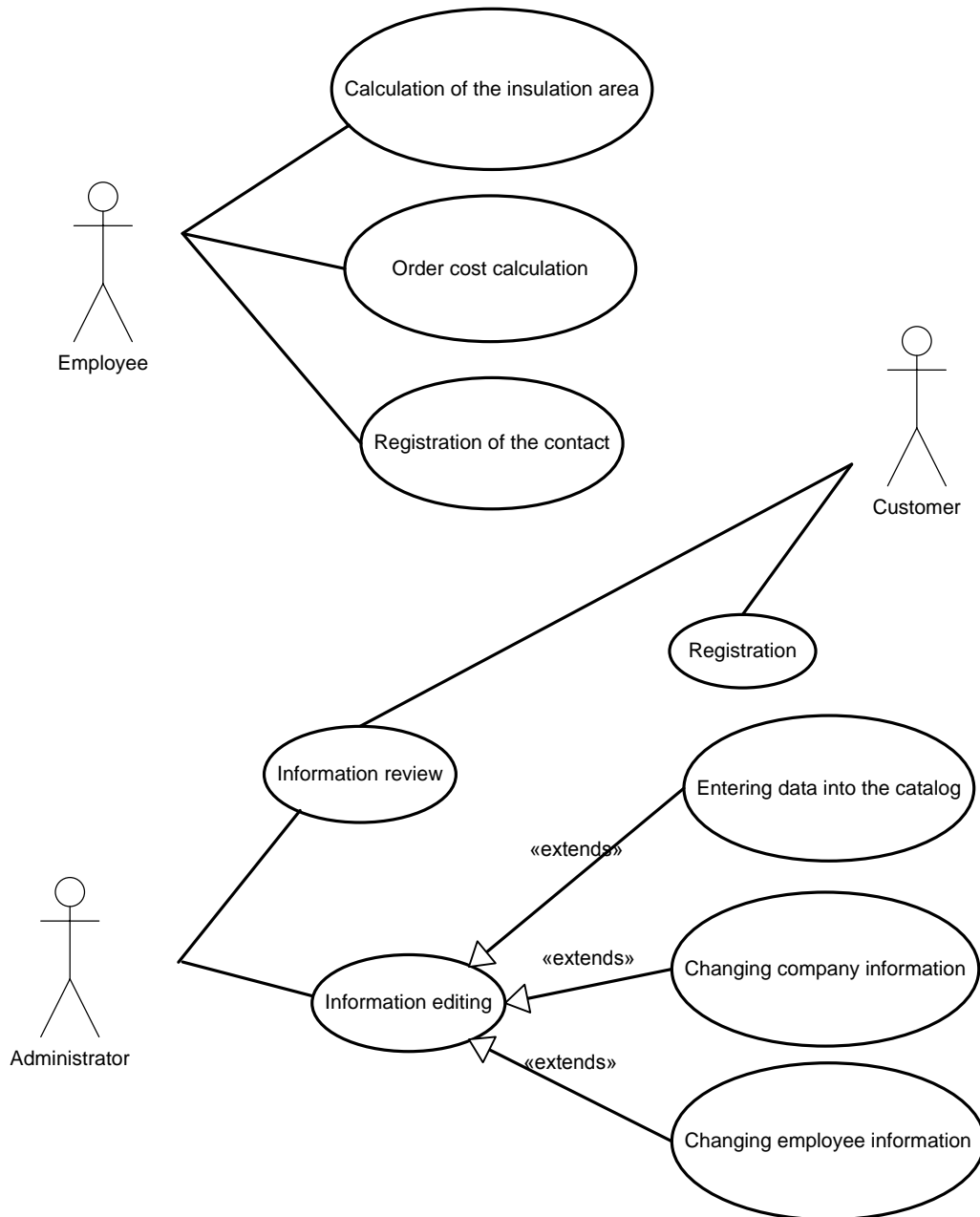


Fig. 5. Diagram of precedents

The employee has the ability to:

- carry out the calculations of the area of the insulation;
- carry out calculations of the order value;
- demonstrate to the customer the following information: list of insulation sheets available in the warehouse, using the built-in catalog; about the company, its news and events; about the team of climbers; about the catalog of finished projects.

To support the calculation function, a web-based application "Calculation of the cost of insulation" menu has been developed in which the company representative has the opportunity (fig. 6):

- to enter the output to calculate the area of insulation;
- to select the parameters of the base material (sheets for insulation of a certain thickness);

- to choose the additional services, i.e. order specific coating parameters (antifungal, anti-corrosion and water repellent).

The interface of the web application also provides the ability to select from a list of additional services for the better execution of the order.

After calculating the cost and approval by both parties, the representative of the company draws up a contract in which all the parameters are recorded: the list of individual works, the amount of the pre-payment, the cost of the order, taking into account the price of materials and performance of work, the term of execution of works, contact details of the customer, etc.

Web application development was carried out using HTML technologies (HyperText Markup Language), CSS (Cascading Style Sheets) i Java Script [18].

Расчет стоимости утепления

укажите ширину стены | укажите высоту стены | Рассчитать стоимость

Площадь равна: 30 кв. м.

Стоимость равна: 10500 грн.

Нажмите кнопку подробно, что бы увидеть весь список материалов и услуг

Выберете лист*:

- Пенопласт 5мм
- Пенопласт 5мм**
- Пенопласт 10мм
- Полестерол 5мм
- Полестерол 10мм
- Минеральная вата 5мм
- Минеральная вата 10мм
- Базальтова вата 5мм
- Базальтова вата 10мм

Дополнительные услуги

- Противогрибковые
- Антикоррозийный
- Водоотталкивающий



Fig. 6. Web application menu "Calculation of the insulation cost"

It should be noted that this application reduces the cost of storing paper documents, since the main contract is stored electronically. In case of contradictory moments, the employee can open the necessary agreement on the surname of the customer on his number, together to review and clarify the details of the contract. Each object is attached to a certain climber team, which bears material liability for it, and must fulfill all the terms of the contract and finish the work in the assigned term.

Conclusions

In the article the scheme of logistic business processes of insulation of facades of buildings is formed. According to this scheme, the technology of information support of processes at all stages of the work is developed by timely drawing up an individual list of services and providing the necessary materials. Automatically

References

1. Popov, A. V., Kryvulia, S. V. (2017), "Automated control system for selecting of warmth keeping services" ["Systema avtomatyzirovannogo upravleniya podbora uslug po uteplenju sten"], *Modern trends in the development of information and communication technologies and management tools, Materials of the seventh international scientific and technical conference, Poltava-Baku-Kirovograd-Kharkiv*, 34 p.
2. Dorokhina, A., Starostina, A., Artyukh, R. (2018), "The model for determining the sequence of works and operations to manage the timetable of a construction project" ["Model vyznachennya poslidovnosti robit ta operacij dlya upravlinnya rozkladom budivelnogo proektu"], *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (6), P. 33–41. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.6.033>.
3. Malyeyeva, O. V., Gonchar, I. O., Yelizyeva, A. V. (2016), Management of distributed production logistic processes [Upravlinnya logistychnymy procesamy rozpodilenoogo vyrobnyctva] : Monograph, 186 p.
4. Malyeyeva, O. V., Yelizyeva, A. V., Kosenko, N. V., Nevlyudova, V. V. (2018), "Information technologies of supporting decision-making on managing the procurement of a manufacturing enterprise" ["Informacijna tehnologiya pidtrymky pryjnyattya rishen z upravlinnya zakupivlyamy vyrobnychogo pidpryemstva"], *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (5), P. 57–66. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.5.057>.
5. Paryudi, I., Fenz, S. (2013), "Friendly User Interface Design For Architects In An Energy Simulation Tool", *International journal of scientific & technology research*, Vol. 2, P. 203–208.
6. Smith, T. The Future of Web and Mobile Development, Web Dev Zone, available at: <https://dzone.com/articles/dzone-research-the-future-of-web-and-mobile-development> (last accessed 11.01.2019).
7. Advantages and disadvantages of web app development, available at: <https://en.yeeply.com/blog/advantages-and-disadvantages-of-web-app-development> (last accessed 11.01.2019).
8. "Site of company "VESTA", available at: <http://teplodom.kh.ua/fasad-rabot> (last accessed 10.01.2019).

9. "Site of company "Albatros", available at: <http://albatros.ua> (last accessed 10.01.2019).
10. "Site of company "W-teple", available at: <https://w-teple.ub.ua> (last accessed 20.12.2018).
11. "Site of company "TeploKhata", available at: <http://teplohata.kh.ua> (last accessed 20.12.2018).
12. "Methods of the facade of buildings warmth keeping depending on the weather and the selected material" ["Metodyky uteplyennya fasadu budiveli v zalezhnosti vid pogody i obranogo materialu"], available at: <http://solid-pro.com.ua> (last accessed 25.12.2018).
13. "The sheet choice of for warmth keeping of the building facade from the list of existing on the territory of Ukraine" ["Vybir lysta dlya uteplyennya fasadu budivli z pereliku isnuyuchykh na terytoriyi Ukrayiny"], available at: <http://repair-home.net> (last accessed 25.12.2018).
14. Web Application Architecture, available at: <https://svitla.com/blog/web-application-architecture> (last accessed 11.01.2019).
15. Popov, A. V., Vasylychenko, Ye. V. (2017), "Methods and technologies of cross-browser compatibility of a web application at the layout stage" ["Metody tehnologyy obespechenyya krossbrauzernej sovместymosty veb-prylozhenyya na etape verstky"], *All-Ukrainian scientific and technical conference "Integrated computer technologies in mechanical engineering of ICTM-2017"*, Kharkiv, Ukraine, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", 57 p.
16. Popov, A., Bilokin, Ju., Soliany, T., Vasylychenko K. (2018), "Development of the System to Provide Cross-browser Compatibility of Web Application", *The 9th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2018 24-27, Kyiv, Ukraine*, P. 119–124.
17. Create Database, available at: <https://www.comentum.com/guide-to-web-application-development.html> (last accessed 25.01.2019).
18. Kohan, B. Guide to Web Application Development, available at: <https://en.yeepley.com/blog/advantages-and-disadvantages-of-web-app-development> (last accessed 11.01.2019).

Received 28.02.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Попов Андрій Вячеславович – кандидат технічних наук, доцент, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського "ХАІ", доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Харків, Україна; e-mail: apv@xai.edu.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8984-731X>.

Попов Андрей Вячеславович – кандидат технических наук, доцент, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ", доцент кафедры компьютерных наук и информационных технологий, Харьков, Украина.

Popov Andrei – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Associate Professor at the Department of Computer Sciences and Information Technologies, Kharkiv, Ukraine.

Єлізева Аліна Володимирівна – кандидат технічних наук, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського "ХАІ", доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Харків, Україна; e-mail: a.elizeva@khai.edu; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8228-9383>.

Елизева Алина Владимировна – кандидат технических наук, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ", доцент кафедры компьютерных наук и информационных технологий, Харьков, Украина.

Yelizyeva Alina – PhD (Engineering Sciences), National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Associate Professor at the Department of Computer Sciences and Information Technologies, Kharkiv, Ukraine.

Губка Сергій Олексійович – кандидат технічних наук, доцент, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського "ХАІ", доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Харків, Україна; e-mail: gubka1502@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1981-0789>.

Губка Сергей Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ", доцент кафедры компьютерных наук и информационных технологий, Харьков, Украина.

Gubka Sergey – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"; Associate Professor at the Department of Computer Sciences and Information Technologies, Kharkiv, Ukraine.

Кривуля Сергій Вікторович – Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського "ХАІ", студент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Харків, Україна; e-mail: s.kryivulia@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8413-2374>.

Кривуля Сергей Викторович – Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ", студент кафедры компьютерных наук и информационных технологий, г. Харьков, Украина.

Kryivulia Sergey – National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Student at the Department of Computer Sciences and Information Technologies, Kharkiv, Ukraine.

РОЗРОБКА ДОДАТКУ З ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ЛОГІСТИЧНИХ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ БУДІВЕЛЬНИХ ПОСЛУГ УТЕПЛЕННЯ БУДИНКІВ

Предметом дослідження є методи й технології інформаційної підтримки логістичних бізнес-процесів утеплення фасадів будинків. **Метою** роботи є забезпечення інформаційної підтримки діяльності фірм, що надають послуги з утеплення фасадів будівель. В роботі вирішені наступні **задачі**: проведення аналізу функціональності сайтів компаній, що надають послуги з утеплення; формування схеми бізнес-процесів; розроблення бази даних; розроблення веб-додатку інформаційної підтримки бізнес-процесів утеплення фасадів будівель. Для вирішення вказаних задач були використані **методи** системного аналізу, теорії множин, технології розробки баз даних та веб-додатків. Отримані такі **результати**. Проаналізовані сайти фірм з надання послуг утеплення фасадів та виявлені їх переваги й недоліки. Розглянуто переваги розробки веб-додатків порівняно

з сайтами. Сформована модель логістичних бізнес-процесів утеплення фасадів, яка складається з трьох етапів: підготовчого, основного й заключного. Наведено теоретико-множинний опис компонентів моделі бізнес-процесів, що дозволяє визначити основні складові логістичного забезпечення процесу утеплення, а також застосувати формули розрахунків для відповідного модуля інформаційної підтримки. Розроблена архітектура інформаційної підтримки бізнес-процесів утеплення, яка складається з бази даних, розрахункового модулю та інтерфейсу веб-додатку. Розроблена структура бази даних, яка містить інформацію про фірму, виконавців робіт з утеплення, необхідні матеріали на складі, параметри замовлення й замовника. Розробка веб-додатку дозволяє автоматизувати обробку інформації для організації виконання робіт й надати користувачеві можливість швидкого оформлення замовлення. **Висновки:** інформаційна підтримка логістичних бізнес-процесів утеплення забезпечує їх супровід на всіх етапах проведення робіт за рахунок своєчасного складання індивідуального переліку послуг та перевірки наявності необхідних матеріалів. Основним результатом роботи веб-додатку є можливість автоматичного розрахунку площі утеплення й вартості замовлення з урахуванням наявності або закупівлі необхідних матеріалів, а також формування договору між замовником і фірмою-виконавцем на основі вибраних параметрів послуги утеплення.

Ключові слова: бізнес-процеси; утеплення будинків; теоретико-множинне подання; діаграма прецедентів; архітектура системи; база даних; веб-додаток.

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ПО ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ УСЛУГ УТЕПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

Предметом исследования являются методы и технологии информационной поддержки логистических бизнес-процессов утепления фасадов зданий. **Целью** работы является обеспечение информационной поддержки деятельности фирм, предоставляющих услуги по утеплению фасадов зданий. В работе решены следующие **задачи:** проведение анализа функциональности сайтов компаний, предоставляющих услуги по утеплению; формирование схемы бизнес-процессов; разработка базы данных; разработка веб-приложения информационной поддержки бизнес-процессов утепления фасадов зданий. Для решения указанных задач были использованы **методы** системного анализа, теории множеств, технологии разработки баз данных и веб-приложений. Получены следующие **результаты.** Проанализированы сайты фирм по предоставлению услуг утепления фасадов и выявлены их преимущества и недостатки. Рассмотрены преимущества разработки веб-приложений по сравнению с сайтами. Сформирована модель логистических бизнес-процессов утепления фасадов, которая состоит из трех этапов: подготовительного, основного и заключительного. Приведено теоретико-множественное описание компонентов модели бизнес-процессов, позволяющее определить основные составляющие логистического обеспечения процесса утепления, а также применить формулы расчетов для соответствующего модуля информационной поддержки. Разработана архитектура информационной поддержки бизнес-процессов утепления, которая состоит из базы данных, расчетного модуля и интерфейса веб-приложения. Разработана структура базы данных, содержащей информацию о фирме, исполнителях работ по утеплению, необходимых материалах на складе, параметрах заказа и заказчика. Разработка веб-приложения позволяет автоматизировать обработку информации для организации выполнения работ и предоставить пользователю возможность быстрого оформления заказа. **Выводы:** информационная поддержка логистических бизнес-процессов утепления обеспечивает их сопровождение на всех этапах проведения работ за счет своевременного составления индивидуального перечня услуг и проверки наличия необходимых материалов. Основным результатом работы веб-приложения является возможность автоматического расчета площади утепления и стоимости заказа с учетом наличия или закупки необходимых материалов, а также формирование договора между заказчиком и фирмой-исполнителем на основе выбранных параметров услуги утепления.

Ключевые слова: бизнес-процессы; утепление зданий; теоретико-множественное представление; диаграмма прецедентов; архитектура системы; база данных; веб-приложение.

В. Ф. ПРОКОПЕНКОВ, Ю. Н. КОЖИН, О. Н. МАЛЫХ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛЬЦЕВОГО МАРШРУТА, ПРОХОДЯЩЕГО ЧЕРЕЗ ЗАДАННОЕ МНОЖЕСТВО ПУНКТОВ НА КАРТЕ

Предметом исследований являются методы и информационные технологии транспортной логистики. **Цель** – снижение затрат и сокращение времени на доставку товаров автомобильным транспортом за счёт разработки и внедрения эффективных методов и алгоритмов поиска оптимального маршрута развоза товаров. В статье рассматривается **задача** поиска оптимального кольцевого маршрута развоза товаров со склада, проходящего через заданное множество пунктов на карте. Для решения задачи используются **методы и алгоритмы** дискретной математики. Получены следующие **результаты**. Выполнен анализ проблемы и существующих методов дискретной математики для её решения, определены недостатки этих методов. Предложен метод решения задачи, устраняющий эти недостатки. Разработан эвристический алгоритм решения задачи, реализующий предложенный метод решения. Решение рассматриваемой задачи сводится к задаче поиска гамильтонова цикла на новом графе меньшей размерности. Новый граф строится из начального графа, описывающего карту, и состоит из вершин заданного множества пунктов на карте, через которые должен пройти маршрут. Каждая дуга в новом графе соединяет пару вершин, если в начальном графе существует путь между этими вершинами. Дуга взвешивается числом, которое определяет минимальное расстояние между вершинами в начальном графе, которые она соединяет. Для построения графа используется алгоритм Дейкстры. **Выводы:** предложенный метод решения рассмотренной задачи выполняет её сводимость к классической задаче дискретной математики поиска гамильтонова цикла на графе. Тестирование разработанной программы показало работоспособность предложенного метода и алгоритма решения задачи. Разработанный метод позволяет понизить размерность решаемой задачи, поскольку решение ищется на новом графе меньшей размерности в отличие от графа, описывающего исходную карту. Фактор понижения размерности значительно снижает затраты на поиск решения и повышает шансы найти оптимальный маршрут развоза товаров.

Ключевые слова: транспортная логистика; маршрут на карте; граф; гамильтонов цикл; сложность; NP-полнота; алгоритм Дейкстры; сводимость; схема поиска с возвратами.

Введение

Логистика это не только широко распространённый термин в экономике, а полноценная наука о планировании, организации, управлении, контроле и регулировании перемещения материальных и информационных потоков в пространстве и во времени от их первичного источника до конечного потребителя [1, 2]. Перемещение товарно-материальных ценностей невозможно без использования транспортных средств. Значительная часть операций логистики, связанных с перемещением материальных ценностей от первичного источника до конечного потребителя, осуществляется с помощью транспорта и затраты на эти операции составляют до 50% от общих затрат на логистику [3]. Поэтому особую роль в этой науке играет транспортная логистика.

Одной из основных задач транспортной логистики является определение рациональных маршрутов доставки товаров. Маршруты доставки могут быть маятниковыми и кольцевыми [4]. В маятниковом маршруте путь следования транспорта вперёд и обратно проходит по одному и тому же пути. Маршрут, при котором путь следования транспортного средства составляет замкнутый контур, называется кольцевым маршрутом. Без сомнения организовывать транспортные перевозки по маятниковым маршрутам проще, поскольку не требуется тратить время и средства на разработку трудно находимого кольцевого маршрута, организацию диспетчеризации и управление перевозками. Но маятниковые маршруты проигрывают кольцевым маршрутам по затратам благодаря существенно большему общему

автопробегу задействованного транспорта, затрат на топливо, ремонт и обслуживание транспорта, что заставляет использовать оптимальные кольцевые маршруты транспортирования. Рассмотрим проблему определения рационального кольцевого развозочного маршрута, которая является типичной для службы доставки в обычном современном строительном супермаркете.

Пусть имеется карта, задано некоторое подмножество из множества пунктов на ней. Один из пунктов этого подмножества, в котором автомобиль загружается доставляемыми товарами считается начальным. Автомобиль должен развести товар по указанным пунктам и вернуться в начальный пункт. Предполагаем, что суммарный вес доставляемых товаров не превышает грузоподъёмность используемого автомобиля. Очевидно, выбираемый маршрут развозки товара должен быть рациональным. Под рациональностью понимается и минимум пробега автомобиля, и минимальный расход топлива, и минимум потраченного времени и всего остального, что, так или иначе, сводится к минимизации материальных затрат.

Характерной особенностью этой проблемы является то, что она возникает и решается каждый день, и пункты доставки товара день ото дня меняются. А это означает, что задача маршрутизации не может быть решена однократно и заранее, а маршруты использованы в течение длительного времени. Другая немаловажная особенность – это необходимость привязки к карте реальной местности, которая кроме пунктов назначения содержит множество других не важных для доставки пунктов, но которые также должны быть учтены при определении рационального маршрута. С описанной

проблемой диспетчера служб доставки сталкиваются каждый день и решают её вручную, кто как умеет, на основе личного опыта без чёткого критерия оптимальности и качественного алгоритма решения задачи. Из-за этого очередь на доставку покупок составляет как минимум три дня в не самый активный сезон продаж.

Таким образом, очевидна важность разработки новых эффективных логистических методов, алгоритмов и программного обеспечения в целом для решения описанной проблемы, повышения качества и эффективности работы служб доставки.

Анализ последних исследований и публикаций

Транспортная логистика решает задачи, связанные с организацией доставки разного рода вещей из одних мест в другие по оптимально выбранному маршруту [5–7]. На первый взгляд может показаться, что решение таких задач связано сугубо с организационными проблемами. На практике такое суждение приводит к излишним затратам и оборачивается снижением прибыльности логистических предприятий. Само указание на использование оптимального маршрута доставки заставляет подключать к решению этой проблемы серьёзную теорию. Теоретической основой логистики служат такие дисциплины как теория социально-экономических систем, теория организаций, системотехника и кибернетика, а методологическую основу для решения различных логистических проблем обеспечивают дисциплины: математика, исследование операций, системный анализ, эконометрия, менеджмент [8].

При всём многообразии логистических проблем на первое место необходимо поставить проблемы, непосредственно обеспечивающие транспортирование, а значит, проблему определения оптимального маршрута транспортирования.

В дискретной математике [9] задачи подобные рассматриваемой занимают особое место. К ним относятся транспортная задача Монжа-Канторовича, задача коммивояжёра, задача о кратчайшем пути. Эти задачи относятся к специальному разделу дискретной математики – теории графов, основоположником которой стал Л. Эйлер. Транспортная задача или задача об оптимальном плане перевозки продуктов из пунктов наличия продуктов в пункты потребления была сформулирована Г. Монжем в 1781 году и решена советским математиком Л. Канторовичем в годы Великой Отечественной войны [10, 11]. Эта задача стала классической задачей транспортной логистики и может быть решена как симплекс-методом, так и с помощью теории графов [12].

В [13] для решения транспортной задачи предлагается двухэтапная схема решения. На первом этапе производится декомпозиция транспортного графа на подграфы, выступающие в качестве опорных транспортных маршрутов для второго этапа оптимизации. На втором этапе осуществляется поиск оптимальных маршрутов в каждом подграфе.

Задача коммивояжёра [14] ставит своей целью нахождение выгодного маршрута, проходящего через указанные города с однократным посещением и возвратом в исходный город. Появление этой задачи связывается с У. Гамильтоном, известным математиком жившем в 19 веке, а её решение в графической интерпретации как замкнутый путь в графе, проходящий через все вершины графа по одному разу, получил название гамильтонова цикла. Задача коммивояжёра, как известно [15], относится к числу NP–полных задач. Для таких задач невозможно найти оптимальное решение за полиномиальное время из-за невозможности последовательного перебора допустимых решений с целью выбора оптимального решения. Лучший точный метод решения задачи коммивояжёра, основанный на методе ветвей и границ, был получен в 1964 году Дж. Литтлом с соавторами [16]. Недостатком применения этого метода для решения транспортной задачи является невозможность совместной оптимизации кольцевых маршрутов для нескольких транспортных средств [13].

Единственным способом решения NP–полных задач является разработка эвристических методов. Таким примером может служить разработанный Дж. Кларком и Дж. Райтом в 1964 году алгоритм [17], объединяющий маятниковые маршруты в кольцевые. Но этот алгоритм имеет существенные недостатки [13].

Задача о кратчайшем пути в отличие от задачи коммивояжёра имеет точные алгоритмы решения Алгоритм Беллмана-Форда [18], Дейкстры [19] и др., применяемые, например, в картографических сервисах и могут использоваться для решения различных проблем, в том числе и рассматриваемой.

Выделение нерешённых ранее частей общей проблемы. Цель работы

В настоящее время благодаря стремительному прогрессу в развитии компьютерной техники, которая является основой для решения задач сбора накопления, анализа информации для принятия решений в управлении материальными потоками, чем занимается логистика, она представляет собой бурно развивающуюся отрасль знаний. В логистике большое внимание уделяется организационным вопросам управления материальными потоками. Но вероятно недостаточно уделяется внимания математическому и прикладному программному обеспечению, что хорошо иллюстрируется описанной проблемой службы доставки супермаркета.

Очевидно, что рассматриваемая постановка проблемы определения кольцевого маршрута сильно похожа на задачу коммивояжёра, но в силу того, что она относится к числу NP–полных задач, она не имеет точных алгоритмов решения за полиномиальное время.

В рассматриваемой задаче искомый кольцевой маршрут должен проходить через подмножество

пунктов карты. Но при этом в решении необходимо указать не только очередность посещения пунктов доставки, но в общем случае и указать, как по карте необходимо проехать из одного соседнего пункта в другой по всему развозочному маршруту. То есть решением задачи является гамильтонов цикл на подмножестве из множества пунктов карты. Это отличие требует приёма для адаптации методов решения задачи коммивояжёра для решения рассматриваемой проблемы [20].

Материалы и методы

В теории графов объект задачи представляется математическим объектом граф, состоящим из множества вершин, представляющим элементы структуры объекта задачи, соединёнными рёбрами (дугами), устанавливающими отношения между ними. Цель решения задачи формулируется в терминах такого объекта, а решение задачи сводится к выполнению различных вычислений на таком графе. Сформулируем рассматриваемую задачу в терминах теории графов.

Постановка задачи. Пусть карта представляется конечным ориентированным графом $G = \langle V, E \rangle$, в котором $V = \{v_i \mid i = \overline{1, n}\}$ – это множество вершин, соответствует пунктам карты, $E = \{e_{ij} \mid i, j = \overline{1, n}, i \neq j\}$ – множество дуг графа. Дуга e_{ij} определяет наличие соединения между вершинами v_i и v_j , характеризуется расстоянием d_{ij} (затратами, связанными с перемещением из v_i в v_j). Множество пунктов, через которые должен пройти замкнутый путь обозначим как $V_z \subset V$.

Пусть заданы граф G , множество V_z и начальная вершина $v_s^z \in V_z$. Необходимо найти замкнутый путь минимальной длины из вершины v_s^z , проходящий через все вершины множества V_z однократно.

Метод решения задачи. Из анализа постановки задачи следует, что искомым путь должен проходить через вершины множества V_z . С другой стороны, этот путь должен быть привязан к карте. Таким образом, для каждой пары $v_i^z, v_j^z \in V_z$ таких, что предполагается перемещение из вершины v_i^z в вершину v_j^z в искомом пути, должно быть однозначно указано, как это перемещение достигается по карте, т.е. через какие вершины множества $V \setminus V_z$ нужно перемещаться из вершины v_i^z в вершину v_j^z .

Поскольку результирующий путь должен пройти через все вершины множества V_z , будем его искать как гамильтонов цикл в графе $G_z = \langle V_z, E_z \rangle$, который

создадим. $E_z = \{e_{ij}^z \mid i, j = \overline{1, |V_z|}, i \neq j\}$ – это множество дуг. Дуга $e_{ij}^z \in E_z$, если в G есть путь $p_{ij} = \langle v_i^z, v_1^j, v_2^j, \dots, v_k^j, \dots, v_{m-2}^j, v_j^z \rangle$ такой, что $v_i^z, v_j^z \in V_z, v_k^j \in V$ и $v_k^j \notin V_z$ для $\forall k = \overline{0, |V| - 2}$. С каждой дугой $e_{ij}^z \in E_z$ свяжем значение d_{ij}^z , равное длине пути p_{ij} в графе G .

Накладываемые ограничения на путь p_{ij} обеспечивают, что он будет начинаться или заканчиваться вершиной из V_z . Поэтому, если в графе G_z гамильтонов цикл существует, то каждая из вершин множества V_z будет входить в него однократно.

Алгоритм решения задачи.

П.1. Для заданных графа G и множества $V_z \subset V$ построить граф G_z :

1.1. Для каждой пары пунктов $v_i^z, v_j^z \in V_z, i \neq j$, через которые должен пройти искомым путь, используя алгоритм Дейкстры, определить кратчайший путь p_{ij} такой, что v_i^z, v_j^z – соответственно начальная и конечная вершины пути, а промежуточные вершины не принадлежат V_z , и зафиксировать его длину d_{ij}^z .

1.2. Создать граф $G_z = \langle V_z, E_z \rangle$, в котором $E_z = \{e_{ij}^z \mid i, j = \overline{1, |V_z|}, i \neq j\}$ и дуга $e_{ij}^z \in E_z$, если в графе G существует путь p_{ij} .

П.2. Для графа G_z каким-либо алгоритмом решить задачу поиска гамильтонова цикла $p_c = \langle v_i \mid i = \overline{1, |V_z| + 1} \rangle$. Если решения нет, перейти к п. 4.

П.3. Каждую дугу $e_{i,i+1} \mid i = \overline{1, |V_z|} \in p_c$ заменить на $p_{i,i+1}$ – путь, который соответствует ей в графе G . Полученный результат и есть искомое решение.

П.4. Остановиться.

Программная реализация. Для проверки разработанного решения была выполнена программная реализация на языке C#. Для представления графа G_z в программе использовалась структура Вирта [21]. Для шага 3 предложенного алгоритма решения задачи была выбрана схема поиска с возвратами [22], которая позволила получить и проанализировать все возможные результаты, получаемые разработанным методом. Разработанное приложение позволяет задать карту в виде jpeg-файла (рис. 1), на которой отмечены пункты исходного графа. Карта сопровождается файлом описания пунктов (рис. 2), который загружается с картой. Для

задания пунктов карты, определяющих множество V_z необходимо использовать вкладку "Исходные данные" (рис. 3). После выполнения расчёта на вкладке

"Результаты" (рис. 4–5) можно увидеть найденные кольцевые маршруты и посмотреть их поочерёдно в отдельном окне (рис. 6).

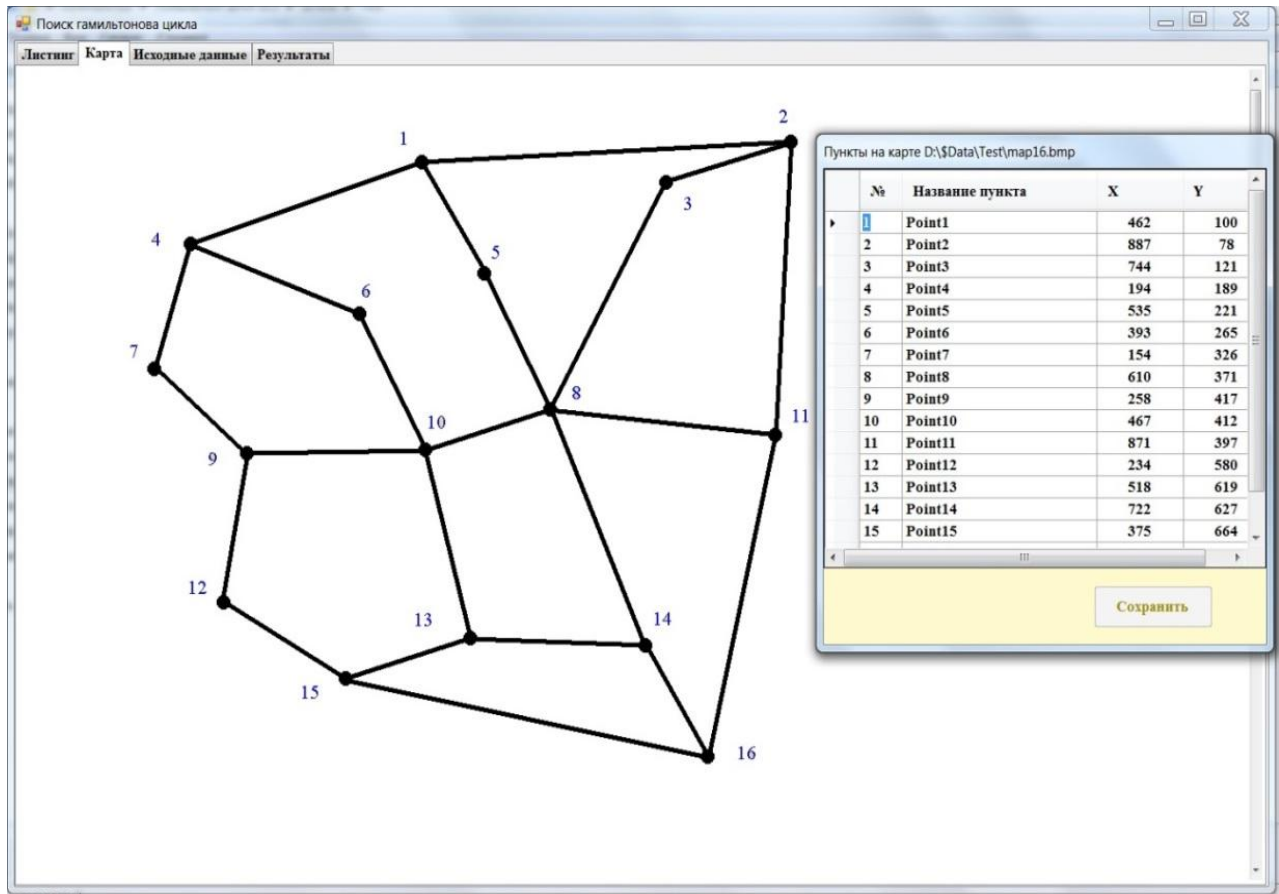


Рис. 1. Состояние окна после загрузки карты

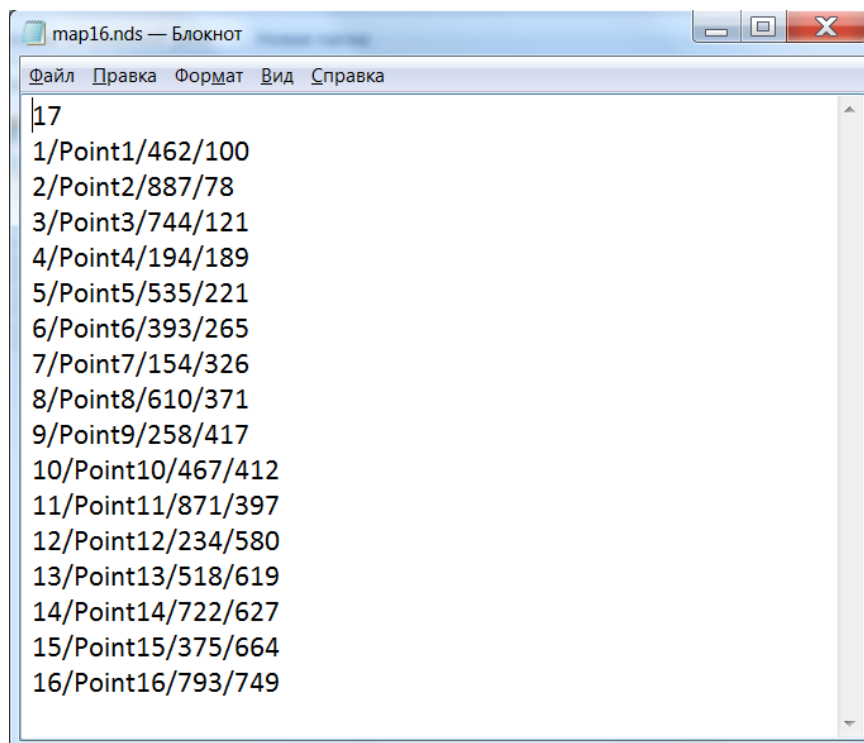


Рис. 2. Файл описания пунктов карты

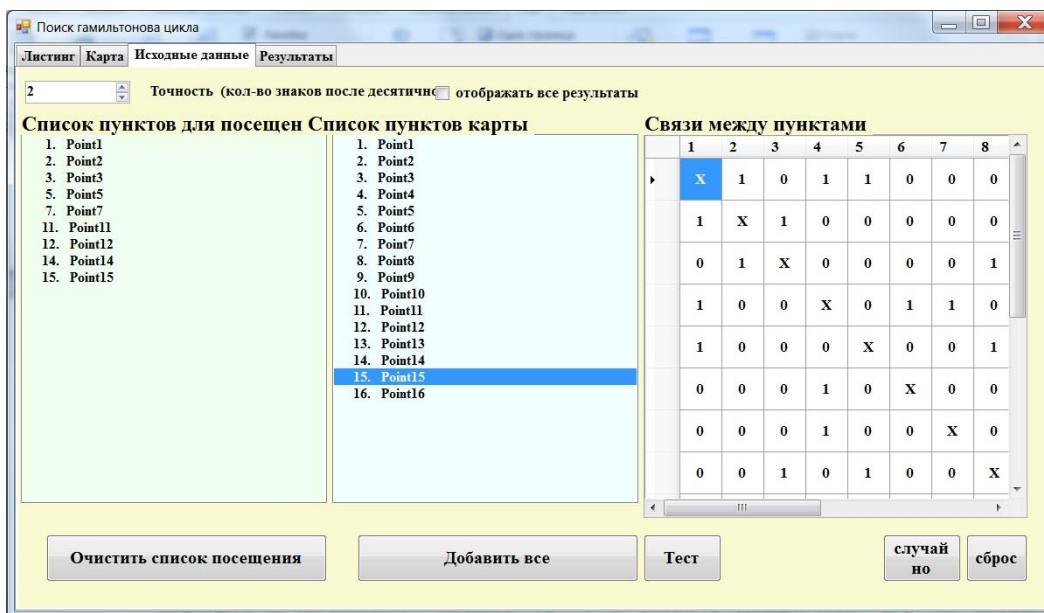


Рис. 3. Вкладка "Исходные данные"

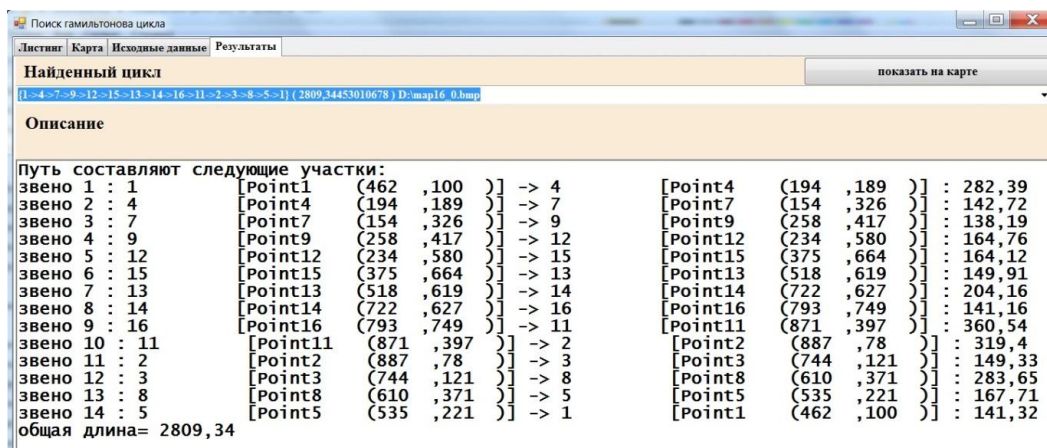


Рис. 4. Вкладка "Результаты" – выбранный для просмотра маршрут

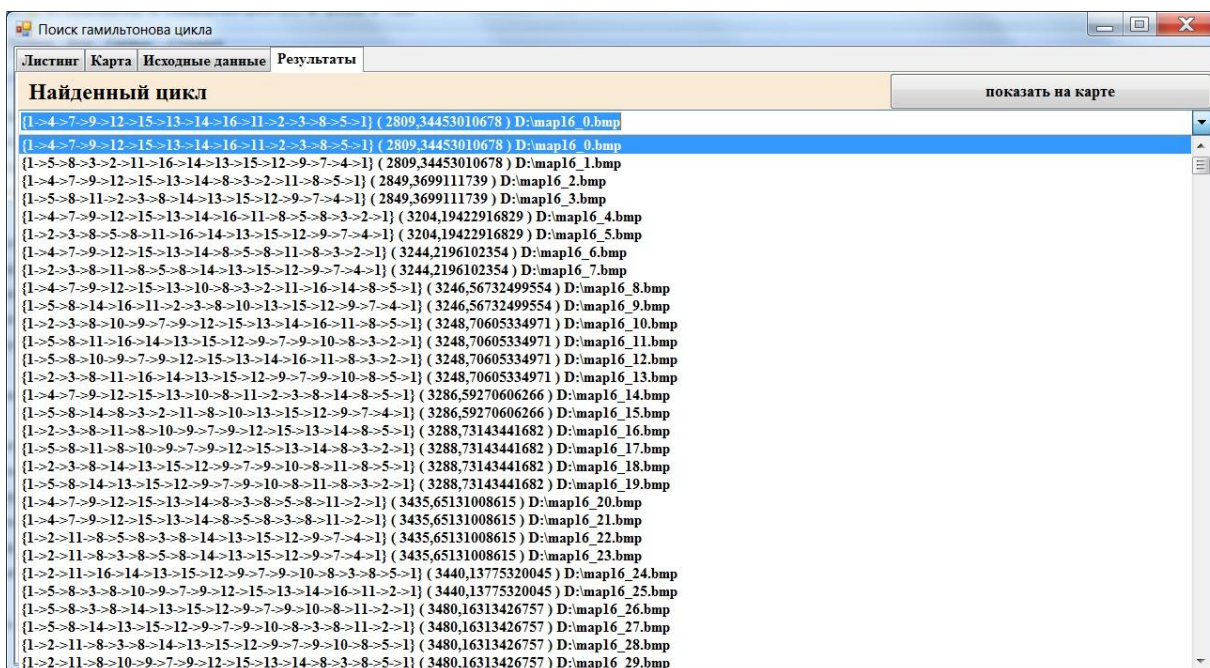


Рис. 5. Вкладка "Результаты" – список выбора маршрута

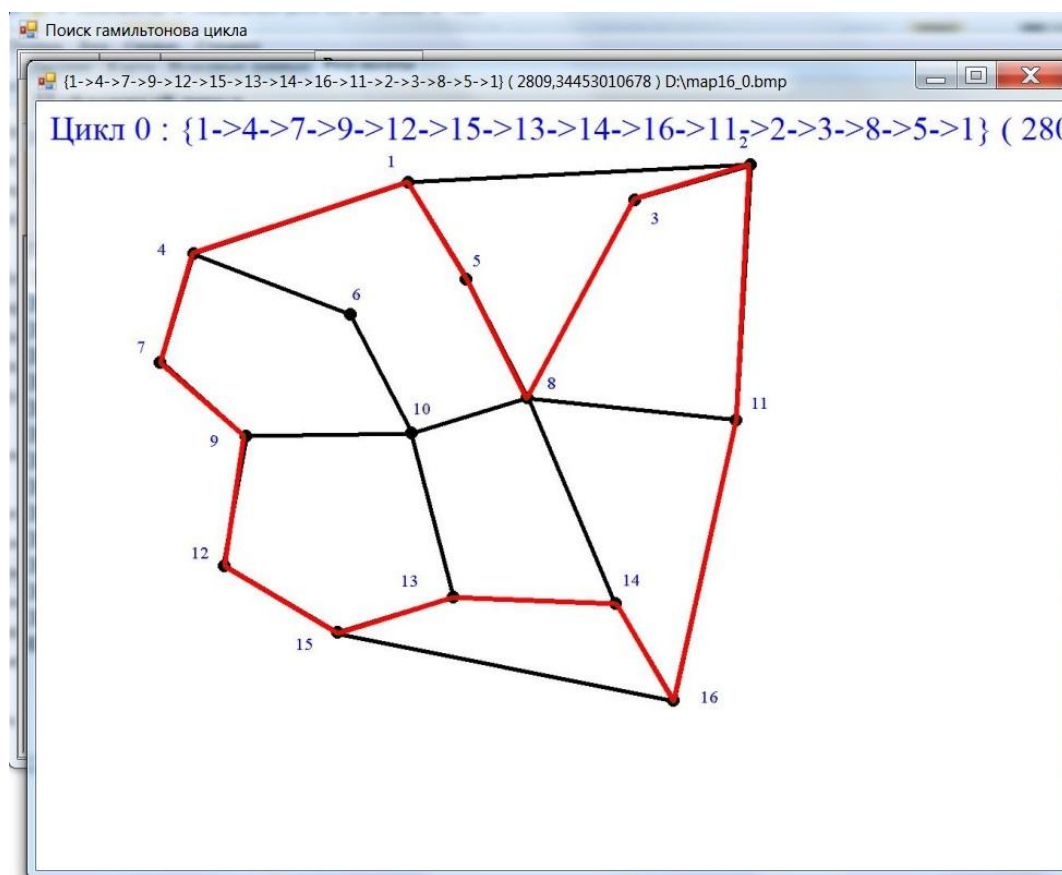


Рис. 6. Окно с найденным кольцевым маршрутом

Тестовый пример. В качестве тестового примера карта была представлена в виде множества V точек (пунктов) на битмапе, со своими координатами (табл. 1). Соединения между пунктами определили множество дуг E и были изображены отрезками прямых линий. Поэтому, расстояния между пунктами не задавались, а считались координатным способом в пикселях (табл. 2).

Таблица 1. Пункты карты

№	Название пункта карты	Координаты пункта на карте	
		x	y
1	point1	462	100
2	point2	887	78
3	point3	744	121
4	point4	194	189
5	point5	535	221
6	point6	393	265
7	point7	154	326
8	point8	610	371
9	point9	258	417
10	point10	467	412
11	point11	871	397
12	point12	234	580
13	point13	518	619
14	point14	722	627
15	point15	375	664
16	point16	793	749

Таблица 2. Расстояния между пунктами на карте (дуги графа G)

№	v_i	\rightarrow	v_j	e_{ij}
1	1	\rightarrow	2	425.57
2	1	\rightarrow	4	282.39
3	1	\rightarrow	5	141.32
4	2	\rightarrow	1	425.57
5	2	\rightarrow	3	149.33
6	2	\rightarrow	11	319.4
7	3	\rightarrow	2	149.33
8	3	\rightarrow	8	283.65
9	4	\rightarrow	1	282.39
10	4	\rightarrow	6	213.02
11	4	\rightarrow	7	142.72
12	5	\rightarrow	1	141.32
13	5	\rightarrow	8	167.71
14	6	\rightarrow	4	213.02
15	6	\rightarrow	10	164.58
16	7	\rightarrow	4	142.72
17	7	\rightarrow	9	138.19
18	8	\rightarrow	3	283.65
19	8	\rightarrow	5	167.71
20	8	\rightarrow	10	209.06
21	8	\rightarrow	11	262.29
22	8	\rightarrow	14	279.43
23	9	\rightarrow	7	138.19
24	9	\rightarrow	10	209.06

Конец таблицы 2

25	9	→	12	164.76
26	10	→	6	164.58
27	10	→	8	148.76
28	10	→	9	209.06
29	10	→	13	213.19
30	11	→	2	319.4
31	11	→	8	262.29
32	11	→	16	360.54
33	12	→	9	164.76
34	12	→	15	164.12
35	13	→	10	213.19
36	13	→	14	2014.16
37	13	→	15	149.91
38	14	→	8	279.43
39	14	→	13	204.16
40	14	→	16	141.16
41	15	→	12	164.12
42	15	→	13	149.91
43	15	→	16	426.55
44	16	→	11	360.54
45	16	→	14	141.16
46	16	→	15	426.55

Для заданного множества пунктов $V_z = \{1, 2, 3, 5, 7, 11, 12, 14, 15\}$, через которые должен пройти кольцевой маршрут, и начального пункта $v_s^z = 1$ в тесте с мощностью $|V| = 16$ найдены все решения задачи. Общее количество решений составило 4320. Лучшими решениями по длине пути из них являются следующие:

- $\langle 1, 4, 7, 9, 12, 15, 13, 14, 16, 11, 2, 3, 8, 5, 1 \rangle$ (2809.34);
- $\langle 1, 4, 7, 9, 12, 15, 13, 14, 8, 3, 2, 11, 8, 5, 1 \rangle$ (2849.37);
- $\langle 1, 4, 7, 9, 12, 15, 13, 14, 16, 11, 8, 5, 8, 3, 2, 1 \rangle$ (3204.19);
- $\langle 1, 4, 7, 9, 12, 15, 13, 14, 8, 5, 8, 11, 8, 3, 2, 1 \rangle$ (3244.22);
- $\langle 1, 5, 8, 14, 16, 11, 2, 3, 8, 10, 13, 15, 12, 9, 7, 4, 1 \rangle$ (3246.57);
- $\langle 1, 5, 8, 11, 16, 14, 13, 15, 12, 9, 7, 9, 10, 8, 3, 2, 1 \rangle$ (3248.71).

На рис. 7 найденные решения на графе обозначены пунктирной линией. В табл. 3 – представлены дуги сформированного в ходе решения графа G_z .

Таблица 3. Дуги графа G_z

№	v_i^z	→	v_j^z	d_{ij}	p_{ij}
1	1	→	2	425.57	1,2
2	1	→	3	1092.39	1,4,6,10,8,3
3	1	→	5	141.32	1,5
4	1	→	7	425.11	1,4,7
5	1	→	11	1071.04	1,4,6,10,8,11
6	1	→	12	1033.8	1,4,6,10,9,12
7	1	→	14	1077.33	1,4,6,10,13,14
8	1	→	15	1023.09	1,4,6,10,13,15

Конец таблицы 3

9	2	→	3	149.33	2,3
10	2	→	11	319.4	2,11
11	3	→	5	451.35	3,8,5
12	3	→	7	779.66	3,8,10,9,7
13	3	→	11	545.94	3,8,11
14	3	→	12	806.23	3,8,10,9,12
15	3	→	14	563.08	3,8,14
16	3	→	15	795.51	3,8,10,13,15
17	5	→	7	663.72	5,8,10,9,7
18	5	→	11	430	5,8,11
19	5	→	12	690.28	5,8,10,9,12
20	5	→	14	447.13	5,8,14
21	5	→	15	679.57	5,8,10,13,15
22	7	→	11	758.31	7,9,10,8,11
23	7	→	12	302.95	7,9,12
24	7	→	14	764.6	7,9,10,13,14
25	7	→	15	710.36	7,9,10,13,15
26	11	→	12	784.87	11,8,10,9,12
27	11	→	14	501.69	11,16,14
28	11	→	15	774.16	11,8,10,13,15
29	12	→	14	791.16	12,9,10,13,14
30	12	→	15	164.12	12,15
31	14	→	15	354.07	14,13,15
32	2	→	1	425.57	2,1
33	3	→	1	1092.39	3,8,10,6,4,1
34	5	→	1	141.32	5,1
35	7	→	1	425.11	7,4,1
36	11	→	1	1071.04	11,8,10,6,4,1
37	12	→	1	1033.8	12,9,10,6,4,1
38	14	→	1	1077.33	14,13,10,6,4,1
39	15	→	1	1023.09	15,13,10,6,4,1
40	3	→	2	149.33	3,2
41	11	→	2	319.4	11,2
42	5	→	3	451.35	5,8,3
43	7	→	3	779.66	7,9,10,8,3
44	11	→	3	545.94	11,8,3
45	12	→	3	806.23	12,9,10,8,3
46	14	→	3	563.08	14,8,3
47	15	→	3	795.51	15,13,10,8,3
48	7	→	5	663.72	7,9,10,8,5
49	11	→	5	430	11,8,5
50	12	→	5	690.28	12,9,10,8,5
51	14	→	5	447.13	14,8,5
52	15	→	5	679.57	15,13,10,8,5
53	11	→	7	758.31	11,8,10,9,7
54	12	→	7	302.95	12,9,7
55	14	→	7	764.6	14,13,10,9,7
56	15	→	7	710.36	15,13,10,9,7
57	12	→	11	784.87	12,9,10,8,11
58	14	→	11	501.69	14,16,11
59	15	→	11	774.16	15,13,10,8,11
60	14	→	12	791.16	14,13,10,9,12
61	15	→	12	164.12	15,12
62	15	→	14	354.07	15,13,14

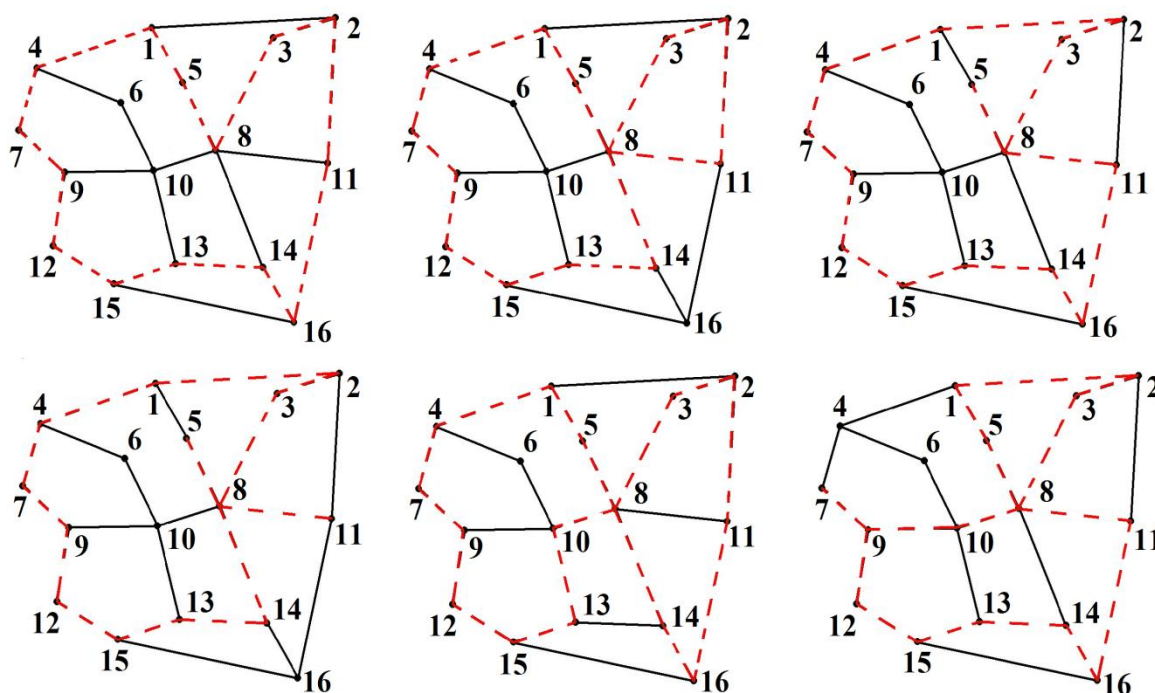


Рис. 7. Найденные лучшие пути на карте

Результаты исследований

Тестирование показало пригодность разработанного алгоритма для нахождения кольцевого маршрута развозки товаров, проходящего через заданное множество пунктов карты. Оптимальность определяемого кольцевого маршрута закладывается при выполнении шага 1 алгоритма и зависит от точности применяемого алгоритма поиска гамильтонова цикла в графе. На шаге 1 формируются минимальные по длине пути между вершинами V_z . Если бы существовал точный алгоритм поиска гамильтонова цикла минимальной длины, то разработанный алгоритм всегда бы давал оптимальное решение.

В любом случае предложенный метод даёт выигрыш, состоящий в сокращении вычислительных затрат на поиск решения. Так, если бы для тестовой задачи мы использовали классический алгоритм поиска гамильтонова цикла, нам пришлось бы его искать в графе с 16 вершинами, в то время как в предложенном методе размерность графа поиска определяется мощностью множества V_z и в тестовом примере равна 9. И необходимо согласиться, что в случае реальной задачи на карте это значительный выигрыш. Заметим также, что в найденных решениях никогда не повторяются вершины из множества V_z , но возможен повтор вершин, не принадлежащих этому множеству, что не противоречит условиям

Список литературы

1. Фёдоров В. А. Анализ превосходств и недостатков традиционного способа обработки и доставки груза в транспортной логистике. *Символ Науки*. 2016. №11 (1). С. 217–218.

решаемой задачи. Поскольку алгоритм Дейкстры для $n = |V|$ имеет сложность $O(n^2)$, сложность предложенного алгоритма оценивается как $O(n^4 + \xi(m))$, где $\xi(m)$ – сложность шага 2 ($m = |V_z|$), используемого алгоритма поиска гамильтонова цикла. Таким образом, разработанное решение задачи реализует её сводимость к решению задачи поиска гамильтонова цикла с понижением размерности задачи, а вычислительная сложность сводимости оценивается функцией $O(n^4)$.

Выводы

В статье на примере проблемы определения кольцевого маршрута на карте рассмотрено современное состояние транспортной логистики. Задача определения кольцевого маршрута в настоящее время не имеет точных алгоритмов решения. Предложен метод, разработан, программно реализован и протестирован алгоритм реализующий сводимость рассмотренной проблемы к решению задачи поиска гамильтонова цикла на графе со значительно меньшей размерностью, чем граф, представляющий карту. Хотя задача поиска гамильтонова цикла и относится к классу NP-полных и трудно решаемых в дальнейшем необходимо продолжать предпринимать подходы к разработке новых приёмов и методов решения этой задачи.

2. Iastremska O. Logistics at an enterprise: the peculiarities of procurement activities. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2018. No. 3 (5). P. 141–148. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.5.141>.
3. Устенко М. О. Основні проблеми транспортної логістики : сайт. URL: <http://uran.donntu.org/~masters/2012/iii/dyadyk/library/article3.htm> (дата звернення : 08.02.2019).
4. Горяинов А. Н. Виды маршрутов автотранспортных средств при перевозке грузов в логистической системе. *Коммунальное хозяйство городов*. 2006. № 67. С.304–309.
5. Проблемы транспортной логистики: Практический опыт украинских предприятий : сайт. URL: <http://www.ukrlogist.com/node/452> (дата обращения : 08.02.2019).
6. Николин В. И. Грузовые автомобильные перевозки : монография. Омск, 2004, 480 с.
7. Шамис В. А. Некоторые аспекты выбора оптимального маршрута перевозок : сайт. URL: <https://novainfo.ru/article/5296> (дата обращения : 08.02.2019).
8. Сергеев В. И. Логистика в бизнесе. Москва, 2001. 608 с.
9. Андерсон Дж. Дискретная математика и комбинаторика. Москва, 2003. 214 с.
10. Vershik A. M. Long history of the Monge-Kantorovich transportation problem. *Math. Intelligencer*. 2013. № 4 (35). P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00283-013-9380-x>.
11. Канторович Л. В. Избранные труды. Математико-экономические работы. Новосибирск, 2011. 760 с.
12. Транспортная задача. Математическая модель : сайт. URL: <http://www.grandars.ru/student/vysshaya-matematika/model-transportnoy-zadachi.html> (дата обращения : 08.02.2019).
13. Рогаткин А. Ю., Захаркина М. В. Оптимизация автотранспортных маршрутов: эвристические алгоритмы и практика логистического менеджмента. *Вестник Московской международной академии*. 2016. № 1. С. 124–135.
14. Davendra D. *Traveling Salesman Problem. Theory and Applications*. London, 2010. 336 p. DOI: <https://doi.org/10.5772/547>.
15. Гери М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. Москва, 1982. 419 с.
16. Алгоритм Литтла – метод решения задачи коммивояжера : сайт. URL: <https://intellect.ml/algorithm-littla-metod-resheniya-zadachi-kommivoyazhera-7734> (дата обращения : 08.02.2019).
17. Clarke, G., Wright, J. Scheduling of Vehicles from a central depot to a number of delivery. *Operations Research*. 1964. No. 4 (12). P. 568–581. DOI: <https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568>.
18. Bellman R. On a routing problem. *Quarterly of Applied Mathematics*. 1958. No. 1 (16). P. 87–90. DOI: <https://doi.org/10.1090/qam/102435>.
19. Dijkstra E. W. A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*. 1959. No. 1 (1). P. 269–271. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf01386390>.
20. Прокопенков В. Ф. Поиск замкнутого пути в графе, проходящего через заданное множество вершин, являющееся собственным подмножеством вершин графа. *Международная научная конференция MicroCAD 2014 : Секция №1 : Информационные и управляющие системы*. 2014. С. 18.
21. Wirth N. Data Structures and Algorithms. *Scientific American*. 1984. No. 3 (251). P. 60–69. DOI: <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0984-60>.
22. Оре О. Теория графов. Москва, 2009. 354 с.

References

1. Fëdorov, V. A. (2016), "Analysis of the advantages and disadvantages of the traditional method of handling and delivery of goods in transport logistics" ["Analiz prevoskhodstv y nedostatkov tradytsyonnoho sposoba obrabotky y dostavky hruza v transportnoy lohystyke"], *Symbol of Science*, No. 11 (1), P. 217–218.
2. 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>.
3. Ustenko, M. O. "The main problems of transport logistics" ["Osnovni problemy transportnoy lohystyky"], available at : <http://uran.donntu.org/~masters/2012/iii/dyadyk/library/article3.htm> (last accessed 08.02.2019).
4. Horyaynov, A. N. (2006), "Types of routes of vehicles in the transport of goods in the logistics system" ["Vydy marshrutov avtotransportnykh sredstv pry perevozke hruzov v lohystycheskoy systeme"], *Utilities of cities*, No. 67, P. 304–309.
5. "Problems of transport logistics: Practical experience of Ukrainian enterprises" ["Problemy transportnoy lohystyky: Praktycheskyy opyt ukraynskykh predpriyaty"], available at : <http://www.ukrlogist.com/node/452> (last accessed 08.02.2019).
6. Nykolyn, V. Y. (2004), *Freight transport* : monograph [*Hruzovyye avtomobyl'nye perevozky* : monohrafyya], Varyant, Omsk, 480 p.
7. Shamys, V. A. "Some aspects of choosing the optimal shipping route" ["Nekotorye aspekty vybora optymal'noho marshruta perevozok"], available at : <https://novainfo.ru/article/5296> (last accessed 08.02.2019).
8. Serheev, V. Y. (2001), *Logistics in business* [*Lohystyka v byznese*], Ynfra-M, Moscow, 608 p.
9. Anderson, Dzh. (2003), *Discrete mathematics and combinatorics* [*Dyskretnaya matematyka y kombynatoryka*], Vyl'yams, Moscow, 214 p.
10. Vershik, A. M. (2013), "Long history of the Monge-Kantorovich transportation problem", *Math. Intelligencer*, No. 4 (35), P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00283-013-9380-x>.
11. Kantorovich, L. V. (2011), *Selected work. Mathematical and economic work* [*Yzbrannyye trudy. Matematyko-ekonomycheskiye raboty*], Nauka, Novosybyrsk, 760 p.
12. "Transport task. Mathematical model" ["Transportnaya zadacha. Matematycheskaya model"], available at : <http://www.grandars.ru/student/vysshaya-matematika/model-transportnoy-zadachi.html> (last accessed 08.02.2019).
13. Rohatkyn, A. Yu., Zakharkyna, M. V. (2016), "Optimization of motor routes: heuristic algorithms and logistics management practices" ["Optymyzatsyya avtotransportnykh marshrutov: evrystycheskiye alhorytmy y praktyka lohystycheskoho menedzhmenta"], *Bulletin of the Moscow International Academy*, No. 1, P. 124–135.
14. Davendra, D. (2010), *Traveling Salesman Problem. Theory and Applications*, IntechOpen, London, 336 p. DOI: <https://doi.org/10.5772/547>.

15. Hery, M., Dzhonson, D. (1982), *Computational machines and difficult tasks* [Vychyslytel'nye mashyny y trudnoreshaemye zadachy], Myr, Moscow, 419 p.
16. "Littleton's algorithm is a method for solving a salesman's problem" ["Alhorytm Lyttla – metod resheniya zadachy kommyvoyazhera"], available at : <https://intellect.ml/algorithm-littla-metod-resheniya-zadachi-kommivoyazhera-7734> (last accessed 08.02.2019).
17. Clarke, G., Wright, J. (1964), "Scheduling of Vehicles from a central depot to a number of delivery", *Operations Research*, No. 4 (12), P. 568–581. DOI: <https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568>.
18. Bellman, R. (1958), "On a routing problem", *Quarterly of Applied Mathematics*, No. 1 (16), P. 87–90. DOI: <https://doi.org/10.1090/qam/102435>.
19. Dijkstra, E. W. (1959), "A note on two problems in connexion with graphs", *Numerische Mathematik*, No. 1 (1), P. 269–271. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf01386390>.
20. Prokopenkov, V. F. (2014), "Finding a closed path in a graph passing through a given set of vertices, which is an eigenvalue of vertices of a graph" ["Poysk zamknutoho puty v hrafe, prokhodyashcheho cherez zadannoe mnozhestvo vershyn, yavlyayushcheesya sobstvennym podmnozhestvom vershyn hrafa"], *International Scientific Conference MicroCAD 2014: Section No. 1 – Information and Management Systems*, P. 18.
21. Wirth, N. (1984), "Data Structures and Algorithms", *Scientific American*, No. 3 (251), P. 60–69. DOI: <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0984-60>.
22. Ore, O. (2009), *The theory of graphs* [Teoriya hrafov], URSS, Moscow, 354 p.

Поступила (Received) 06.01.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Прокопенков Володимир Пилипович – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", старший викладач кафедри системний аналіз та інформаційно-аналітичні технології, Харків, Україна; e-mail: prokopenkov.vf@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0084-9832>.

Прокопенков Владимир Филиппович – Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", старший преподаватель кафедры системный анализ и информационно-аналитические технологии, Харьков, Украина.

Prokopenkov Vladymyr – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Senior Teacher at the Department of System Analysis and Information-Analytical Technologies, Kharkiv, Ukraine.

Кожин Юрій Миколайович – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", старший викладач кафедри системний аналіз та інформаційно-аналітичні технології, Харків, Україна; e-mail: juniko@i.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5424-1422>.

Кожин Юрий Николаевич – Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", старший преподаватель кафедры системный анализ и информационно-аналитические технологии, Харьков, Украина.

Kozhyn Yuryy – National technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Senior Teacher at the Department of System Analysis and Information-Analytical Technologies, Kharkiv, Ukraine.

Малих Олег Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри системний аналіз та інформаційно-аналітичні технології, Харків, Україна; e-mail: malykh09@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5996-4363>.

Малых Олег Николаевич – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", доцент кафедры системный анализ и информационно-аналитические технологии, Харьков, Украина.

Malykh Oleh – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, National technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of System Analysis and Information-Analytical Technologies, Kharkiv, Ukraine.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО КІЛЬЦЕВОГО МАРШРУТУ, ЩО ПРОХОДИТЬ ЧЕРЕЗ ЗАДАНУ МНОЖИНУ ПУНКТІВ НА КАРТІ

Предметом досліджень є методи та інформаційні технології транспортної логістики. **Мета** – зниження витрат і скорочення часу на доставку товарів автомобільним транспортом за рахунок розробки і впровадження ефективних методів і алгоритмів пошуку оптимального маршруту розвезення товарів. У статті розглядається **завдання** пошуку оптимального кільцевого маршруту розвезення товарів із складу, що проходить через задану множину пунктів на карті. Для вирішення завдання використовуються **методи і алгоритми** дискретної математики. Отримані наступні **результати**. Виконаний аналіз проблеми та існуючих методів дискретної математики для її вирішення, визначено недоліки цих методів. Запропоновано метод вирішення завдання, що усуває ці недоліки. Розроблено евристичний алгоритм розв'язання задачі, що реалізує запропонований метод розв'язання. Рішення задачі, що розглядається, зводиться до задачі пошуку гамільтонова циклу на новому графі меншої розмірності. Новий граф будується з початкового графа, що описує карту, і складається з вершин заданої множини пунктів на карті, через які повинен пройти маршрут. Кожна дуга в новому графі з'єднує пару вершин, якщо в початковому графі існує шлях між цими вершинами. Дуга зважується числом, яке визначає мінімальну відстань між вершинами в початковому графі, які вона з'єднує. Для побудови графа використовується алгоритм Дейкстри. **Висновки:** запропонований метод вирішення розглянутої задачі виконує її приведення до класичної задачі дискретної математики пошуку гамільтонова циклу в графі. Тестування розробленої програми показало працездатність запропонованого методу і алгоритму вирішення завдання. Розроблений метод дозволяє знизити розмірність розв'язуваної задачі, оскільки рішення

шукається на новому графі меншої розмірності на відміну від графа, що описує вихідну карту. Фактор зниження розмірності значно зменшує витрати на пошук рішення і підвищує шанси знайти оптимальний маршрут розвезення товарів.

Ключові слова: транспортна логістика; маршрут на карті; граф; гамільтонів цикл; складність; NP-повнота, алгоритм Дейкстри; приведення; схема пошуку з поверненнями.

DETERMINATION OF THE OPTIMAL CIRCULAR ROUTE PASSING THROUGH THE GIVEN SET OF POINTS ON THE MAP

The **subject** of research is the methods and information technologies of transport logistics. The **goal** is to reduce costs and time for delivery of goods by road through the development and implementation of effective methods and algorithms for finding the optimal route for delivering goods. The article deals with the **task** of finding the optimal ring route for the delivery of goods from the warehouse, passing through a given set of points on the map. **Methods and algorithms** of discrete mathematics are used to solve the problem. The following **results** were obtained. The analysis of the problem and the existing methods of discrete mathematics for its solution were carried out. The disadvantages of these methods are determined. A heuristic algorithm for solving the problem that implements the proposed solution method has been developed. The solution of the considered problem is reduced to the problem of finding a Hamiltonian cycle on a new graph of smaller dimension. The new graph is constructed from the initial graph describing the map, and consists of the vertices of a given set of points on the map, through which the route must pass. Each arc in a new graph connects a pair of vertices if there is a path between those vertices in the initial graph. The arc is weighted by a number that determines the minimum distance between the vertices in the initial graph it connects. Dijkstra's algorithm is used to construct the graph. **Conclusions:** the proposed method for solving the considered problem performs its reducibility to the classical problem of discrete mathematics of search for a Hamiltonian cycle on a graph. Testing of the developed program showed the efficiency of the proposed method and algorithm for solving the problem. The developed method makes it possible to reduce the dimension of the problem to be solved, since the solution is sought on a new graph of smaller dimension in contrast to the graph describing the original map. The factor of dimension reduction significantly reduces the cost of finding a solution and increases the chances of finding the best route for the delivery of goods.

Keywords: transport logistics; route on the map; graph; Hamiltonian cycle; complexity; NP-completeness; Dijkstra's algorithm; reducibility; search scheme with returns.

L. CHERNOVA

KEY COMPETENCE AS A BASIS FOR INNOVATION PROJECTS MANAGEMENT

By the implementing an enterprise development program, the existing key competence of the organization may undergo significant changes. Also introducing innovations, you can get not only benefits, but additional problems and even risks. It should be noted that an organization may have more than one key competence, especially when we deal with changes in the management structure or entering new markets. For this class of tasks, the classical linear optimization problem does not fit, since it does not take into account the additional conditions that arise when an organization transitions from one state to another, precisely due to the implementation of the development program. Therefore, to solve this problem, we need a dual problem. The **subject** of research in this article is the process of introducing key competence, as the main component of the management of innovative projects in the organization. **Objective:** to develop a tool for introducing key competence into an organization's work by solving a dual linear optimization problem. **Tasks:** to analyze the factors influencing the results and the possibility of introducing key competence in the organization's activities, to obtain a general algorithm for the transition from direct to dual competence. **Research methods:** logical generalization, analysis and synthesis, structural analysis. **Results:** The article considers the key competence of the enterprise as the main component of the management of innovative projects, which the company implements. Shown her place and the role that she plays. A project description model has been developed, which describes processes that take into account the impact of the production and economic system on project implementation. The article proposes a general algorithm for constructing pairs of dual linear optimization problems. The existing schemes of transition from a direct problem to a dual one are meaningful. Considering this fact, a generalized algorithm for generating pairs of related problems has been proposed and strictly proved. Formalization of the developed scheme makes it easy to get the correct pairs of dual problems. It is shown that the analysis of the key competence of the enterprise makes it possible to offer a new base for the formation of a strategic plan, the implementation of which will lead to the emergence (support) of a sustainable competitive advantage, as well as assess its potential in terms of financial plan and capabilities of the enterprise or business system as a whole. **Conclusions:** The tools for analysis and implementation of key competence in the organization's activities have been developed. The results obtained in during the study allow us to state that a new base has been proposed for the formation of a strategic plan for the development of an enterprise, the use of this base will lead to a sustainable competitive advantage, which will become possible when implementing key competences in the process of changing the management structure. Taking into account that an organization can have more than one key competence, the second competence is dual to the original, that allows a general transition from direct to dual competence.

Keywords: innovative project; management hierarchy; performance indicators; measurable effects; linear optimization; direct task; dual task; related tasks; objective function; system of restrictions.

Introduction

Modern scientific and technological progress is impossible without an intellectual product, that is the result of innovation. Innovation is a materialized result obtained from investing in a new technique or technology.

An innovative project is a complex measure that is not repeated, providing for the introduction of a new, limited in time, budget, resources, as well as clear instructions for implementation, designed for the needs of the customer. Project management is the managerial task of completing a project on time, within a set budget and in accordance with technical specifications and requirements.

Analysis of recent research and publications

Among the main scientific approaches in the field of project and program management, the following ones should be mentioned: systemic and program-oriented (V. M. Glushkov, B. Z. Miller, R. S. Pospelov, A. Iirikov, D. Cleland, and others); complex systems management theory (E. A. Druzhinin, M. D. Mesarovich, I. Takahara, N. N. Moiseev, Y. B. Germeier, V. L. Volkovich, V. S. Mihaljovich); classical theory of project management based on the PMBOK standard (V. I. Voropajev, S. D. Bushuev, N. S. Bushueva, A. I. Belokon, V. A. Rach, R. B. Tian, V. D. Shapiro, I. I. Mazur, B. A. Demidov, and others); system of

knowledge on management of innovative projects and programs of enterprises – P2M (S. D. Bushuev, N. S. Busuheva, Hiroshi Tanaka, Shihenubu Ohara) [1–11].

The main principle of the program-target approach is planning from goals to means [6, 9]. The approach involves a comprehensive system solution of problems, taking into account all significant factors, relationships and constraints, and also implies the responsibility of all the performers for achieving the goal.

The complexity, variety of problems and systemic situations that arise in the organization system require the development of formal organization and management procedures. To do this, at the initial stage, according to the program-target approach, it is necessary to allocate the project's goals / objectives. The achievement of the desired result is based on the hierarchy of goals, the main methods, construction of them is described in the works [1, 12, 13].

The theory of management of innovative projects and programs of enterprises was proposed in 2009 [14]. Authors Bushuev S. D., Bushueva N. S., Hiroshi Tanaka, who formed a new "qualitative vision", adapted to the conditions of the development of technological clusters in Ukraine [3, 10], systematized the methods and models of management of innovative projects and programs of enterprises. Also, to the positive characteristics of this scientific approach certainly belongs the proposed by the researchers mechanisms of assistance to enterprises in the

development and widespread use of innovations in the production activities that are used in the main production activity.

Formulation of the problem

Up to this day the development of the theory and practice of managing innovative projects took place in two directions: managing the process of innovation and innovation management as a project. In the early 2000s, D. A. Novikov showed that the design and process approaches are different ways of presenting the same processes occurring in systems [15], and if necessary, one can switch from one way of representing to another and back.

Thus, models describing the processes can be used to describe the projects. For example, the model of the corporation, proposed by Yu. A. Zelenkov [16], allows us to formulate the goals and existing possibilities of its implementation in the form of a tuple:

$$\Psi = \{UA, UV, UI, A, R, \Theta, w(\cdot), v(\cdot), I, \Gamma\}, \quad (1)$$

where A – set of actions for achieving the goals; R – set of the results of actions; Θ – set of environment values; I – information that the agent has at the time of the decision; $v(\cdot)$ – benefits of the agent specified by the utility function; $w(\cdot): A \times \Theta \rightarrow R$ – result of activity, which depends on the action and the situation; $U = (UA, UV, UI)$ – vector of management, which includes institutional, motivational and information management; Γ – targets.

The given model in the existing conditions of the turbulent environment does not give a transparent picture of the description of the projects, because the influence of the production-economic system on the implementation of the projects is not taken into account. Therefore, there is a need to develop new models that take into account all these phenomena.

Presentation of the main material

To take into account the influence of the production-economic system on the implementation of projects, we must present the model of the production-economic system (1) in the following form:

$$\Psi = \{U, A, R, \Theta, w(\cdot), v(\cdot), I, \Gamma, \varphi\}, \quad (2)$$

where $U = (UF, UB, UP, UV, UC, US, UI)$ – vector of management, which includes management of financing, production, production, implementation, marketing, scientific development, institutional management; $\varphi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ – vector models of product innovation projects presented in the form of a tuple:

$$\varphi_i = \{P_i, T_i\}, \quad (3)$$

where P – set of values of control parameters; T – set of project needs in resources; $i = 1, \dots, n$ – project number.

Since most of the components of the tuple of the production and economic system of project implementation are quite well-known, consider the constituent that is one of the main components of any enterprise in general according to the author.

For successful competition it is necessary to formulate all competences of the organization and highlight the key. Key (distinctive, basic, exclusive, basic, unique, business competence) competence of the organization (also used the term "critical factor of the organization's success" – CFOS) – is the competence that lets the organization to solve tasks that are not suitable for most other players at the market, and establishes a new standard of activity in the industry and thus provides the owner with a competitive advantage.

According to G. Hamel and S.K. Prahaladu [17], the company should be perceived not as a set of business units that make it up, but as a combination of key competences – skills, abilities, technologies – that allow organizations to provide their customers with certain values.

Key competence is the strategic potential of the organization. Operational management of the company (ability to work effectively) is a way to benefit from this potential.

Signs of Key Competence:

- significance for consumers, their willingness to pay for competence, as for the most of the value they acquire;
- ability to change and adapt to new market requirements;
- uniqueness, probability of repetition by competitors;
- to be based on knowledge, not on the coincidence of circumstances;
- interconnectivity with several types of activities or products;
- relevance, compliance with the strategic aspirations of the market and organization;
- partnership opportunity to create a new key competence;
- clarity, accessibility of the formulation of competence for its unambiguous interpretation.

For competent actions, the key competence leads to the creation of unique products, ensures the organization of the championship when entering new markets and significant advantages in solving problems, which will later become a field of fierce competition. In a competitive environment, organizations seek to protect key competences in order to maintain a competitive edge.

Timely understanding of key competences opens the way to long-term leadership in the market, and conquered leadership in its turn requires focusing on key competences.

The key is called the competence of the highest order involved in the creation of the largest consumer value, which is a collective knowledge that allows you to organize and manage the use of other competences and abilities, and thus creates the additional consumer value.

It is the complementarity of the key competence created by the consumer value revealing its synergistic nature. At the same time, being virtually out of measure of abilities and products, key competences are not

derivative from the market need: being somewhat universal, it is able to provide access (to be a key) to a range of markets that can vary greatly from each other.

Such properties of key competence are also noted by Prahalad and Hemel [18]. They believed that "key competences have three main characteristics: ... first, it gives potential access to a wide range of markets; secondly, it adds a significant consumer value to the final product perceived by the buyer; and thirdly, it takes a lot of costs and efforts to copy the key competence of the competitor." Various authors also offered other characteristics of key competence. To date, eight key properties have been identified.

First of all, key competences are inherent in complexity. It is a derivative of a set of resources and abilities, it is difficult to identify, it is invisible. A specific key competence can be used only within the framework of the business system in which it exists, that is, it is inherent only in the configuration of resources and abilities. Competence, unlike other assets of the organization, is not devoid of use. On the contrary, a number of authors noted this as the main strategic advantage that arises in the formation of competitive advantage on the basis of competence, it develops, its quality rises, its effectiveness is significantly increasing – it is the most durable and long-term asset of the organization. At the same time, the key competence is unique, that is, it can not be directly copied or used by competitors, and indispensable it can not be replaced by another competence. The key competences of the organization are better developed than competitors and consumer-oriented (by definition) from the beginning. And finally, since key competences include a set of other competences and abilities, it can be used for their mutual reinforcement.

The key competence lies in the intersection of the internal conditions of business and consumer preferences, that is the knowledge to receive the maximum share of consumer value. It is the increase in the additional consumer value due to the development of key competencies and is the basis for obtaining a stable competitive advantage. A higher consumer value of a product can be used to implement two basic types of strategies: differentiation or cost leadership. This suggests that the key competence provides the opportunity to obtain in the competitive struggle as a qualitative advantage related to product properties, and quantitative, relating to a more solid financial position. Next, it returns us back to the earlier conclusion about the universal nature of key competences, which provides opportunities for its manifestation in the consumer and industrial markets.

If we consider the key competence of the enterprise in terms of information theory, then we can see the following picture.

Combining knowledge gained through different approaches will improve the quality of management. It is known that entropy is a quantitative measure of chaos in the system and is determined by the number of permissible states of the system. With an increase in entropy, the dimension of the system or the number of independent factors – variables in the system model increases. With an increase in entropy, uncertainty and

disorder increases, and to reduce it, it is necessary to add information to the system. [19].

K. Shannon found that when the two isolated systems A1 and A2 are merged into a single system (A1, A2) in which systems A1 and A2 interact efficiently, the entropy of the united system will be less than the set of entropies of the outcoming combining systems:

$$E(A1, A2) < [E(A1) + E(A2)]. \quad (4)$$

If A1 and A2 are the independent sets of elements of systems that do not have physical or informational interaction, then (2) will be a sign of equality. If the set elements of A1 and A2 can coincidentally interact, then:

$$\begin{aligned} E(A1, A2) < [E(A1) + E(A2)] &\Rightarrow \\ \Rightarrow E(A1) + E(A2) - E(A1, A2) &= \Delta I_s, \end{aligned} \quad (5)$$

where ΔI_s – growth of structural information.

So, the right choice of key competency creates the additional information when combining two approaches: process and design.

It should be understood that when implementing a development program at an enterprise, the existing key competence of the organization may undergo significant changes. In addition, when introducing innovations, we can gain not only advantages but also additional problems and even risks [20]. In addition, it should be noted that the organization may have more than one key competence, especially if we are talking about introducing a change in management structure or access to new markets..

The key competence is at the intersection of internal business conditions and consumer preferences, this is the knowledge on which the maximum share of use value depends. It is the increase in additional use value due to the development of key competence that is the basis for obtaining a sustainable competitive advantage [21]. Higher consumer value of the product can be used to implement two basic types of strategies – differentiation or cost leadership. This suggests that the key competence provides an opportunity to obtain in the competition a qualitative advantage related to the properties of the product, and quantitative advantage related to a stronger financial position. Further this leads us back to the earlier conclusion about the universal nature of the key competence that makes it possible the manifestation in the consumer and industrial market.

Initial competence can be considered as a direct optimization task. In view of this, the second competence is dual to our initial.

It is advisable to obtain a general algorithm for the transition from direct to dual competence.

The classical task of linear optimization for such a class of tasks is no longer appropriate, because it does not take into account the additional conditions that arise when an organization moves from one state to another by implementing a development program. Therefore, to solve this problem, we will need a dual task.

Assume that the direct (source) linear optimization problem (LO) is given in the standard form [22, 23].

Let's call the following LO problem a standard task:

$$W_I = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max,$$

$$I: \Omega_I: \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i=1, \dots, m,$$

$$x_j \geq 0, \quad j=1, \dots, n,$$

or in the matrix form:

$$W_I = CX \rightarrow \max,$$

$$I: \Omega_I: AX \leq B,$$

$$X \geq 0.$$

The problem with a double or a conjugate with it is called the task of the form:

$$W_{II} = \sum_{i=1}^m b_i y_i \rightarrow \min,$$

$$II: \Omega_{II}: \sum_{i=1}^m a_{ij} y_i \geq c_j, \quad j=1, 2, \dots, n,$$

$$y_i \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, m,$$

or in the matrix form:

$$W_{II} = YB \rightarrow \min,$$

$$II: \Omega_{II}: YA \geq C^T,$$

$$Y \geq 0.$$

For ease of presentation of the material, we introduce and comment on the following designations: $\mathbf{c} = C = c = [c_1, c_2, \dots, c_n]$, $C \in \mathbf{R}^n$ – coefficients of the target function W_I direct LO problem,

$$\mathbf{x} = X = x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T, \quad X \in \mathbf{R}^n,$$

- variable (unknown) values (plan) of a direct LO problem,

I – conditional designation of a direct task,

II – conditional designation of a dual task,

- matrix of coefficients of the system

$$A = [a_{ij}]_{(m \times n)} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2j} & \cdots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \cdots & a_{3j} & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & a_{i3} & \cdots & a_{ij} & \cdots & a_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & \cdots & a_{mj} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

of limitation of the direct task,

$$\mathbf{b} = B = b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix} = [b_1, b_2, \dots, b_m]^T, \quad B \in \mathbf{R}^m -$$

coefficients of the right-hand sides of the system of limitations of the direct task,

$$\mathbf{y} = Y = y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix} = [y_1, y_2, \dots, y_m]^T, \quad Y \in \mathbf{R}^m -$$

variables (unknown) values of the dual problem of LO.

We introduce for the consideration the systems of covariant and contravariant vectors.

$$\mathbf{a}_j = a_j = \begin{bmatrix} a_{1j} \\ a_{2j} \\ \vdots \\ a_{mj} \end{bmatrix} = [a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{mj}]^T \in \mathbf{R}^m, \quad j=1, 2, \dots, m,$$

- vector-columns (covariant vectors) of the matrix A for the system of restrictions Ω_I for a direct problem,

$$\mathbf{a}^i = a^i = [a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}] \in \mathbf{R}^n, \quad i=1, 2, \dots, n -$$

vector-lines (contravariant vectors) of the matrix A for the system of restrictions Ω_I for a direct problem.

In this case, the matrix A of the coefficients of the system can be represented in a vector form:

$$A = \begin{bmatrix} \mathbf{a}^1 \\ \mathbf{a}^2 \\ \vdots \\ \mathbf{a}^m \end{bmatrix} = [\mathbf{a}^1, \mathbf{a}^2, \dots, \mathbf{a}^m]^T = [\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_n] \in \mathbf{R}^m \otimes \mathbf{R}^n,$$

and a pair of dual tasks has the third record form:

$$W_I = (\mathbf{c}, \mathbf{x}) \rightarrow \max,$$

$$\Omega_I: (\mathbf{a}_j, \mathbf{x}) \leq \mathbf{b}, \quad - \text{direct task},$$

$$\mathbf{x} \geq 0,$$

$$W_{II} = (\mathbf{b}, \mathbf{y}) \rightarrow \min,$$

$$\Omega_{II}: (\mathbf{a}^i, \mathbf{y}) \geq \mathbf{c}, \quad - \text{a dual task to the given line},$$

$$\mathbf{y} \geq 0.$$

Summing up, we finally have three forms of writing the definition of a dual problem to a standard LO problem:

$$\begin{aligned}
W_I &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max, & W_{II} &= \sum_{i=1}^m b_i y_i \rightarrow \min, \\
I: \Omega_I: \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &\leq b_i, \quad i=1, \dots, m, & \xrightarrow{\text{def Dual}} & II: \Omega_{II}: \sum_{i=1}^m a_{ij} y_i \geq c_j, \quad j=1, 2, \dots, n, \\
&x_j \geq 0, \quad j=1, \dots, n, & & y_i \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, m, \\
W_I &= CX \rightarrow \max, & W_{II} &= YB - \min, \\
I: \Omega_I: AX &\leq B, & \xrightarrow{\text{def Dual}} & II: \Omega_{II}: YA \geq C^T, \\
&X \geq 0, & & Y \geq 0, \\
W_I &= (\mathbf{c}, \mathbf{x}) \rightarrow \max, & W_{II} &= (\mathbf{b}, \mathbf{y}) \rightarrow \min, \\
I: \Omega_I: (\mathbf{a}_j, \mathbf{x}) &\leq \mathbf{b}, & \xrightarrow{\text{def Dual}} & II: \Omega_{II}: (\mathbf{a}^i, \mathbf{y}) \geq \mathbf{c}, \\
&\mathbf{x} \geq 0, & & \mathbf{y} \geq 0.
\end{aligned}$$

The unity or duality of the above definition will be justified by a certain sequence of operations, which, in the case of cyclic application, should lead to a direct problem, that is

$$I \xrightarrow{\text{def Dual}} II \xrightarrow{\text{def Dual}} I,$$

where $\xrightarrow{\text{def Dual}}$ – a set of rules for the transition to a dual task.

A careful analysis of the definition of a dual problem for a standard form of representation of a direct problem, allows us to determine the necessary for the transition to a dual task operation $\xrightarrow{\text{def Dual}}$:

- Extreme requirements of the objective functions of direct and dual tasks are opposite to the plan:

$$W_I \rightarrow \max \xrightarrow{\text{def Dual}} W_{II} \rightarrow \min;$$

- For a task on the target function \max the inequalities presented in the system of restrictions must have a sign \leq ;

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i,$$

- the coefficients of the objective function of the dual task are components of the vector of the right-hand sides of the system of restrictions of the direct problem LO;

- matrix of A^T dual problem of the restrictions system Ω_{II} is transposed to the matrix A system of restrictions of the direct task Ω_I (It is true as $YA = A^T Y^T$);

- right sides of the system of restrictions of a dual problem $\Omega_{II}: (\mathbf{a}^i, \mathbf{y}) \geq \mathbf{c}$ are the coefficients of the target function $W_I = (\mathbf{c}, \mathbf{x}) \rightarrow \max$ of the direct task;

- each limitation-inequality of the system of restrictions of a direct problem is an integral dual variable

$$\Omega_I: \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \xrightarrow{\text{def Dual}} y_j \geq 0, \quad i=1, \dots, m;$$

- each integral variable of the direct LO problem corresponds to the restriction-inequality of the dual

$$x_j \geq 0 \xrightarrow{\text{def Dual}} \Omega_{II}: \sum_{i=1}^m a_{ij} y_i \geq c_j, \quad j=1, 2, \dots, n.$$

Note that the different forms of writing linear optimization tasks are equivalent – they store a set of solutions. It is possible to achieve this provided that equivalent conversion techniques are used to move from one form of task to another.

Thus, a certain equation of the system of restrictions of the linear optimization problem is equivalent to the system of two inequalities:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \Leftrightarrow \begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \\ -\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq -b_i. \end{cases}$$

Randomized variables can be represented as a difference of 2 integral variables:

$$x_j = u_j - v_j, \quad u_j \geq 0, \quad v_j \geq 0.$$

The transition from the restrictions-inequalities to the restrictions-equations is performed by adding an integral (balance) variable:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_j \Rightarrow \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + x_{n+i} = b_j, \quad x_{n+i} \geq 0, \quad i=1, \dots, k.$$

To simplify the transformation of linear optimization tasks into different forms of writing, the transition from maximization to minimization of the target function and vice versa is also used:

$$W_I = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max \Leftrightarrow W_I = -\sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \min.$$

Ensure that the operations and transformations introduced are performed by the conjunction chain for the above set of tasks:

$$I \xrightarrow{\text{def Dual}} II \xrightarrow{\text{def Dual}} I.$$

Let us represent a dual problem in the form of a problem at the maximum and, applying the

rules of transition and equivalent transformations, we prove the conjugacy of a pair of problems: the dual problem of a dual gives a direct problem.

Thus, it is confirmed that the main feature of the duality of the pairs of LO tasks is the possibility of bringing them together

to one another by definition (dual to double is a direct task).

In order to implement the development program, taking into account the availability of several competencies in the enterprise, in the implementation of innovation, the operations of transition from the direct task to the dual task presented in the general form of the record.

$$\begin{array}{ccc}
 W_{II} = -Y B - \max, & & W_I = -(C^T)^T X - \min, \\
 \text{II: } \Omega_{II} : -Y A \leq -C^T, & \xrightarrow{\text{def Dual}} & \text{I: } \Omega_I : -AX \leq -B, \quad \Leftrightarrow \\
 Y \geq 0, & & X \geq 0, \\
 & & \Downarrow \\
 & & W_I = C X - \max, \\
 \Leftrightarrow \text{I: } \Omega_I : A X \leq B, & & \\
 X \geq 0. & &
 \end{array}$$

Conclusion

The concept of key competence is highlighted in the work – it is the competence of the higher order involved in the creation of the highest consumer value, which is a collective knowledge, which allows to organize and manage the use of other competences and abilities and, thus, creates an additional consumer value. It is analysis of the key competence of the enterprise, based on which an innovative project is carried out, provides an opportunity to propose a new basis for the formation of a

strategic plan, the implementation of which will lead to (sustain) sustainable competitive advantage, as well as assess the potential of this plan from the standpoint of financial standing and capabilities of the enterprise or business system as a whole. For the first time, strictly defined transition operations to a dual task from a direct task presented in a general form of record are strictly defined. In view of this, the transition to a dual task is a simple formal order. For the existing pairs of binary problems, their true character is strictly proved, as the main criterion for the formation of pairs of bipartite.

References

1. Druzhinin, Ye. A. (2006), Methodological bases of risk-oriented approach to resource management of engineering projects and programs [Metodolohichni osnovy ryzyk-orientovanoho pidkhotu do upravlinnya resursamy proektiv i prohram rozvytku tekhniky] : diss. ... doctor of techn. Sciences: 05.13.22 / Druzhinin Yevgeny Anatoliyovych, Kharkov, 593 p.
2. Voropaev, V. I. (2014), "Functional models of project management for different stakeholders" ["Funktional'nyye modeli upravleniya proyektnoy deyatel'nost'yu dlya raznykh zainteresovannykh storon"], *Project and Program Management*, No. 4.
3. Bushuev, S. D., Bushueva, N. S. et al. (2010), Creative technologies of project and program management [Kreativnyye tekhnologii upravleniya proyektami i programmami] : Monograph, Kyiv : Sammit-knega, 768 p.
4. Belokon, A. I., Malanchi, S. A., Antonenko, S. V., Kotsyuba, T. V., Alkubalight, T.A.D. (2018), "Analysis of the significance of the project stakeholders", *Bulletin of the Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture*, No. 2, P. 81–94.
5. Rach, V. A. (2009), "Problems of information security in project management in the era of knowledge economy" ["Problemy zakhystu informatsiyi v upravlinni proektamy v epokhu ekonomiky znan"], *Project management and production development*, No. 2, P. 156–160.
6. Tyan, R. B., Ivanov, S. V. (2009), Investment projects in the framework of strategic enterprise management [Investitsionnyye proyekty v ramkakh strategicheskogo upravleniya predpriyatiyem]: Monograph. D. : Makovetsky, 404 p.
7. Mazur, I. I., Shapiro, V. D., Olderogge, N. G., Polkovnikov, A. V. (2014), *Project management [Upravleniye proyektami]*, Moscow : Omega-L, 959 p.
8. Bushuev, S. D., Bushueva, N. S. (2006), *Project Management: The Basics of Professional Knowledge and the Competence Assessment System of Project Managers (National Competence Baseline, NCB UA Version 3.0) [Upravleniye proyektami: Osnovy professional'nykh znaniy i sistema otsenki kompetentnosti projektnykh menedzherov (National Competence Baseline, NCB UA Version 3.0)]*, Kyiv : IRIDIUM, 208 p.
9. Bushueva, N. S. (2007), Models and methods of proactive management of organizational development programs [Modeli i metody proaktivnogo upravleniya programmami organizatsionnogo razvitiya]: Monograph, Kyiv : Science. Svit, 199 p.
10. Hiroshi Tanaka (2006), "Integrated management of multiprojects in contracting organizations" ["Kompleksnoye upravleniye mul'tiprojektami v podryadnykh organizatsiyakh"], *Project and Program Management*, No. 2.
11. Shigenobu Ohara (2005), "Application of the P2M methodology in civil engineering and analysis of the results" ["Primeneniye metodologii R2M v grazhdanskom stroitel'stve i analiz rezul'tatov"], *Project and Program Management*, No. 3.
12. Grashina, M., Duncan, V. (2006), *Fundamentals of Project Management [Osnovy upravleniya proyektami]*, SPb : Peter, 208 p.
13. Parkhomenko, O. M., Osievsky, A. (2000), *Machine-Building Enterprise Management: Functions, Organizational Structure, Personnel [Upravleniye mashinostroitel'nykh predpriyatiyem: funktsii, organizatsionnaya struktura, kadry]*: Uch. Allowance, Kharkiv : Nat. aerospace. un-t "KhAI", 160 p.
14. *Guide to the management of innovative projects and programs: T. 1, version 1.2 [Rukovodstvo po upravleniyu innovatsionnymi proyektami i programmami : T. 1, versiya 1.2]* / [trans. in Russian language ed. S. D. Bushueva]. – Kyiv : Sciences. Svit, 2009, 173 p.

15. Novikov, D. A. (2007), *Project Management: Organizational Mechanisms* [Upravlinnya proektamy: orhanizatsiyni mekhanizmy], Moscow : PMOFT, 140 p.
16. Zelenkov, Yu. A. (2012), "Strategic IT development planning. Model of strategic decision making under uncertainty" ["Strategicheskoye planirovaniye razvitiya IT. Model' prinyatiya strategicheskikh resheniy v usloviyakh neopredelennosti"], *Information Management*, No. 4, P. 26–38.
17. Hamel, G., Prahalad, K. (2002), *Competition for the Future. The creation of the market of tomorrow* [Konkurentsii za budushcheye. Sozdaniye rynka zavtrashnego dnya], Moscow : ZAO "Olympip-Business", 288 p.
18. Hamel, G., Prahalad, K. (2005), *Strategic flexibility* [Strategicheskaya gibkost'], SPB : Peter, 384 p.
19. Prangishvili, I. V. (2000), *System approach and system-wide regularities. Series "Systems of Management Problems"* [Systemnyy pidkhdid ta zahal'nosystemni zakonomirnosti. Seriya «Systemy problem upravlinnya»], Moscow : SINTEG, 528 p.
20. Nazarova, G., & Nazarov, N. (2017), "The analysis of structural configurations for implementing competitive strategies", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (2), P. 132–137. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.132>.
21. Kuznetsova, I. (2017), "Formalizing the technology of management as a constituent of the organization core capabilities", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (2), P. 116–123. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.116>.
22. Hetmantsev, V. D. (2001), *Linear algebra and linear programming* [Liniyna alhebra i liniyne prohramuvannya], Kyiv, Lybid, 250 p.
23. Romanyuk, T. P., Tereshchenko, T. O., Prisenko, G. V., Gorodokova, I. M. (1996), *Mathematical programming* [Matematychny prohramuvannya], Kyiv, Libel, 312 p.

Received 06.01.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Чернова Людмила Сергіївна – кандидат технічних наук, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, викладач кафедри інформаційних управляючих систем та технологій, Миколаїв, Україна; e-mail: 19chsk56@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3954-7436>.

Чернова Людмила Сергеевна – кандидат технических наук, Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, преподаватель кафедры информационных управляющих систем и технологий, Николаев, Украина.

Chernova Lyudmyla – PhD (Engineering Sciences), Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Lecturer at the Department of Information Control Systems and Technologies, Mykolaiv, Ukraine.

КЛЮЧОВА КОМПЕТЕНЦІЯ ЯК ОСНОВА УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНИМИ ПРОЕКТАМИ

При реалізації програми розвитку на підприємстві існуюча ключова компетенція організації може зазнавати значних змін. Крім того, при впровадженні інновацій можна отримати не лише переваги, але і додаткові проблеми та, навіть, ризики. Слід зауважити, що організація може мати більш ніж одну ключову компетенцію, особливо, якщо мова йде про впровадження зміни в структури управління або виходу на нові ринки. Для такого класу задач класична задача лінійної оптимізації не підходить, тому що не враховує додаткових умов, які виникають при переході організації з одного стану до іншого, саме за допомогою реалізації програми розвитку. Тому для вирішення цієї проблеми знадобиться двоїста задача. **Предметом** дослідження в даній статті є процес впровадження ключової компетенції, як основної складової управління інноваційними проектами у діяльності організації. **Мета:** розробка інструменту впровадження ключової компетенції у роботу організації за допомогою вирішення двоїстої задачі лінійної оптимізації. **Завдання:** проаналізувати чинники, що впливають на результати та можливості впровадження ключової компетенції у діяльність організації, отримати загальний алгоритм переходу від прямої до двоїстої компетенції. **Методи** дослідження: логічне узагальнення, аналіз та синтез, структурний аналіз. **Результати:** В статті розглянуто ключову компетенцію підприємства, як основну складову управління інноваційними проектами, що це підприємство реалізує. Показано її місце та роль, що вона відіграє. Розроблено модель опису проектів, що описує процеси, які враховують вплив виробничо-економічної системи на реалізацію проектів. В статті запропоновано загальний алгоритм побудови пар двоїстих задач в лінійній оптимізації. Існуючі схеми переходу від прямої задачі до двоїстої несуть змістовний характер. З огляду на цей факт запропонований та строго доведений алгоритм загального підходу до складання пар спряжених задач. Формалізація розробленої схеми дозволяє легко отримати правильні пари двоїстих задач. Показано, що аналіз ключової компетенції підприємства надає можливість запропонувати нову базу для формування стратегічного плану, виконання якого вестиме до появи (підтримки) стійкої конкурентної переваги, а також оцінити його потенціал з позиції фінансового плану і можливостей підприємства або бізнес-системи в цілому. **Висновки:** Розроблено інструменти аналізу та впровадження ключової компетенції в діяльності організації. Отримані в ході дослідження результати дозволяють констатувати, що запропоновано нову базу для формування стратегічного плану розвитку підприємства, використання якої приведе до стійкої конкурентної переваги, що стане можливим при втіленні ключової компетенції в зміни структури управління. Враховуючи, що організація може мати більш ніж одну ключову компетенцію, друга компетенція є двоїстою до вихідної, що дозволяє отримати загальний перехід від прямої до двоїстої компетенції.

Ключові слова: інноваційний проект; ієрархія управління; показники ефективності; вимірні ефекти; лінійна оптимізація; пряма задача; двоїста задача; спряжені задачі; цільова функція; система обмежень.

КЛЮЧЕВАЯ КОМПЕТЕНЦИЯ КАК ОСНОВА УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМИ ПРОЕКТАМИ

При реализации программы развития предприятия существующая ключевая компетенция организации может подвергаться значительным изменениям. Кроме того, при внедрении инноваций можно получить не только преимущества, но и дополнительные проблемы и даже риски. Следует заметить, что организация может иметь более чем одну ключевую компетенцию, особенно, если речь идет о внедрении изменения в структуре управления или выхода на новые рынки. Для такого класса задач классическая задача линейной оптимизации не подходит, так как не учитывает дополнительных условий, которые возникают при переходе организации из одного состояния в другое, именно за счет реализации программы развития. Поэтому для решения этой проблемы понадобится двойственная задача. **Предметом** исследования в данной статье является процесс внедрения ключевой компетенции, как основной составляющей управления инновационными проектами в деятельности организации. **Цель:** разработка инструмента внедрения ключевой компетенции в работу организации с помощью решения двойственной задачи линейной оптимизации. **Задачи:** проанализировать факторы, влияющие на результаты и возможности внедрения ключевой компетенции в деятельность организации, получить общий алгоритм перехода от прямой к двойственной компетенции. **Методы** исследования: логическое обобщение, анализ и синтез, структурный анализ. **Результаты:** В статье рассмотрена ключевая компетенция предприятия как основная составляющая управления инновационными проектами, которую предприятие реализует. Показано ее место и роль, которую она играет. Разработана модель описания проектов, которая описывает процессы, учитывающие влияние производственно-экономической системы на реализацию проектов. В статье предложен общий алгоритм построения пар двойственных задач линейной оптимизации. Существующие схемы перехода от прямой задачи к двойственной носят содержательный характер. Учитывая этот факт предложен и строго доказан обобщенный алгоритм составления пар сопряженных задач. Формализация разработанной схемы позволяет легко получить правильные пары двойственных задач. Показано, что анализ ключевой компетенции предприятия дает возможность предложить новую базу для формирования стратегического плана, выполнение которого приведет к появлению (поддержки) устойчивого конкурентного преимущества, а также оценить его потенциал с точки зрения финансового плана и возможностей предприятия или бизнес-системы в целом. **Выводы:** Разработаны инструменты анализа и внедрения ключевой компетенции в деятельность организации. Полученные в ходе исследования результаты позволяют констатировать, что предложена новая база для формирования стратегического плана развития предприятия, использование которого приведет к устойчивому конкурентному преимуществу, что станет возможным при воплощении ключевой компетенции в изменении структуры управления. Учитывая, что организация может иметь более чем одну ключевую компетенцию, вторая компетенция является двойственной к исходной, что позволяет получить общий переход от прямой к двойственной компетенции.

Ключевые слова: инновационный проект; иерархия управления; показатели эффективности; измеримые эффекты; линейная оптимизация; прямая задача; двойственная задача; сопряженные задачи; целевая функция; система ограничений.

Т. В. Филимончук, М. А. Волк, Д. Р. Казмина, Т. И. Ольшанская, М. В. Рисухин

МОДИФИЦИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАНИЙ НА РЕСУРСЫ ДЛЯ СИСТЕМ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Объектом исследования выступает процесс распределения пула входных заданий на вычислительные ресурсы в гибридных кластерных системах. **Предмет** исследования – информационная технология распределения заданий на вычислительные ресурсы гибридных кластерных систем. **Цель** – разработка и внедрение этапа имитационного моделирования в модифицированную информационную технологию распределения входящего пула заданий на вычислительные мощности гибридных кластерных систем. **Задачи:** на основе математических моделей заданий, вычислительных ресурсов и методов распределения модифицировать существующую информационную технологию распределения заданий; разработать информационную систему, которая будет выполнять автоматизированный процесс сбора и обработки полученных данных; сформировать ряд экспериментов по распределению входного пула заданий, на основе реализованных в среде имитационного моделирования методов распределения. **Методы** исследования базируются на использовании теории множеств, общей теории систем и теории имитационного моделирования. Получены следующие **результаты**. Предложена модифицированная информационная технология распределения программных заданий большой размерности на вычислительные ресурсы для систем облачных вычислений с использованием имитационной среды моделирования с последующим выбором наилучшего плана распределения по каждому пулу входных заданий. Предложенная информационная технология внедрена в имитационную среду моделирования, которая позволяет воспроизводить процесс функционирования элементарных событий, происходящих в реальных гибридных кластерных системах с сохранением логики их взаимодействия в реальном времени. **Выводы:** предложенная информационная технология объединяет процессы сбора, хранения, обработки и передачи данных с использованием предложенных в работе методов распределения, средства для дальнейшего анализа результатов моделирования и принятия решения о выполнении определенного действия (выбора наилучшего плана распределения). Использование в среде моделирования множества методов распределения позволяет провести серию экспериментов и на основании полученных результатов, осуществить выбор наилучшего плана распределения для конкретного входного пула заданий (на основании выбранной стратегии распределения).

Ключевые слова: информационная технология; методы распределения заданий на вычислительные ресурсы; связанность задач в заданиях; имитационная среда моделирования, план распределения.

Введение

В настоящее время появление новых информационных технологий, таких как облачные вычисления, GRID, гибридные кластерные системы, обусловило качественное развитие технологий решения задач большой вычислительной размерности. К наиболее перспективным направлениям можно отнести технологии параллельных и распределенных вычислений, которые являются основой облачных и GRID вычислений.

Распределенные вычисления – это способ решения трудоемких вычислительных задач с использованием двух или более компьютеров, которые объединены в единую сеть. Т.к. распределенные вычисления – это более общий случай параллельных вычислений (одновременное решение различных частей вычислительного задания несколькими процессорами одного или нескольких компьютеров), то необходимо, чтобы задания были сегментированы, т.е. разделены на подзадачи, которые могут решаться параллельно. При этом для распределенных вычислений приходится также учитывать возможное отличие в вычислительных ресурсах, которые будут доступны для расчета различных подзадач. Однако, следует помнить, что не каждое задание можно "распараллелить" и ускорить его решение с помощью распределенных вычислений.

Гибридные кластерные системы представляют собой географически распределенную инфраструктуру, построенную на множестве

разнородных сетевых ресурсов и используемую для решения научных задач, которые требуют большие вычислительные мощности. Распределение заданий на вычислительные ресурсы в кластерных системах происходит в несколько шагов. Вначале пользователь (поставщик задания) отправляет задание планировщику в виде запроса, который составлен с помощью специализированного языка описания. На данном шаге планировщику необходимы только технические требования задания для подбора вычислительных ресурсов для запуска. Планировщик использует сетевые сервисы для обнаружения доступных ресурсов системы, получения информации о состоянии ресурсов и их оценки. На основании полученной информации, планировщик производит анализ и отбирает те вычислительные ресурсы, которые пригодны для выполнения задания. На следующем шаге планировщик передает файловому менеджеру специализированных служб указания, на какие вычислительные ресурсы необходимо направить задание. Параллельно, на файловый менеджер, поступает задание в виде .exe файла, которое он и направляет на вычислительные ресурсы. До тех пор, пока задание не покинуло систему, файловый менеджер отслеживает ход его выполнения. Задача распределения входных заданий на вычислительные ресурсы в настоящее время актуальна, поскольку подбор ресурсов определяет эффективность использования всей системы, т.к. влияет на время простоя ресурсов, сокращает время и объемы передаваемой между ними информации.

Анализ последних исследований и публикаций

Планировщик заданий, занимающий основное место в кластерных системах, отвечает за построение расписания использования вычислительных ресурсов системы (плана назначения). Большая часть планировщиков, которые используются в настоящее время, в процессе распределения заданий не используют оптимизацию [1], а выбирают вычислительный ресурс, который первым подходит для его запуска. Также планировщики не рассматривают предварительное резервирование вычислительных ресурсов, а учитывают только очередность поступления заданий на вход системы [2, 3]. Однако использование резервирования при распределении заданий [4, 5] позволяет получить выигрыш по времени для входного пула заданий, что, в свою очередь, повышает эффективность использования вычислительных ресурсов всей системы. В работах [6–8] используются методы распределения, делающие упор на заданном ряде предпочтений, которые устанавливаются администратором, поставщиками заданий или вычислительных ресурсов. Использование таких предпочтений позволяет устранять простои отдельно взятых вычислительных ресурсов системы. Также существуют подходы, которые при распределении используют целочисленное линейное или смешанное программирование [9, 10]. В данном случае поставщики заданий задают временные рамки при использовании вычислительных ресурсов, что также повышает эффективность использования кластерной системы. Встречаются планировщики, которые позволяют воспользоваться сочетанием методов линейного программирования и генетических алгоритмов [11], что позволяет при составлении плана использования ресурсов учитывать стоимость их использования.

В работе [12] подбор вычислительных ресурсов осуществляется на основе логико-вероятностного алгоритма, который ориентирован на многоуровневое планирование заданий по заданным ранее критериям качества (стоимость, время выполнения, показатели надежности). В работе [13] авторами предложена классификация поступающих заданий по ряду параметров, которая выступает основой для создания надстройки для планировщика. Использование предложенной надстройки повышает эффективность использования ресурсов системы за счет ее оптимизации.

Использование методов комплексирования прогнозных оценок путем синтеза интервальных расширений [14], позволяет синтезировать модель комплексирования, что обеспечивает более высокую точность консолидированного краткосрочного прогноза.

В работе [15] обосновано применение проблемно-ориентированных методов планирования вычислительных задач, которые используют информацию о предметной области. Данные оценки

ресурсов вычислительных сред используются для более эффективного планирования.

Проведенный анализ существующих методов распределения позволяет сделать вывод, что существующие планировщики обладают рядом недостатков: отсутствует открытый программный код, большинство версий является платными, нет возможности воспользоваться при распределении несколькими методами распределения, отсутствует миграция заданий и восстановление их после программного сбоя. Однако основным недостатком любого планировщика выступает ориентированность их на решение конкретного класса задач. Следовательно, в настоящее время не существует универсального планировщика, который позволит распределить поступающие задания различных классов на вычислительные ресурсы с минимальными их простоями. Поэтому необходима разработка новых подходов при распределении заданий, которые должны учитывать и устранять недостатки в существующих решениях.

Цель работы – разработка и внедрение этапа имитационного моделирования в модифицированную информационную технологию распределения входящего пула заданий на вычислительные мощности гибридных кластерных систем.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- на основе математических моделей заданий, вычислительных ресурсов и методов распределения модифицировать существующую информационную технологию распределения заданий;
- разработать информационную систему, которая будет выполнять автоматизированный процесс сбора и обработки полученных данных;
- сформировать ряд экспериментов по распределению входного пула заданий, на основе реализованных в среде имитационного моделирования методов распределения.

Реализация информационной технологии распределения заданий на вычислительные ресурсы

Создание кластерной системы требует существенных капиталовложений, которые не всегда доступны поставщику заданий. Поэтому рациональным решением подбора оптимальных (для данного задания) вычислительных ресурсов является использование специализированных сред моделирования (MicroGrid, ChicSim, OptorSim, SimGrid, GridSim). Однако, проведенный анализ существующих сред моделирования показал, что они также обладают недостатками, основные из которых – это узкая специализация, ограниченность архитектур, отсутствие доступных и открытых версий, необходимость знания специализированных языков программирования. Поэтому необходима разработка среды моделирования, которая устранила бы недостатки в существующих решениях и позволит получить план распределения входного пула заданий в кластерной

системе, минимизируя время простоя ее вычислительных ресурсов.

Решением данной проблемы является использование имитационного моделирования, основанного на построении математической модели. Имитационная модель определяет множество правил, решающих в какое состояние система перейдет в будущем из заданного (текущего). Как правило, имитационная модель обладает гибкостью варьирования структуры, алгоритмов и параметров системы, а применение вычислительных средств существенно сокращает продолжительность испытаний по сравнению с натурным экспериментом (если он возможен), а также их стоимость.

Предложенная для моделирования имитационная среда [16] является компьютерной моделью кластерной системы, которая воспроизводит процесс функционирования во времени элементарных событий, протекающих в системе с сохранением логики их взаимодействия. Она позволяет произвести ряд вычислительных экспериментов, в ходе которых осуществляется сбор, анализ результатов моделирования, а также сопоставление полученных данных с реальным поведением исследуемого объекта.

В существующих кластерных системах задания распределяются на вычислительные ресурсы не по мере их поступления в систему, а в заданное время суток. Достоинством предложенной среды является возможность промоделировать процесс распределения заданий с помощью ряда методов распределения, используя реальные данные о заданиях и ресурсах системы. На основе результатов процесса моделирования происходит отбор "наилучшего" плана распределения, который в дальнейшем можно предложить реальной системе в качестве готового решения. Полученный план, как правило, минимизирует не только конечное время выполнения конкретного пула заданий, но и позволяет повысить эффективность использования вычислительных ресурсов кластерной системы.

Информационная технология – это совокупность методов, технических и программных средств, которые объединяются для сбора, хранения, обработки, передачи и отображения информации. Основная цель информационной технологии – это получение информации для дальнейшего анализа ее экспертом (или экспертной системой), который принимает решение по выполнению определенных действий. Информационная технология принятия решений (рис. 1) содержит три основных составляющих: базу моделей (БМ), базу данных (БД) и программную подсистему управления. Последняя включает в себе систему управления базой данных (СУБД), систему управления базой моделей (СУБМ) и систему управления интерфейсом между лицом, принимающим решение (ЛПР) и компьютером.

С помощью модели имеется возможность описания и оптимизации некоторого объекта. Как правило, модели в информационных технологиях реализуются командами алгоритмических языков, что

позволяет находить решения при гибком изменении ряда переменных. Одна информационная технология может оперировать рядом моделей, каждая из которых может дополнять или уточнять другую. Система управления базой моделей, в свою очередь, обеспечивает наполнение и функционирование базы моделей в соответствии с поставленными задачами.

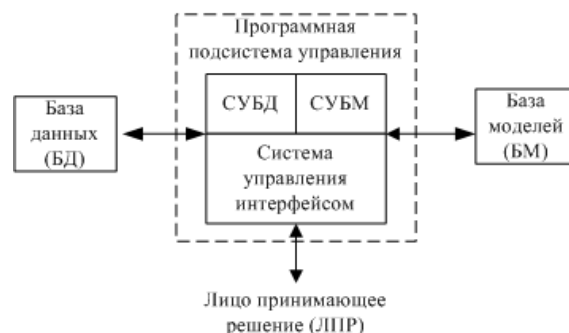


Рис. 1. Компоненты информационной технологии поддержки принятия решений

Для успешного функционирования информационной технологии необходима развитая информационная система, которая будет выполнять автоматизированный процесс сбора и обработки данных. Одним из таких средств являются базы данных. Вся информация заносится в нее с помощью источников данных, которые позволяют поддерживать целостность системы.

При организации базы данных необходимо сделать упор на возможности обеспечения информационных запросов пользователей и сохранении ряда данных, которые могут быть в дальнейшем проанализированы. В предложенном проекте будет использована реляционная модель базы данных, которая строится на основании обычных таблиц, разбитых на столбцы и строки, а на их пересечении, в ячейках, расположены данные.

Современные гибридные кластерные системы работают под управлением ОС Scientific Linux, т.к. данный дистрибутив содержит в себе набор программных компонентов, необходимых для организации серверной инфраструктуры. Также в состав дистрибутива входит ряд компонентов, которые необходимы для создания кластерной инфраструктуры. Как правило, сервер базы данных в Scientific Linux реализуется с помощью MySQL-системы управления базами данных, программное обеспечение является открытым, что позволяет применять и модернизировать его под свои задачи.

Вся информация, которой оперирует имитационная среда моделирования, хранится в базе данных таким образом, чтобы иметь возможность обеспечивать информационные запросы пользователей и рассредоточенно хранить данные (рис. 2).

Имитационная среда моделирования оперирует модулем Logger, который отвечает за ведение log-файлов. Данный модуль используется для получения статистической информации о распределении заданий на вычислительные ресурсы и, по мере

необходимости, анализа ее в дальнейшем. Предложенный модуль предоставляет возможность гибкого и централизованного ведения логов для всех плагинов среды моделирования. Среда оперирует несколькими типами log-файлов, фиксирующими ряд действий (поступление заданий и вычислительных ресурсов в систему, распределение заданий, отслеживание состояния заданий и ресурсов), что

позволяет при необходимости быстро получить требуемую информацию из БД. На основании полученной информации, можно осуществить выборку по необходимой информации с учетом различных критериев оценки, а также построить ряд графиков, которые отображают работу имитационной среды как в реальном времени (в ходе процесса моделирования), так и по результатам выборки.

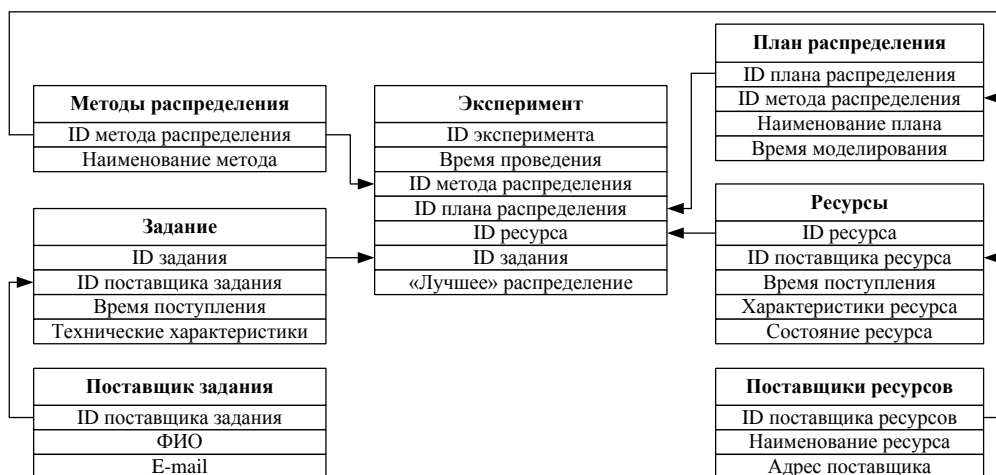


Рис. 2. Структура базы данных, используемая в имитационной среде моделирования

Задания, поступающие на вход кластерной системы разнородны, и, как было сказано выше, на данный момент не существует универсального планировщика для распределения конкретного пула заданий. Как правило, планировщик позволяет воспользоваться одним простым методом распределения, что приводит к высокому проценту проста вычислительных ресурсов системы. Однако, если при распределении учитывать ряд дополнительных параметров, то повысится эффективность использования вычислительных

ресурсов системы. Например, анализ задач в задании с точки зрения их связности позволит сократить время выполнения пула заданий в системе за счет устранения потерь по времени, которые вызваны обменом данных между отдельными задачами и программами поддержки распределенных вычислений. В данной статье предлагается модифицированная информационная технология распределения пула заданий на вычислительные ресурсы (рис. 3) с использованием имитационной среды моделирования.

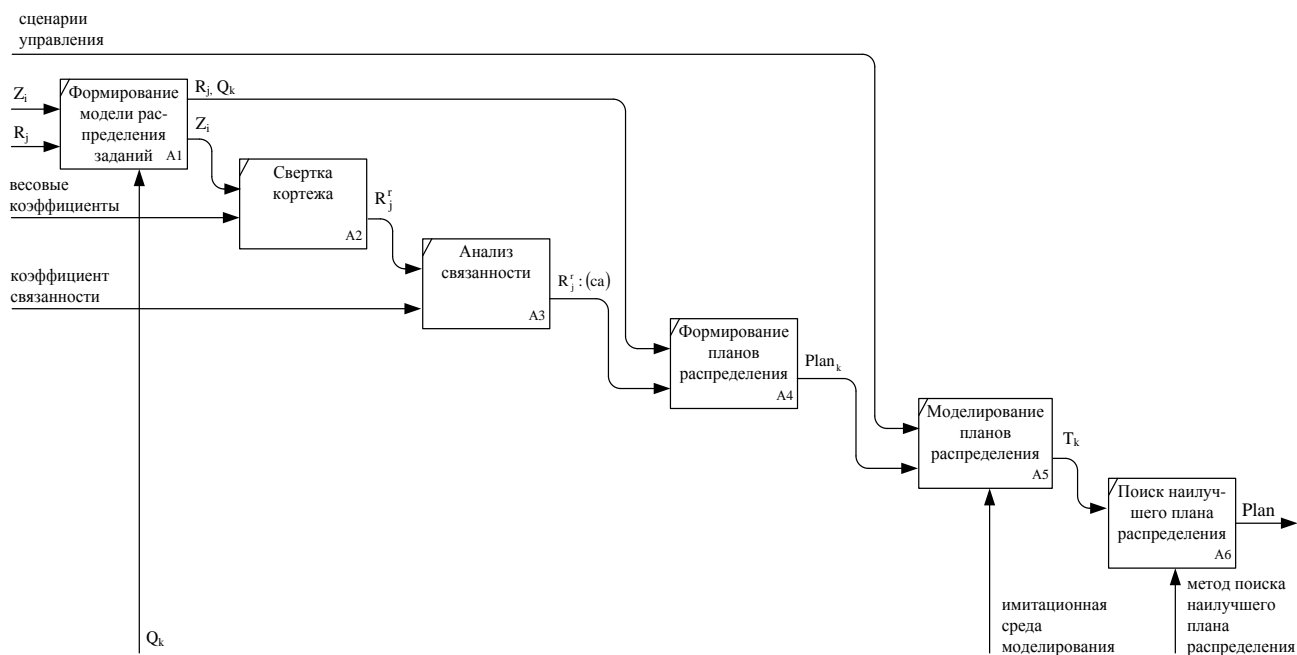


Рис. 3. Информационная технология распределения пула заданий на вычислительные ресурсы систем облачных вычислений

Исходными данными для предложенной технологии выступают три множества: множество входных заданий Z , множество вычислительных ресурсов R и множество методов распределения Q , т.е. $G = \{R, Z, Q\}$.

Формирование множества входных заданий происходит в ходе поступления в систему потока $\{Z_i, i = 1, 2, \dots, M\}$, $\forall i = 1..M$. Каждое задание характеризуется параметрами, которые необходимы для подбора вычислительных ресурсов

$$Z_i = \{ar_i^z, os_i^z, pc_i^z, ps_i^z, ms_i^z, dc_i^z, pr_i^z, ca_i^z, rt_i^z\}, \quad (1)$$

где ar_i – архитектура процессора; os_i – операционная система; pc_i – количество процессоров; ps_i – быстродействие процессоров; ms_i – объем оперативной памяти; dc_i – доступный объем винчестера; pr_i – приоритет задания; ca_i – коэффициент связности задач в задании; rt_i – время выполнения задания (время использования ресурса).

Таким же образом происходит формирование множества вычислительных ресурсов, которые образуют поток $\{R_j, j = 1, 2, \dots, N\}$, $\forall j = 1..N$. Каждый элемент данного множества описывается кортежем

$$R_j = \{ar_j^r, os_j^r, pc_j^r, ps_j^r, ms_j^r, dc_j^r, bw_j^r, d_j^r\}, \quad (2)$$

где bw_j – суммарная пропускная способность канала (от брокера до ресурса) с учетом состояния сети на текущий момент времени; d_j – суммарная задержка времени передачи пакета с учетом состояния сети на текущий момент времени.

Множество методов распределения описывается кортежем:

$$Q_k = \{mn_k, lp_k\}, \quad \forall k = 1..K, \quad (3)$$

где mn – метод распределения заданий на вычислительные ресурсы; lp – перечень входных параметров, учитываемых при распределении

Использование в системе множества методов распределения позволяет проведение серии экспериментов, состоящих из последовательных запусков исследуемой модели с изменением ряда параметров при каждом последующем запуске.

Среда моделирования оперирует модулем Algorithm Loader [17], который используется для параллельного запуска методов распределения с последующим выбором наиболее эффективного решения на основе сбора, анализа и интерпретации результатов моделирования. Модуль позволяет осуществить моделирование с использованием ряда методов распределения: FCFS, LIFO, HPF, Simplex, Smart, Backfill и Backfill mod [5]. Модуль Algorithm Loader также содержит два дополнительных блока: блок свертки кортежа и блок анализа связности задач в задании. Блок свертки кортежа производит расчет

обобщенного коэффициента оценки для каждого входного задания, что позволяет более продуктивно управлять процессом распределения на вычислительные ресурсы. Результатом работы данного блока является множество вычислительных ресурсов $\{R_j^r, j = 1, \dots, K\}$, которые были отобраны по каждому заданию на основании обобщенного коэффициента оценки задания.

Блок анализа связности учитывает степень связности задач задания [16], результатом работы данного блока является множество вычислительных ресурсов с учетом коэффициента связности задач в задании $\{R_j^r : (ca), j = 1, \dots, K\}$.

Множества заданий, вычислительных ресурсов и методов распределения могут быть расширены по мере необходимости, что делает предложенную модель распределения заданий гибкой по отношению к существующим.

После того как было сформировано множество вычислительных ресурсов, на которых может быть запущено задание, происходит формирование планов распределения $(Plan_k) f : Q_k \rightarrow Plan_k, \forall k = 1..K$, которые в дальнейшем будут направлены в блок, отвечающий за моделирование. В ходе процесса моделирования формируется время выполнения пула задания (T_k) для каждого метода распределения $(mn \in Q), f : Plan_k \rightarrow T_k, \forall k = 1..K$.

Параллельно происходит выбор критериев сравнения по каждому методу распределения: процент простоя вычислительных ресурсов, среднее время ожидания заданий в очереди по каждому из методов распределения и др. После чего с учетом заданных критериев происходит анализ планов распределения $(mn \in Q) f : Q_k \rightarrow T_k, \forall k = 1..K$. Результатом данного этапа является нахождение плана распределения с минимальным временем выполнения входного пула заданий и минимальным временем простоя вычислительных ресурсов $plan = \min t_k, \forall k = 1..K$.

Результаты исследований

Для исследования модифицированной информационной технологии распределения входного пула заданий на вычислительные ресурсы системы облачных вычислений был проведен ряд экспериментов. В соответствии с предложенными математическими моделями [16], сформированы пулы входных заданий с учетом класса задач в задании, вычислительные ресурсы и отобраны методы распределения. Далее в ходе работы среды моделирования были получены планы распределения (для каждого пула заданий) по каждому предложенному методу распределения. Полученные планы были промоделированы в среде имитационного моделирования и в результате получено время выполнения каждого пула заданий, которое отображено на рис. 4.

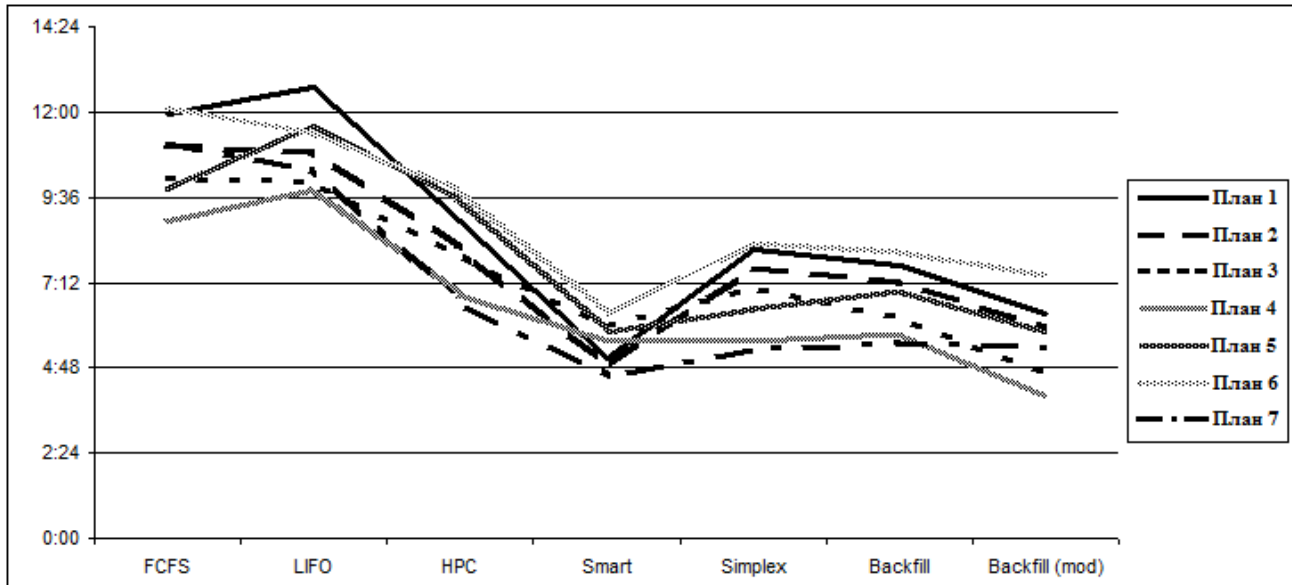


Рис. 4. Эксперименты распределения 7 пулов заданий на вычислительные ресурсы

Интерпретируя результаты моделирования можно подвести итог. Задания, поступающие в систему на распределение, разнородны и существующие планировщики не позволяют получить наилучшее распределение ресурсов с учетом класса задания. Класс задания влияет на метод распределения, и в ходе моделирования могут возникнуть различные выигрышные комбинации, т.е. использование единого брокера в имитационной среде моделирования не дает эффективного результата.

Однако благодаря наличию ряда методов распределения имеется возможность осуществить моделирование поступивших заданий на ресурсах, которые на данный момент присутствуют в системе и на основании полученных данных о времени выполнения данного пула и загруженности вычислительных ресурсов принять решение о целесообразности использования того или иного метода распределения. Предложенное решение в дальнейшем можно предложить реальной системе, что позволит сократить время нахождения заданий в системе и найти оптимальный вариант для функционирования вычислительных ресурсов, исключая простои системы, что повысит эффективность ее использования различными поставщиками заданий.

Выводы

Предложенная модифицированная информационная технология с использованием имитационной среды моделирования дает возможность промоделировать работу гибридной

кластерной системы в условиях обработки потоков разнородных заданий. Использование в среде ряда методов распределения позволяет осуществить моделирование работы каждого из них, и на основании результатов, осуществить выбор "наилучшего" плана распределения для входного пула заданий с учетом критерия оптимизации (процент простаивающих вычислительных ресурсов, среднее время ожидания заданий в очереди по каждому из методов распределения, время выполнения пула заданий и др.).

В ходе выполнения работы были промоделированы ситуации по распределению семи входных пулов заданий на вычислительные ресурсы в имитационной среде моделирования для различных методов распределения. Полученные результаты свидетельствуют о сокращении времени выполнения входного пула заданий до 20 % и повышении эффективности использования вычислительных ресурсов системы до 28 % для ряда методов распределения, которые присутствуют в среде моделирования. В настоящее время не существует метода распределения, который позволяет распределить задания таким образом, чтобы максимизировать эффективность использования вычислительных мощностей гибридных компьютерных систем. Предложенная технология предлагает решение, которое поможет администратору (или системе управления), по результатам моделирования, отобрать "наилучший" план распределения, который может быть предложен реальной системе, что повысит эффективность использования ее ресурсов.

Список литературы

1. Cafaro, M., Mirro, M., Aloisio, G. (2013), "Preference-Based Matchmaking of Grid Resources with CP-Nets", *Grid Computing*, Vol. 11 (2), P. 211–237. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10723-012-9235-2>
2. Rodero, I., Villegas, D., Bobroff, N., Liu, Y., Fong, L., Sadjadi, S. M. (2013), "Enabling Interoperability among Grid Meta-Schedulers", *Grid Computing*, Vol. 11 (2), P. 311–336. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10723-013-9252-9>

3. Мазалов В. В., Никитина Н. Н. Оценка характеристик алгоритма Backfill при управлении потоком задач на вычислительном кластере. *Вычислительные технологии*. 2012. Том 17, № 5. С. 71–79.
4. Волк М. А., Филимончук Т. В. Разработка модифицированного метода обратного заполнения Backfill для консервативного резервирования. *Системы обработки информации*. 2017. № 1 (147). С. 33–37.
5. Toporkov, V., Toporkova, A., Tselishchev, A., Yemelyanov, D. (2014), "Slot Selection Algorithms in Distributed Computing", *The Journal of Supercomputing*, Vol. 69 (1), P. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11227-014-1210-1>
6. Toporkov, V., Toporkova, A., Tselishchev, A., Yemelyanov, D. (2013), "Slot Selection Algorithms in Distributed Computing with Non-dedicated and Heterogeneous Resources", *PaCT 2013: Parallel Computing Technologies*, Vol. 7979, P. 120–134.
7. Топорков В. В., Бобченков А. В., Емельянов Д. М., Целищев А. С. Методы и эвристики планирования в распределенных вычислениях с неотчуждаемыми ресурсами. Вестник ЮУрГУ, серия "Вычислительная математика и информатика". 2014. Т. 3, № 2. С. 43–62.
8. Takefusa, A., Nakada, H., Kudoh, T., Tanaka, Y. (2010), "An Advance Reservation-Based Co-allocation Algorithm for Distributed Computers and Network Bandwidth on QoS-Guaranteed Grids", *JSSPP 2010: Job Scheduling Strategies for Parallel Processing*, Vol. 6253, P. 16–34.
9. Blanco, H., Guidaro, F., Lérída, J. L., Alboronz, V. M. (2012), "MIP Model Scheduling for Multi-Clusters", *Euro-Par 2012: Parallel Processing Workshop*, Vol. 7640, P. 196–206.
10. Garg, S., Konugurthi, P., Buyya, R. (2011), "A Linear Programming-driven Genetic Algorithm for Meta-scheduling on Utility Grids", *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, Vol. 26, P. 493–517.
11. Костромин Р. О. Модели, методы и средства управления вычислениями в интегрированной кластерной системе. *Фундаментальные исследования*. 2015. № 6. С. 35–38.
12. Феоктистов А. Г. Методология концептуализации и классификации потоков заданий масштабируемых приложений в разнородной распределенной вычислительной среде. *Системы управления, связи и безопасности*. 2015. № 4. С. 1–25.
13. Romanenkov, Yu., Danova, M., Kashcheyeva, V., Bugaienko, M., Volk, M., Karminska-Bielobrova, M., Lobach, O. (2018), "Complexification methods of interval forecast estimates in the problems on short-term prediction", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, No. 3 (93), P. 50–58. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.131939>
14. Радченко Г. И. Модель проблемно-ориентированной облачной вычислительной среды. *Труды Института системного программирования РАН*. 2015. Том 27, Вып. 6. С. 275–284. DOI: [https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2015-27\(6\)-17](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2015-27(6)-17)
15. Filimonchuk, T., Volk, M., Ruban, I., Tkachov, V. (2016), "Development of information technology of tasks distribution for grid-systems using the GRASS simulation environment", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling system*, Vol. 3, No. 9 (81), P. 45–53. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.71892>
16. Волк М. А., Филимончук М. А., Филимончук Т. В. Модуль распределения заданий в GRID-системах. *Системы обработки информации*. Харьков. ХУПС, 2012. № 2 (100). С. 177–182.

References

1. Cafaro, M., Mirto, M., Aloisio, G. (2013), "Preference-Based Matchmaking of Grid Resources with CP-Nets", *Grid Computing*, Vol. 11 (2), P. 211–237. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10723-012-9235-2>.
2. Rodero, I., Villegas, D., Bobroff, N., Liu, Y., Fong, L., Sadjadi, S. M. (2013), "Enabling Interoperability among Grid Meta-Schedulers", *Grid Computing*, Vol. 11 (2), P. 311–336. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10723-013-9252-9>.
3. Mazalov, V. V., Nikitina, N. N. (2017), "Evaluation of the characteristics of the Backfill algorithm when managing the flow of tasks on a computing cluster" ["Otsenka kharakteristik algoritma Backfill pri upravlenii potokom zadach na vychislitel'nom klaster'e"], *Computational Technologies*, Vol. 17, No. 5, P. 71–79.
4. Volk, M. A., Filimonchuk, T. V. (2017), "Development of a modified Backfill backfill method for conservative redundancy" ["Razrabotka modifitsirovannogo metoda obratnogo zapolneniya Backfill dlya konservativnogo rezervirovaniya"], *Information Processing Systems*, No. 1 (147), P. 33–37.
5. Toporkov, V., Toporkova, A., Tselishchev, A., Yemelyanov, D. (2014), "Slot Selection Algorithms in Distributed Computing", *The Journal of Supercomputing*, Vol. 69 (1), P. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11227-014-1210-1>
6. Toporkov, V., Toporkova, A., Tselishchev, A., Yemelyanov, D. (2013), "Slot Selection Algorithms in Distributed Computing with Non-dedicated and Heterogeneous Resources", *PaCT 2013: Parallel Computing Technologies*, Vol. 7979, P. 120–134.
7. Toporkov, V. V., Bobchenkov, A. V., Emelyanov, D. M., Tselishchev, A. S. (2014) "Planning methods and heuristics in distributed computing with inalienable resources" ["Metody i evristiki planirovaniya v raspredelennykh vychisleniyakh s neotchuzhdaemymi resursami"], *Bulletin of the South Ural State University*, Vol. 3, No. 2, P. 43–62.
8. Takefusa, A., Nakada, H., Kudoh, T., Tanaka, Y. (2010), "An Advance Reservation-Based Co-allocation Algorithm for Distributed Computers and Network Bandwidth on QoS-Guaranteed Grids", *JSSPP 2010: Job Scheduling Strategies for Parallel Processing*, Vol. 6253, P. 16–34.
9. Blanco, H., Guidaro, F., Lérída, J. L., Alboronz, V. M. (2012), "MIP Model Scheduling for Multi-Clusters", *Euro-Par 2012: Parallel Processing Workshop*, Vol. 7640, P. 196–206.
10. Garg, S., Konugurthi, P., Buyya, R. (2011), "A Linear Programming-driven Genetic Algorithm for Meta-scheduling on Utility Grids", *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, Vol. 26, P. 493–517.
11. Kostromin, R. O. (2015), "Models, methods and controls for computing in an integrated cluster system" ["Modeli, metody i sredstva upravleniya vychisleniyami v integrirovannoy klaster'noy sisteme"], *Fundamental research*, No. 6, P. 35–38.
12. Feoktistov, A. G. (2015), "Methodology of conceptualization and classification of task flows of scalable applications in a heterogeneous distributed computing environment" ["Metodologiya kontseptualizatsii i klassifikatsii potokov zadaniy masshtabiruemykh prilozheniy v raznorodnoy raspredel'noy vychislitel'noy srede"], *Systems of Control, Communication and Security*, No. 4, P. 1–25.
13. Romanenkov, Yu., Danova, M., Kashcheyeva, V., Bugaienko, M., Volk, M., Karminska-Bielobrova, M., Lobach, O. (2018), "Complexification methods of interval forecast estimates in the problems on short-term prediction", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, No. 3 (93), P. 50–58. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.131939>.

14. Radchenko, G. I. (2015), "Model of Problem-Oriented Cloud Computing Environment" ["Model problemno-orientirovannoi oblachnoi vichislitelnoi sredi"], *Proceedings of the Institute for System Programming*, Vol. 27, Issue 6, P. 275–284. DOI: [https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2015-27\(6\)-17](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2015-27(6)-17).

15. Filimonchuk, T., Volk, M., Ruban, I., Tkachov, V. (2016), "Development of information technology of tasks distribution for grid-systems using the GRASS simulation environment", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling system*, Vol.3, No. 9 (81), P. 45–53. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.71892>.

16. Volk, M. A., Filimonchuk, M. A., Filimonchuk, T. V. (2012), "Job distribution module in GRID systems" ["Modul raspredeleniya zadaniy v GRID-sistemah"], *Information Processing Systems*, No. 2 (100), P.177–182.

Поступила (Received) 04.12.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Філімончук Тетяна Володимирівна – кандидат технічних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри електронних обчислювальних машин, Харків, Україна; e-mail: tetiana.filimonchuk@nure.ua; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9440-9883>.

Филимончук Татьяна Владимировна – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры электронных вычислительных машин, Харьков, Украина.

Filimonchuk Tetiana – PhD (Engineering Sciences), Kharkov National University of Radio Electronics, Associate Professor at the Department of Electronic Computer, Kharkiv, Ukraine.

Волк Максим Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри електронних обчислювальних машин, Харків, Україна; e-mail: maksym.volk@nure.ua; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4229-9904>.

Волк Максим Александрович – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры электронных вычислительных машин, Харьков, Украина.

Volk Maksym – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Kharkov National University of Radio Electronics, Associate Professor at the Department of Electronic Computer, Kharkiv, Ukraine.

Рісухін Максим Володимирович – Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірант кафедри електронних обчислювальних машин, Харків, Україна; e-mail: risuhin.max@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0085-3559>.

Рисухин Максим Владимирович – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, аспирант кафедры электронных вычислительных машин, Харьков, Украина.

Risukhin Maksym – Kharkiv National University of Radio Electronics, Postgraduate Student at the Department of Electronic Computers, Kharkov, Ukraine.

Ольшанська Тетяна Ігорівна – Державне підприємство "Український науково-технічний центр металургійної промисловості "Енергосталь" (ДП "УкрНТЦ "Енергосталь"), провідний інженер, Харків, Україна; e-mail: olsh_t@gmail.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1138-9969>.

Ольшанская Татьяна Игоревна – ГП "УкрНТЦ "Енергосталь", ведущий инженер, Харьков, Украина.

Olshanska Tetiana – State Enterprise "Ukrainian Research & Technology Center of Metallurgy Industry "Energestal", Senior Engineer, Kharkiv, Ukraine.

Казьміна Дарина Радіонівна – Харківський національний університет радіоелектроніки, студент кафедри електронних обчислювальних машин, Харків, Україна; e-mail: daryna.kazmina@nure.ua; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8338-8562>.

Казьмина Дарина Радионовна – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, студент кафедры электронных вычислительных машин, Харьков, Украина.

Kazmina Darina – Kharkiv National University of Radio Electronics, Student at the Department of Electronic Computers, Kharkov, Ukraine.

МОДИФІКОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ РОЗПОДІЛЕННЯ ЗАВДАНЬ НА РЕСУРСИ ДЛЯ СИСТЕМ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Об'єктом дослідження виступає процес розподілу пулу вхідних завдань на обчислювальні ресурси в гібридних кластерних системах. **Предмет** дослідження – інформаційна технологія розподілу завдань на обчислювальні ресурси гібридних кластерних систем. **Мета** – розробка та впровадження етапу імітаційного моделювання в модифіковану інформаційну технологію розподілу вхідного пулу завдань на обчислювальні ресурси гібридних кластерних систем. **Задачі**: на основі математичних моделей завдань, обчислювальних ресурсів та методів розподілу модифікувати існуючу інформаційну технологію розподілу завдань; розробити інформаційну систему, яка буде виконувати автоматизований процес збору та обробки отриманих даних; сформувати ряд експериментів з розподілу вхідного пулу завдань, на основі реалізованих в середовищі імітаційного моделювання методів розподілу. **Методи** дослідження базуються на використанні теорії множин, загальної теорії систем та теорії імітаційного моделювання. Отримано наступні **результати**. Запропоновано модифіковану інформаційну технологію розподілу програмних завдань великої розмірності на обчислювальні ресурси для систем хмарних обчислень з використанням імітаційного середовища моделювання з подальшим вибором найкращого плану розподілу по кожному пулу вхідних завдань. Запропонована інформаційна технологія впроваджена в імітаційне середовище моделювання,

яке дозволяє відтворювати процес функціонування елементарних подій, які відбуваються в реальних гібридних кластерних системах зі збереженням логіки їх взаємодії в реальному часі. **Висновки:** запропонована інформаційна технологія об'єднує процеси збору, зберігання, обробки та передачі даних з використанням запропонованих в роботі методів розподілу, засоби для подальшого аналізу результатів моделювання та прийняття рішення про виконання певної дії (вибору найкращого плану розподілу). Використання в середовищі моделювання множини методів розподілу дозволяє провести серію експериментів і на підставі отриманих результатів, здійснити вибір найкращого плану розподілу для конкретного вхідного пулу завдань (на підставі обраної стратегії розподілу).

Ключові слова: інформаційна технологія; методи розподілення завдань на обчислювальні ресурси; пов'язаність задач у завданні; імітаційне середовище моделювання; план розподілення.

THE MODIFIED INFORMATION TECHNOLOGY FOR THE DISTRIBUTION OF RESOURCE TASKS FOR CLOUD COMPUTING SYSTEMS

The **object** of the research is the process of distribution a pool of input tasks for computing resources in hybrid cluster systems. The **subject** of the research is information technology of distribution tasks for computing resources of hybrid cluster systems. The **goal** is to develop and to implement a simulation stage in a modified information technology for distributing the incoming task pool to the computing power of hybrid cluster systems. **Tasks:** to modify the existing information technology of task distribution on the basis of mathematical models of tasks, computing resources and distribution methods; to develop an information system that will perform an automated process of collecting and processing the data; to form a series of experiments on the distribution of the input task pool, based on the distribution methods implemented in the simulation environment. **Research methods** are based on the use of the theory of sets, the general theory of systems and the theory of simulation modeling. The **results** received. The modified information technology of distribution of program tasks of big dimension for computing resources for the systems of cloud computing with the use of the simulation environment of modeling with the subsequent choice of the best dispersion plan on each pool of input tasks is offered. The proposed information technology has been introduced into a simulation environment that allows reproducing the process of functioning of elementary events occurring in the real hybrid cluster systems while preserving the logic of their interaction in a real time. **Conclusions:** The proposed information technology combines the processes of collecting, storing, processing and transmitting data using the offered distribution methods, means for further analyzing the results of modeling and deciding whether to perform a specific action (choosing the best distribution plan). The use of a set of distribution methods in the simulation environment allows to conduct a series of experiments and, based on the results obtained, select the best distribution plan for a particular input task pool (on the basis of the selected strategy of distribution).

Keywords: information technology; methods of distribution of tasks for computing resources; coherence of tasks in a job; simulation environment, distribution plan.

O. IASTREMSKA, H. STROKOVYCH

MAIN TRENDS OF INVESTMENT AND INNOVATIVE ACTIVITY OF BUSINESS ENTITIES IN THE CONDITIONS OF EUROPEAN INTEGRATION

The **subject** of the research in the article is the main tendencies of investment and innovation activity of business entities. The **purpose** of the work is to determine the main tendencies of investment and innovation activity of economic entities at the international, macro and microeconomic levels in the conditions of European integration with application of methods of economical and mathematical modeling. **Task:** definition of integral indicator of investment and innovation activity of economic entities at international, macro and microeconomic levels. To achieve the goal, the following **methods** were used: abstract-logical method, method of analysis and synthesis, logical-content analysis - formation and substantiation of the system of indicators of evaluation of investment and innovation activity of subjects of management; generalization and abstracting - the study of categorical apparatus of investment and innovation activity of business entities, multidimensional factor analysis - for the classification and systematization of the space of signs of research and the grouping of factors by their economic content. The following **results** are obtained: to increase the objectivity and reliability of the analysis, the corresponding integral indicators characterizing each level are combined into a generalized integral index of investment and innovation activity of economic entities, calculated by the method of additive convolution, taking into account the coefficients of significance of each level. Significance is determined on the basis of the use of expert survey method taking into account the predominance: for foreign investments and for domestic investments. **Conclusions:** the theoretical and methodical approach to the definition of investment and innovation activity of economic entities is proposed, which provides the opportunity to determine the most influential factors on the level of investment-innovation activity economic entities at the international, macro- and microeconomic levels in the context of European integration and provides an integrated valuations taking into account the predominance of foreign or domestic investment, which contributes to the adoption of sound management decisions.

Keywords: investment and innovation activity; European integration; trends; economic levels; business entities.

Introduction

Globalization processes have a significant impact on the economy of any country, but the global investment's flows and the growth of the level of intensity of innovation activity, as one of the main tools for improving the competitive position, significantly affects the state of investment and innovation activity of economic entities, especially those located in the territories of countries, which occupy insufficiently high positions in the relevant world rankings. In particular, Ukraine at the global level of competitiveness ranks the 83th place in 2017-2018 (Source: The Global Competitiveness Report). Therefore, one of the ways to overcome this situation is to identify the main trends in changing the investment and innovation activity of economic entities, which determines the feasibility of applied research aimed at increasing their level.

Literature review

In order to ensure the progressive development of business entities in a highly dynamic competitive environment, it is expedient to gradually introduce the innovations that can be realized only through the use of investments. Therefore, the issue of improving the investment and innovation activity of business entities seems to be relevant.

For the implementation of the innovation activity it is important to ensure the investment resources.

According to the law "On investment activity" (1991), investments are "all types of property and intellectual property that are invested in objects of entrepreneurial activity and other kinds of activity, which results in the creation of profit (income) and / or social

and environmental effect" (Article 1).

McConnell and Brue (2003) pointed out that investments are "the costs of building new factories, machines, equipment with a long service life, the cost of production and accumulation of means of production and the increase of material stocks, the cost of improving education, health of workers or to increase mobility of labor".

Balabanov (2001) and Melkumov (2014) define investments as "the use of financial resources in the form of long-term capital investments".

Fedorenko (2013) considers investments as "a capital investment in order to further increase it. The growth of the capital as a result of the investment is a compensation of the risk of losses from inflation and the non-receipt of interest from banking capital investments."

Mertens (2011) regards investments as "today's costs, which are aimed at obtaining future benefits."

Hence, investments are all types of financial, property, intellectual property, which ensure the success of European integration of domestic business entities through the intensification of their innovation activities.

Therefore, it is very important to realize the investment activity. According to the Law "On Investment Activity":

1. Investment activity is a set of practical actions of citizens, legal entities and the state in terms of investment.

2. Investment activity is carried out on the basis of:

- investment by citizens, non-state enterprises, economic associations, unions and societies, as well as public and religious organizations, other legal entities based on collective ownership;

- state investment, carried out by state authorities at the expense of the state budget, loan funds, as well as state enterprises and institutions at the expense of their own and borrowed funds;

- local investment by local governments at the expense of local budgets, borrowed funds, as well as municipal enterprises and institutions at the expense of their own and borrowed funds;

- state support for the implementation of investment projects;

- foreign investment carried out by foreign states, legal entities and citizens of foreign states;

- joint investment by legal entities and citizens of Ukraine, legal entities and citizens of foreign countries.

Balan (2014) considers investment activity as a modern investment process can be defined as a phenomenon that is accompanied by the adoption of investment decisions in real time against the background of building models and mechanisms for the attraction and use of investments.

Muzychenko (2014) emphasizes that investment activity is a coherent set of actions of its subjects (investors, participants) in order to make investments in order to receive income.

Petrenko (2012) believes that investment activity is an activity associated with investing in investment objects in order to receive profits [6]. In the narrow sense, as noted

Semenyuta (2010) considers investment activity at the microeconomic level and indicates that its purpose is to generate profit or to generate additional income, achieve social benefits, ensure development, increase the market value of capital, reflected on the amount of capital employed, or on the growth of operating capital, the consequence of investing at the macro level is the achievement of economic growth.

Summarizing the presented definitions and taking into account the objective of investment activity, one should understand the set of practical actions carried out at the international, macro and microeconomic levels in the context of European integration and characterized by investing financial, property, intellectual property, which ensure the success of European integration of domestic business entities through activation their innovation activities.

Investment activity is the basis for innovation. The term "innovation" consists of two words: the first is the Latin "innovation" (novelty, innovation) and the second - the English prefix "in", which means "input".

The Law of Ukraine "On Innovation Activity" (2002) defines the term "innovations" as "newly created (applied) and (or) improved competitive technologies, products or services, as well as organizational and technical decisions of an industrial, administrative, commercial or other nature that significantly improve the structure and quality of production and (or) social sphere."

Drucker (2007) sees innovation as "a special tool for entrepreneurs, a tool by which they use change as a chance to implement a new type of business or service."

According to Schumpeter (2008), innovation is the use of new combinations of existing productive forces to solve commercial problems. The author distinguishes the following types of innovations: the production of a new product that is not familiar to consumers or a product with qualitatively new properties; introduction of new means of production; development of a new market in a certain

branch of the country; search of new sources of raw materials and semi-finished products; application of new organizational forms.

Twiss (1989) sees innovation as "a process in which an invention or idea becomes economically meaningful."

Sakhal (1985) defines innovation as an element that derives the entire economic system from equilibrium.

Dodgson (2000) includes the scientific, technological, organizational and financial activities in the innovation process, which will lead to the commercial introduction of a new (or improvement) product or production process.

Nixon (1997) considers innovation based on the application of the process approach and understands as a set of technical, production and commercial measures that lead to the emergence of new and improved industrial processes and equipment on the market.

According to Santo (1990), innovation is a social, technical, economic process, which, through the practical use of ideas and inventions, leads to the creation of the best in their properties of products, technologies.

Dorofeev, Drevyanikov (2003) believe that innovation is the ultimate result of innovations that has been incarnated in the form of new or improved: product, process, new approach to social problems.

According to the OECD / Eurostat (2018) guidelines for the collection, presentation and use of innovation data: "Innovation is a basis for raising the standard of living and can affect people, institutions, sectors of the economy and countries in different ways. Measuring innovation and using innovative data in research can help policymakers improve understanding of economic and social change, assess the contribution (positive or negative) of innovation to achieve social and economic goals, and monitor and evaluate effectiveness and effectiveness of their policies."

Dycha, Tanasienko, Kolisnik (2017) consider the introduction of innovations as a key factor in the growth of labor productivity. Resler, Kuril, Logvinenko, Makhinchuk, Ivanishchuk (2018) interpret innovations in the following way:

1) innovation in the broadest sense - as any change that raises the competitiveness of business entities;

2) innovation in the narrow sense - as a process of transformation of scientific achievements into production;

3) innovations that are introduced into economic practice.

Consequently, innovations are the first created or improved organizational, production, logistics, information and other technologies that ensure the success of European integration of domestic business entities.

Implementation of innovations is impossible without innovation. According to the law "On Investment Activities (1991), innovation activity is" a set of measures aimed at the creation, implementation, dissemination and implementation of innovations in accordance with the Law of Ukraine "On Innovation Activity" (2002) in order to obtain the commercial and / or social effect that is being carried out through the implementation of investments invested in objects of innovation activity" (Article 3).

The Law of Ukraine "On Innovation Activity" (2002) defines innovation activity as "activity aimed at the use and commercialization of the results of research and development and promotes the launch of new competitive products and services on the market" (Article 1).

Bliznyuk (2008) characterizes innovation activity as a complex dynamic system of measures for the use of the results of completed scientific and technological research, organizational and economic development or other scientific and technological achievements, which functions under the influence of environmental factors of all levels (external and internal) in order to meet the changing individual demand and the needs of society as a whole in competitive products (goods, works, services).

Zavlin, Kazantsev, Mindeli (1998) indicate that innovation activity is aimed at using the results of scientific research and development for the expansion and updating of the nomenclature and improvement of the quality of products (goods, services), the improvement of the technology of their production, with subsequent implementation and effective implementation on domestic and foreign markets.

Zyanko (2005) notes that innovation activity is a complex dynamic system of interaction and interaction of different methods, factors and management bodies engaged in innovation research, the creation of new types of goods, improvement of the technological process, equipment or labor, organizational forms of production, etc. based on the latest scientific and technological achievements. This is the activity of planning, financing and coordination of scientific and technological progress, which is related to the improvement of economic levers and incentives, the development of a system of actions for the management of a set of interdependent processes or activities that are one way or another aimed at accelerating the intensive development of scientific and technological progress and increase socio-economic efficiency of production.

Kozmenko S.M. (2010) emphasizes that innovation activity is associated with the processes of creation, introduction and dissemination of innovations.

Consequently, innovation activities are activities aimed at intensifying the implementation of research and development, attracting existing developments at the international, macro- and microeconomic levels to the activities of domestic business entities with a view to their successful European integration.

Consequently, the economic terms of "investment" and "innovation", investment and innovation activities are interconnected and condition one another. In addition, in the conditions of expediency of integration into the international economic community, it is expedient to see the growth of the investment and innovation activity of economic entities.

Rayevneva and Grinevich (2012) proposed to evaluate the investment and innovation activity of the state using statistical tools for assessing the intensity of change in quantitative indicators.

Grishko, Koleshchuk and Lesik (2011) substantiated the indicators of quantitative assessment of the degree of innovation and investment activity of enterprises and the investment and innovation potential of enterprises.

Kharazishvili (2015) proposed to assess the country's investment and innovation security using indicators based on macroeconomic indicators.

Mikhalov (2011) proposes to assess the quality of the structure of investment by their innovation (progressiveness). The author combines investment and innovation in one indicator, which allows him to be considered an integral indicator of activity both at the beginning and at the stage of completion of the innovation process.

Bogutskaya (2017) supplemented Michalov's approach (2011) to determining the level of investment and innovation activity of industrial enterprises on the basis of the application of multi-level gradation - passive, medium-active, active.

In addition, the growth of the investment and innovation activity of business entities is the basis for the improvement of business activity in the country and in the world as a whole. The analysis, conducted by Ponomarenko, Gontarevo (2017), indicates a reduction in the number of innovative enterprises by reducing the sources of funding from both the state and large businesses.

At the same time, despite a large number of scientific papers in the field of analysis of investment and innovation activity of business entities, some issues remain controversial, only some aspects of the given problem which require further research are considered.

Methods

The purpose of the article is to determine the main tendencies of investment and innovation activity of economic entities at the international, macro and microeconomic levels in the conditions of European integration with application of methods of economical and mathematical modeling.

To achieve the goal, the following methods were used: abstract-logical method, method of analysis and synthesis, logical-content analysis - formation and substantiation of the system of indicators of evaluation of investment and innovation activity of subjects of management; generalization and abstraction - the study of categorical apparatus of investment and innovation activity of business entities, multidimensional factor analysis - for the classification and systematization of the space of signs of research and factorization of their economic content.

Results

In the conditions of high competition both in international and domestic markets, a significant number of factors affect the investment and innovation activity of business entities. It is therefore advisable to determine the main trends at three levels: international, national, business entities.

The most informative indicator characterizing the investment and innovation activity of business entities at the international level is the global innovation index, which consists of two groups of indicators: available resources and conditions for innovation (Innovation Input)

and achieved innovative results of innovation (Innovation Output). Information on dynamics of values of the global index of innovations and their components for 2013-2018 is presented in the table 1.

Table 1. Dynamics of values of the global index of innovations and their components for 2013-2018. Source: The Global Innovation Index

No.	Indicator	2013		2014		2015		2016		2017		2018	
		Rank	Score	Rank	Score	Rank	Score	Rank	Score	Rank	Score	Rank	Score
1.	Global Innovation Index	71	35,78	63	36,26	64	36,50	56	35,72	50	37,62	43	38,50
2.	Innovation Input	83	37,91	88	38,15	84	39,06	76	38,91	77	41,05	75	40,45
3.	Innovation Output	58	33,65	46	34,37	47	33,85	40	32,53	40	34,19	35	36,59
4.	1. Institutions	105	51,39	103	52,90	98	52,25	101	48,71	101	47,9	107	49,09
5.	2. Human capital and research	44	37,93	45	36,56	36	40,39	40	40,80	41	39,58	43	37,93
6.	3. Infrastructure	91	25,98	107	27,09	112	26,32	99	32,33	90	39,30	89	38,08
7.	4. Market sophistication	82	44,04	90	45,14	89	43,94	75	42,11	81	43,18	89	42,68
8.	5. Business sophistication	79	30,23	87	29,07	78	32,39	73	30,59	51	35,28	46	34,38
9.	6. Knowledge and technology outputs	45	31,98	32	38,17	34	36,39	33	34,05	32	32,76	27	36,69
10.	7. Creative outputs	81	35,33	77	30,56	75	31,31	58	31,01	49	35,62	45	36,49

Available resources and conditions for innovation include: institutional support; human capital and research; infrastructure; development of the domestic market; business development.

In particular, a group of indicators characterizing available resources and terms of innovation, indirectly takes into account investment activity, through a thorough analysis of the development of the domestic market, which focuses on the analysis of credit (ease of "obtaining a loan", private loans to the private sector, microfinance institutions with a large loan portfolio) and investments

(ease of protection of investors, market capitalization, total value of shares).

In the framework of the achieved practical results of innovation, the analysis of the development of technology and knowledge economy and the results of creative activity are used.

The dynamics of the position in the ranking of the Global Index of Innovation for 2013–2018 is presented in fig. 1. Optimization criterion – the minimization.

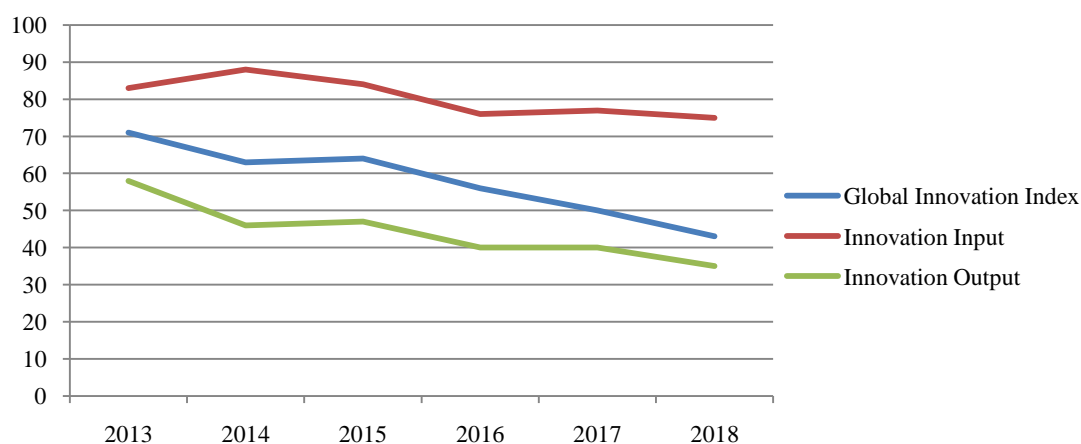


Fig. 1. Dynamics of values of indexes of investment and innovation activity of business entities at the international level for 2013–2018. Source: The Global Innovation Index

The analysis of the data presented in fig. 1 shows that during the period of 2013–2018 the dynamics of the global index of innovations and the achieved practical results of innovations characterizing the investment-innovation activity of economic entities at the international level have a significant improvement, except for 2016. The available resources and conditions for

innovation in 2018 were slightly worsened. On the whole, the current dynamics indicate a significant improvement of Ukraine's position in the ranking of the Global Index of Innovation.

Thus, the given index allows estimating investment-innovative activity of business entities in Ukraine in comparison with other countries. According to the

information provided the Ukraine's position on the global innovation index is characterized by the positive dynamics. Ukraine moved from the 71st place in 2013 to the 43rd place in 2018.

However, such components as the results in the field of knowledge and technologies, creative results and business development have improved most significantly

(fig. 2). The components that characterize human capital and research, and infrastructure are virtually unchanged. On the contrary, due to the institutional support and development of the domestic market, the situation has deteriorated significantly and requires the adoption of urgent relevant management decisions to address the problems that have arisen (fig. 2).

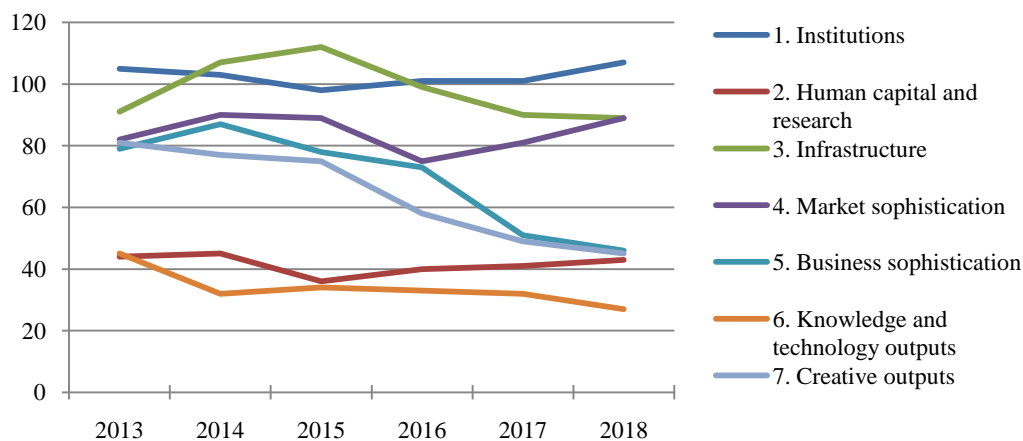


Fig. 2. The dynamics of the components of the global innovation index for 2013–2018. Source: The Global Innovation Index

The next step in the study of investment and innovation activity of business entities is to identify the main trends at the macroeconomic level. In table 2

the information describing the cost of research and development by type of work in Ukraine is presented.

Table 2. Sources of financing of innovation activity of industrial enterprises. Source: the State Statistics Service of Ukraine

Period	Total amount of expenses	Including at the expense of funds				Growth rate of total cost (up to the previous period)
		own	state budget	foreign investors	other sources	
mln. UAH						
2010 ¹	8045,5	4775,2	87	2411,4	771,9	–
2011 ¹	14334	7585,6	149,2	56,9	6542,2	1,781617
2012 ¹	11481	7335,9	224,3	994,8	2925,6	0,800963
2013 ¹	9562,6	6973,4	24,7	1253,2	1311,3	0,832907
2014 ^{1,2}	7695,9	6540,3	344,1	138,7	672,8	0,804792
2015 ^{1,2}	13814	13427	55,1	58,6	273	1,794982
2016 ²	23230	22036	179	23,4	991,1	1,681627
2017 ²	9117,5	7704,1	227,3	107,8	1078,3	0,392488

¹ data are given without taking into account the temporarily occupied territory of the Autonomous Republic of Crimea, Sevastopol and parts of temporarily occupied territories in the Donetsk and Luhansk regions;

² data are based on the results of the state statistical observation in the form of the number of ITN "Survey of innovation activity of enterprises for the period 2014–2016 years" (according to the international methodology).

According to the information presented in table 2 the growth rates of total expenditures (up to the previous period) are characterized by a positive trend only in 2011, 2015, 2016, which indicates the presence of negative trends and insufficient amount of funding for innovation activities of industrial enterprises. In 2017, compared with 2016, there was a significant decline in the financing of innovation activities of industrial enterprises at their own expense (decreased by 2.86 times). This testifies to the existence of a negative trend regarding the fact that enterprises practically reduce investment and innovation activity.

Therefore, it is expedient to conduct an analysis of capital investment by sources of financing (table 3).

The information presented in table 3 shows the gradual growth of volumes of capital investment in all sources of financing in 2011, excluding households for housing construction. In 2012, the positive tendency remains for financing at the expense of local budgets, own funds of enterprises and organizations, loans from banks and other loans, other sources of financing, restored relative to the population's funds for housing construction. During 2013-2014, there is a negative tendency towards funding from sources such as funds from state and local budgets, own funds of enterprises and organizations, bank loans and other loans, public funds for housing construction, and other sources of financing. In the period from 2015 to 2017, the positive trend is restored to such

sources as funds of state and local budgets, own funds of enterprises and organizations.

Table 3. Capital investment by the sources of financing. Source: the State Statistics Service of Ukraine

Sources of financing	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Total	180576	241286	273256	249873	219420	273116	359216	448462
incl. at the expense of								
the state budget funds	10223	17377	16288	6174,9	2738,7	6919,5	9264,1	15295
the local budgets funds	5730,8	7746,9	8555,7	6796,8	5918,2	14260	26817	41566
own funds of enterprises and organizations	111371	147570	171177	165787	154630	184351	248769	310062
bank credits and other loans	22888	36652	39725	34735	21739	20740	27106	29589
funds of foreign investors	3723,9	5038,9	4904,3	4271,3	5639,8	8185,4	9831,4	6206,4
funds of the population for housing construction	18886	17589	22576	24072	22064	31985	29933	32803
other sources of funding	7752,5	9312,8	10031	8036,7	6690,2	6674,7	7495,5	12941

In 2015–2017, financing increases at the expense of foreign investors, but in 2017 they are reduced by 42 %. Also, more than 5 times the funding from other sources decreased in 2017 in comparison with 2016. But in general, Capital investment by sources of financing during 2015–2017 grew more than 1.64 times. Therefore, on the basis of table 2, 3 it should be concluded that the overall funding volume is increasing during 2014–2017, but the

innovation activity decreased significantly by 2.86 times in 2017 compared to 2016.

Of particular importance for the growth of investment and innovation activity of economic entities is the implementation of costs for the implementation of scientific research and development by types of works, which is presented in table 4.

Table 4. Expenditures for carrying out scientific researches and developments by the types of works, mln.UAH. Source: the State Statistics Service of Ukraine

Period	Total, in actual prices	Including execution of		
		fundamental research	applied scientific research	scientific-technical (experimental) developments
2010 ¹	8107,1	2175	1589,4	4342,7
2011 ¹	8513,4	2200,8	1813,9	4498,7
2012 ¹	9419,9	2615,3	2023,2	4781,4
2013 ¹	10248,5	2698,2	2061,4	5488,9
2014 ^{1,2}	9487,5	2452	1882,7	5152,8
2015 ^{1,2}	11003,6	2460,2	1960,6	6582,8
2016 ²	11530,7	2225,7	2561,2	6743,8
2017 ²	13379,3	2924,5	3163,2	7291,6

¹ Data for 2010-2015 have been recalculated without the cost of performing scientific and technical services.

² The data are given without taking into account the temporarily occupied territory of the Autonomous Republic of Crimea, Sevastopol and parts of the temporarily occupied territories in the Donetsk and Luhansk oblasts.

Analysis of the data presented in table 4 shows in general the gradual increase in the cost of research and development by type of work except for 2014, but the values of indicators taking into account the existing inflation rates (table 5) will be significantly reduced from 2013 to 2015, which indicates the presence negative tendencies regarding investment-innovation activity of business entities (fig. 3). During 2016–2017, expenditures on research and development work by type of work are gradually increasing, but this is not enough to strengthen

the competitiveness of the country, as its position at the global level of competitiveness is unsatisfactory: 2015–2016 – 79th place, 2016-2017 – 85th place, 2017–2018 – 83th place (Source: The Global Competitiveness Report).

In addition, the total amount of expenditures for innovative activities and the share of enterprises engaged in innovations are important for determining the trends of investment and innovation activity of economic entities (table 6).

Table 5. Inflation Indices for 2010 – 2017. Source: the State Statistics Service of Ukraine

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
109,1	104,6	99,8	100,5	124,9	143,3	112,4	113,7

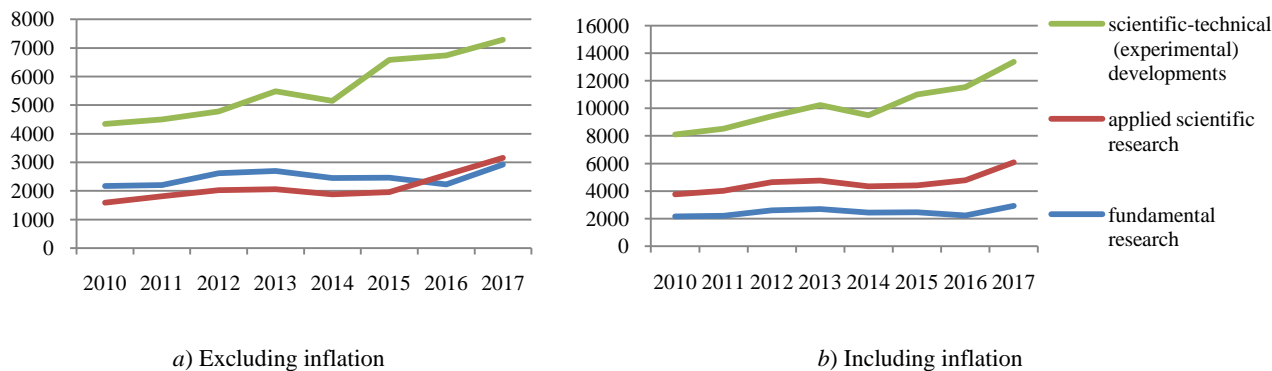


Fig. 3. Dynamics of expenses for research and development according to types of works, mln. UAH. Source: the State Statistics Service of Ukraine

Table 6. Total expenditure on innovation activities. Source: the State Statistics Service of Ukraine

Year	Share of enterprises engaged in innovations	Total amount of expenses	including					
			researches and developments ¹	including		purchase of other external knowledge	purchase of machinery equipment and software	other expenses
				internal SRW	external SRW			
%		mln. UAH						
2010	13,8	8045,5	996,4	818,5	177,9	141,6	5051,7	1855,8
2011	16,2	14334	1079,9	833,3	246,6	324,7	10489	2440,2
2012	17,4	11481	1196,3	965,2	231,1	47	8051,8	2185,5
2013	16,8	9562,6	1638,5	1312,1	326,4	87	5546,3	2290,9
2014	16,1	7695,9	1754,6	1221,5	533,1	47,2	5115,3	778,8
2015	17,36	13814	2039,5	1834,1	205,4	84,9	11141	548
2016	18,9	23230	2457,8	2063,8	394	64,2	19829	878,4
2017	16,2	9117,5	2169,8	1941,3	228,5	21,8	5898,8	1027,1

The analysis of table 6 demonstrates, in general, the improvement of the share of enterprises engaged in innovations during 2010–2016, but in 2017 there is a return to the value of 2011 and the total amount of expenses has decreased by more than 1.5 times, as evidenced about deterioration of investment and innovation activity of business entities.

In order to determine the list of indicators to be analyzed in order to determine the main

trends of investment and innovation activity of economic entities, increase the reliability of their assessment and significance, the valuation of all indicators of this level was made, the correlation dependence between each indicator analyzed during the period under study and SRW. The calculation is made using STATISTICA 12.5. The results are presented in the table 7.

Table 7. Results of correlation analysis

List of indicators	Value of the correlation coefficient
the share of enterprises engaged in innovations	0,451125
financing of innovative activity of industrial enterprises in general	0,318068
at own expense	0,503268
at the expense of the state budget	0,230716
at the expense of foreign investors	-0,601337
at the expense of other sources	-0,343151
total amount of expenses in the areas of innovation activity	0,318068
expenses for research and development by the types of work	0,968392
expenses for fundamental research	0,506827
expenses for applied scientific researches	0,944895
expenses for the implementation of scientific and technical (experimental) developments	0,948337
expenses for research and development	0,856000
expenses on internal SRW	0,897847
expenses on external SRW	0,053538
expenses on purchase of other external knowledge	-0,501715
expenses on purchase of machinery equipment and software	0,338342
other expenses	-0,634152

Thus, according to the results of the analysis (table 7), the highest level of correlation dependence are: the cost of performing research and development by types of works, applied research, scientific and technological (experimental) development, research and development costs, costs for internal SRW.

Therefore, indicators characterized by the highest level of correlation dependence were included in the integral indicator of investment and innovation activity of

economic entities at the macroeconomic level, which is calculated by the method of additive convolution, taking into account the coefficients of significance of each indicator. The significance is determined on the basis of the normalization of the coefficients of correlation for each of the indicators included for the calculation. The results of calculating the integral index of investment-innovation activity of economic entities by macroeconomic level are presented in table 8.

Table 8. Results of calculation of the integral index of investment-innovation activity of economic entities by macroeconomic level

Period	The value of the integral indicator
2010	0,89212
2011	0,710859
2012	0,627388
2013	0,591154
2014	0,560684
2015	0,550717
2016	0,545415
2017	0,544382

Thus, the analysis of indicators values presented in table 8 testify the presence of a negative trend characterized by a gradual decrease in the values of integral indicators of investment and innovation activity of economic entities

The next step in determining the main trends of investment and innovation activity of economic entities is its analysis at the microeconomic level, which should be carried out on the basis of the information provided in the form of official statistical reporting for 2010–2017 and coincides with the study periods at the two previous levels.

So according to the proposals of Dourthmes (2017), a specific weight in the system of indicators of evaluation of investment and innovation activity of economic entities is given: the real investments at the expense of the enterprise's own funds in the total volume of investments; investment in fixed capital in equity; the real investments at the expense of depreciation deductions of the enterprise in the total volume of investments; capital investment in tangible assets in the total volume of capital investments; investment in computing equipment and software in the total volume of investment in intangible assets; investment in innovation in the total investment; investments for informatization in the total amount of investments; investment in intangible assets in the total value of non-current assets; investment in intangible assets in the total value of assets; the cost of research and development in the total cost of innovation; investment in innovation in equity; investment in innovation in the total capital; the costs of machinery, equipment and software related to the introduction of innovations in the total amount of innovation costs; the number of inventors and innovators in the average number of personnel; budget investments on technological innovations in the total amount of investments in innovation; own investments in

technological innovations in the total amount of expenses for innovation; investments of domestic investors in the total amount of expenses for innovation; investments of foreign investors in the total amount of expenses for innovations; shipped innovative products in the total volume of sales; shipped products, which are characterized by significant technological changes or re-introduced within three years, in the total volume of products shipped; transmitted new technologies abroad in the total amount of technology transferred; transferred new technologies in Ukraine in the total amount of technology transferred; shipped products, for which the manufacturing process was improved, in the total volume of shipped products; new products in total production; new products put up for export in the total volume of new products.

Machine-building enterprises of the Kharkiv region, whose activities are characterized by a positive financial result during 2010–2017, were selected as the basis of the research.

The proposed number of indicators is significant; therefore, the factor analysis using the main components method was used to reduce it, which helps to optimize the number of indicators. Varimax factor rotation method has been used, which has contributed to the improvement of the quality of the results, which due to the orthogonality of the factors to maximize the number of variables with high factor load.

The factor load of the indicators of investment and innovation activity of economic entities is given in table 9.

As a result of the evaluation, 4 main components were selected, which are characterized by a cumulative dispersion index of 76.05 %. The economic interpretation of the selected factors is presented in table 10.

Table 9. The factor load of indicators of investment and innovation activity of business entities

Indicator	Components			
	1	2	3	4
the share of real investments at the expense of the company's own funds in the total volume of investments	0,723680	0,230961	0,208209	0,054342
the share of investments in fixed capital in equity	0,723117	0,301356	-0,058491	0,133937
the share of real investments at the expense of depreciation deductions of the enterprise in the total volume of investments	0,242892	0,786020	0,144854	0,008169
the share of advertising investments in the total amount of investment in innovation	0,028863	-0,013851	0,954753	0,040011
the share of capital investments in tangible assets in the total volume of capital investments	-0,173841	0,095555	0,500657	-0,277420
the share of investment in computing equipment and software in the total volume of investment in intangible assets	0,648221	-0,156666	0,293951	-0,190044
the share of investment in innovation in the total investment	-0,029039	-0,028947	0,921129	0,009336
the share of investments in informatization in the total volume of investments	-0,179545	0,476154	0,686367	0,060123
the share of investments in intangible assets in the total value of non-current assets	0,753430	-0,192471	-0,140793	0,090072
the share of investments in intangible assets in the total value of assets	0,818433	-0,109005	-0,140990	0,075912
the share of research and development costs in the total amount of innovation costs	0,648888	-0,087759	-0,062308	0,218169
the share of investment in innovation in equity	0,695571	-0,243084	-0,121965	0,088799
the share of investment in innovation in total capital	-0,357030	0,282162	0,152462	-0,343212
the share of expenses for machinery, equipment and software related to the introduction of innovations in the total amount of expenses for innovation	-0,116253	0,807650	-0,112272	-0,091476
the share of the number of inventors and innovators in the average number of personnel	-0,098564	0,861162	0,132703	0,058689
the share of budget investment in technological innovation in the total amount of investment in innovation	-0,058074	-0,195780	-0,229487	0,725835
the share of own investments in technological innovations in the total amount of expenses for innovation	0,200415	-0,255074	0,083085	-0,373093
the share of investments of domestic investors in the total amount of expenses for innovation	-0,359809	0,292232	-0,172913	0,001328
the share of investments of foreign investors in the total amount of expenses for innovation	0,070325	-0,322927	-0,148001	0,403620
the share of the shipped innovative products in the total volume of sales	0,663742	-0,039591	0,084277	-0,237435
the share of shipped products, which is characterized by the significant technological changes or re-introduced during three years, in the total volume of shipped products	0,360233	0,041059	0,471375	0,612400
the share of new technologies transmitted abroad in the total amount of technology transmitted	-0,103898	0,020487	-0,094167	0,345063
the share of new technologies transmitted in Ukraine in the total amount of technology transferred	0,132322	0,237839	0,389328	0,631468
the share of shipped products, for which the manufacturing process was improved, in the total volume of shipped products	0,232158	0,086610	-0,306788	-0,409839
the share of new products in the total volume of production	0,172323	-0,025770	0,083824	0,582204
the share of new products put up for export, in the total volume of new products	-0,078738	0,930835	-0,022329	-0,043021

Table 10. Composition and economic content of the selected factors of investment and innovation activity of business entities

Factor	Name of the factor
Factor 1	Indicators of the share: real investment at the expense of the enterprise's own funds in the total volume of investments; investment in fixed capital in equity; investment in intangible assets in the total value of non-current assets; investment in intangible assets in the total value of assets.
Factor 2	Indicators of the share: real investments at the expense of depreciation deductions of the enterprise in the total volume of investments; the costs of machinery, equipment and software related to the introduction of innovations in the total amount of innovation costs; the number of inventors and innovators in the average number of personnel; new products put up for export in the total volume of new products.
Factor 3	Indicators of the share: investments in advertising in the total amount of investments in innovation; investment in innovation in the total investment.
Factor 4	Indicators of the share of budget investments in technological innovation in the total amount of investment in innovation

The next step in analyzing the investment and innovation activity of business entities is to obtain an integral assessment. An integral estimation is performed

on the basis of the calculation of the integral index, which is determined on the basis of the method of additive convolution (table 11).

Table 11. The value of the integral indicator of investment and innovation activity of economic entities

Enterprise	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
PJSC "Kharkiv Machine-Building Plant "Svitlo Shakhtarya"	0,8357	0,8257	0,8609	0,8361	0,9111	0,8734	0,7296	0,8072
SE Plant "Electrovazhmash"	0,8369	0,8269	0,8622	0,8373	0,9124	0,7608	0,8118	0,8091
PJSC "Kharkiv Electrotechnical Plant "Ukrelectromash"	0,5180	0,5181	0,5427	0,5284	0,5924	0,5488	0,5935	0,5648
PJSC "Plant "Pivdenkabel"	0,8267	0,8268	0,8517	0,8372	0,9019	0,7568	0,8019	0,9048
PJSC "Electromachina"	0,8220	0,8220	0,8468	0,8323	0,8968	0,7525	0,7973	0,8047
PJSC " Kharkiv Machine-Tool Plant "	0,4610	0,4311	0,4561	0,4416	0,4066	0,4607	0,4061	0,4483
PJSC " Kharkiv Plant of Stamps and Molds "	0,5653	0,5254	0,5502	0,5358	0,5004	0,5555	0,5005	0,5780
PJSC "Scientific and Production Enterprise Theploautomat "	0,4240	0,8240	0,6489	0,6344	0,6989	0,6543	0,6993	0,6768
PJSC "Plant named after Frunze"	0,6242	0,7242	0,7491	0,7346	0,7992	0,7545	0,7795	0,7770
PJSC "Turboatom"	0,8180	0,8188	0,8427	0,8291	0,8924	0,7492	0,7934	0,8713
PJSC "Kharkiv Tractor Plant named after Ordzhonikidze "	0,7048	0,7180	0,7291	0,7283	0,6788	0,7437	0,7807	0,7622
PJSC " Kharkiv Bearing Plant"	0,6048	0,6249	0,6292	0,6353	0,6793	0,6474	0,6807	0,6640
PJSC "FED"	0,6047	0,7186	0,7290	0,7289	0,6788	0,6440	0,7806	0,6623

The results of table 11 analysis show that the highest values of the integral indicator of investment and innovation activity of business entities mainly have such enterprises as PJSC "Plant" Pivdenkabel", PJSC "Kharkiv Machine-Building Plant "Svitlo Shakhtarya". The smallest values of integral indicators have the representatives of PJSC "Kharkiv Machine-Tool Plant", PJSC "Kharkiv Plant of Stamps and Molds", PJSC "Kharkiv Electrotechnical Plant "Ukrelectromash", PJSC "Scientific-Production Enterprise Theploautomat".

International and national micro-level analysis of investment and innovation activity of business entities are additive. To increase the objectivity and reliability of the analysis, it is advisable to combine the corresponding integral indicators characterizing each level into a generalized integral index of investment and innovation activity of business entities, calculated by the method of additive convolution, taking into account the coefficients of significance of each level. Significance is determined on the basis of the use of the expert survey method taking into account the predominance:

- for foreign investments (international level – 0,5; macro level – 0,3; microeconomic level – 0,2);

- for internal investments (international level – 0,25, macro level – 0,3, microeconomic level – 0,45).

11 experts were polled to conduct an expert assessment with a reliability of 90% and relative error equal to 0.5. Experts were interviewed by experts dealing with the economic issues of the institutional structures at each level. In order to determine the level of consistency of expert opinions, the coefficient of concordation 0.783 is determined, which confirms the sufficient quality of the expert survey.

The final stage of the analysis of investment and innovation activity of business entities is to obtain an integrated assessment at the international, macro and microeconomic levels. Previously, the indicators of each level were normalized and the integral indicator was calculated on the basis of summing up the results of multiplying the values of indicators by international, macro and microeconomic levels on their significance. The results of calculations for 2017 are presented in table 12.

Table 12. The value of the integral indicator of investment and innovation activity of economic entities at the international, macro- and microeconomic levels

Enterprise	2017	
	for the foreign investments	for domestic investments
PJSC "Kharkiv Machine-Building Plant "Svitlo Shakhtarya"	0,532036	0,61706
SE Plant "Electrovazhmash"	0,53261	0,617915
PJSC "Kharkiv Electrotechnical Plant "Ukrelectromash"	0,45932	0,50798
PJSC "Plant "Pivdenkabel"	0,56132	0,66098
PJSC "Electromachina"	0,53129	0,615935
PJSC "Kharkiv Machine-Tool Plant "	0,42437	0,455555
PJSC "Kharkiv Plant of Stamps and Molds "	0,46328	0,51392
PJSC "Scientific and Production Enterprise Theploautomat "	0,49292	0,55838
PJSC "Plant named after Frunze"	0,52298	0,60347
PJSC "Turboatom"	0,55127	0,645905
PJSC "Kharkiv Tractor Plant named after Ordzhonikidze "	0,51854	0,59681
PJSC " Kharkiv Bearing Plant"	0,48908	0,55262
PJSC "FED"	0,48857	0,551855

Based on the analysis of the table 12 it can be concluded that the most high values of the integral indicator of investment and innovation activity of economic entities in the conditions of foreign investment prevail at such enterprises as PJSC "Pivdenkabel Plant" and PJSC "Turboatom", while the smallest have PJSC "Kharkiv Machine-Building Plant" and PJSC "Kharkiv Electrotechnical Plant "Ukrelectromash". In the conditions of the predominance of domestic investments the maximum values have PJSC "Turboatom", PJSC "Plant "Pivdenkabel" and PJSC Plant "Electrovazhmash", and the minimum are at PJSC "Kharkiv Electrotechnical Plant "Ukrelectromash" and PJSC "Kharkiv Plant of Stamps and Molds". The analysis of the submitted calculations testifies to the expediency of activating the domestic investment activity, which will contribute to a more significant increase in the investment and innovation activity of economic entities.

Conclusion

It is determined that the investment-innovative activity of business entities is the basis of their progressive economic development and a prerequisite for the successful implementation of the process of integration

into the world economic space. In order to ensure the success of the implementation of integration processes, the theoretical and methodical approach to the definition of investment and innovation activity of economic entities is proposed, which provides the opportunity to determine the most influential factors on the level of investment and innovation activity of economic entities at the international, macro and microeconomic levels under conditions of European integration and ensures an integrated assessment taking into account the predominance of foreign or domestic investment, which contributes to the adoption of the soil in them management solutions.

Acknowledgement

Strategic management of the life of enterprises on the basis of investment for the decent work quality of life (State registration number: 0115U002374);

Formation of Methodical Provision for Activating the Innovation Activity of an Industrial Enterprise (State Registration Number: 0115U007161).

Management of Innovative and Logistic Activities (State Registration Number: 0117U007636).

References

- Balabanov, Y. T. (2001), *Innovation management [Ynnovacyonnyj menedzhment]*, SPb. : Pyter, 304 p.
- Balan, O. S. (2014), *Management of the investment decision-making process at the enterprises of the production sector [Upravlinnja procesom pryjnattja investycijnykh rishenj na pidpryjemstvakh vyrobnychoji sfery]*, Odesjkyj nacionalnyj politekhnichnyj universytet, Odesa, 496 p.
- Blyznjuk, T. P. (2008), *Impact of cyclical development of the economy on the innovative activity of the enterprise [Vplyv cyklichnosti rozvytku ekonomiky na innovacijnu dijajlnistj pidpryjemstva]*, Kharkiv : FOP Aleksandrova K. M., 352 p.
- Boghucjka, O. A., & Brjukhovecjkij, Ja. S. (2017), "Assessment of the level of investment and innovation activity in relation to the policy of intellectualization and motivation of industrial personnel" ["Ocinka rivnja investycijno-innovacijnoji aktyvnosti u vzajemozv'jazku z politykoju intelektualizaciji ta motyvaciji praci personalu promyslovykh pidpryjemstv"], *Visnyk ekonomichnoji nauky Ukrainy*, No. 1 (32), P. 19–25.
- Bogutska, O. (2018), "Financial and economic mechanism of ensuring investment activity of enterprises within institutional models of financing the real sector of economics", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (5), P. 79–86. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.5.079>.
- Ghryshko, V. A., Koleshuk, O. Ja., & Lesyk, L. I. (2011), "Evaluation of investment and innovation activity of enterprises and analysis of factors of their investment and innovation potential" ["Ocinjuvannja investycijnoji ta innovacijnoji aktyvnosti pidpryjemstv ta analizuvannja chynnykiv jikh investycijno-innovacijnogho potencialu"], *Visnyk Nacionalnogho universytetu «Ljvivs'jka politekhnika»*; Serija : *Menedzhment ta pidpryjemnyctvo v Ukraini: etapy stanovlennja i problemy rozvytku*, No. 714, P. 194–200.
- Dodgson, M., (2000), *The management of technological innovation: An international and strategic approach*, Oxford University Press, 536 p.
- Dorofeev, V. D., Dresvjannykov, V. A. (2003), *Innovative management [Ynnovacyonnyj menedzhment : ucheb. posobye]*, Penza : Yzd-vo Penz. ghos. un-ta, 189 p.
- Dourtmes, P. O. (2007), Evaluation of investment and innovation activity of industrial enterprise [Ocinjuvannja investycijno-innovacijnoji dijajlnosti promyslovogho pidpryjemstva], *Ghlobaljni ta nacionaljni problemy ekonomiky*, available at: <http://global-national.in.ua/archive/16-2017/63.pdf> (last accessed 23.12.2018).
- Druker, P. F. (1985), *Innovation and entrepreneurship: practice and principles*, N.Y. : Harper & Row, 432 p.
- Dykha, M. V., Tanasienko, N. P., & Kolisnyk, G. M. (2017), "Ensuring of labor productivity growth in the context of investment and innovation activity intensification", *Problems and Perspectives in Management (open-access)*, No. 15 (4), P. 197–208. DOI: [https://doi.org/doi:10.21511/ppm.15\(4-1\).2017.04](https://doi.org/doi:10.21511/ppm.15(4-1).2017.04).
- Fedorenko, V. Gh. (2013), "Investment financing in the corporate sector" ["Finansuvannja investycij v korporatyvnomu sektori ekonomiky Ukrainy"], *Investyciji: praktyka ta dosvid*, No. 8, P. 35–39.
- Kharazishvili, Ju. M. (2015), "State and strategic guidelines of investment and innovation security of Ukraine" ["Stan ta strategichni orijentiry investycijno-innovacijnoji bezpeky Ukrainy"], *Visnyk ekonomichnoji nauky Ukrainy*, No. 2 (29), P. 113–120.
- Kozjmenko, S. M., & Kolosok, S. I. (2010), "Methodological approaches to assessing the export potential of mechanical engineering innovations" ["Metodychni pidkhody do ocinky eksportnogho potencialu innovacij mashynobuduvannja"], *Efektivna ekonomika*, No. 12, available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2010_12_18 (last accessed 23.12.2018).
- McConnell, C. R., & Brue, S. L. (2005), *Economics*, N.Y. : McGraw-Hill/Irwin, 983 p.

16. Mishenin, E. V., Semenenko, B. A., & Mishenina, N. V. (1996), Economic mechanism of greening production [*Ekonomicheskij mekhanizm ekologizatsii proizvodstva*], Sumy : IPP, "Mriia-1 LTD", 140 p.
17. Melkumov, Ja. S. (2004), *Investment analysis [Ynvestycyonnyj analiz]*, Moscow : NYC YNFRA-M, 176 p.
18. Mertens, A. (2011), 5 tools to develop your business model [5 ynstrumentov dlja razvytyja vashej byznes–modeli], available at: http://ekmair.ukma.edu.ua/bitstream/handle/123456789/1482/Mertens_5%20instrumentov%20dlja%20razvitija%20vashej%20biznes-modeli.pdf (last accessed 23.12.2018).
19. Mykhalev O. V. (2011), "Innovative activity and economic stability in the development of regional economic systems" ["Ynnovacyonnaja aktyvnostj y ekonomycheskaja ustojchivostj v razvytyu reghyonalnykh khozajstvennykh system"], *Reghyonal'naja ekonomyka: teoryja y praktyka*, No. 27 (210), P. 19–125.
20. Muzychenko, T. O. (2014), "Investment and investment activities: conceptual framework" ["Investyciji ta investycijna dijajlnistj: ponjatijnyj apparat"], *Stalij rozvytok ekonomiky*, No. 3 (25), P. 161–167.
21. Nykson, F. (1997), *Innovation management [Ynnovacyonnyj menedzhment]*, Moscow : Ekonomyka, 386 p.
22. Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities, OECD Publishing, Paris/Eurostat, Luxembourg., available at: <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en> (last accessed 23.12.2018).
23. Petrenko, L. M. (2012), "Theoretical aspects of investment activity research" ["Teoretychni aspekty doslidzhennja investycijnoji dijajlnosti"], *Naukovi praci Kirovohrads'kogo nacional'nogho tekhnichnogho universytetu*, No. 22, Ch. II, available at: [http://www.kntu.kr.ua/doc/zb_22\(2\)_ekon/stat_20_1/54.pdf](http://www.kntu.kr.ua/doc/zb_22(2)_ekon/stat_20_1/54.pdf) (last accessed 23.12.2018).
24. Ponomarenko, V., & Gontareva, I. (2017), "The system of causal connections between entrepreneurial activity and economic development", *Economic Annals-XXI*, No. 165 (5-6), P. 4–7.
25. Rajevnjeva, O. V. & Ghrynevych, L. V. (2012), "Statistical evaluation of investment activity in Ukraine" ["Statystychna ocinka investycijnoji aktyvnosti v Ukrajinі"], *Biznes Inform*, No. 7, P. 111–114.
26. Santo, B. (1990), *Innovation as a means of economic development [Ynnovacyja kak sredstvo ekonomycheskogho razvytyja]*, Moscow : Proghress, 401 p.
27. Semenjuta, I. A. (2010), "Investment as an economic category" ["Investyciji jak ekonomichna kategorija"], *Naukovyj visnyk Akademiji muncypal'nogho upravlinnja. Serija: Ekonomika*, No. 8, P. 233–244, available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvamu_ekon_2010_8_29 (last accessed 23.12.2018).
28. Resler, M., Mykola, K., Mykola, L., [et al.] (2018), "Analysis of current trends in innovation and investment activity of Ukrainian metallurgical enterprises", *Investment Management and Financial Innovations*, Sumy : Business Perspectives, No. 15 (2), P. 116–128.
29. Zavlyn, P. N., Kazanceva, A. K., & Myndely, L. E. (1998), *Innovation management : a reference guide [Ynnovacyonnyj menedzhment : Spravochnoe posoby]*, Moscow : CYSN, 567 p.
30. Zjanjko, V. V. (2005), *Innovative entrepreneurship in Ukraine: problems of formation and development: monograph [Innovacijne pidpryjemnyctvo v Ukrajinі: problemy stanovlennja i rozvytku : monohrafija]*, Vinnycja : UNIVERSUM – Vinnycja, 263 p.
31. The Global Competitiveness Index, available at: <http://reports.weforum.org/global-competitiveness-report-2018/country-economy-profiles/#economy=UKR> (last accessed 23.12.2018).
32. The Global Innovation Index, available at: <http://www.globalinnovationindex.org/content.aspx?page=gii-home> (last accessed 23.12.2018).
33. The Verkhovna Rada Of Ukraine [Verkhovna Rada Ukrainy] (2002), Law of Ukraine on innovation (The act of 04.07.2002 № 40-IV) [Zakon Ukrainy pro innovatsiinu diialnist (Zakon vid 04.07.2002 No. 40-IV)], Kyiv.
34. The Verkhovna Rada Of Ukraine [Verkhovna Rada Ukrainy] (1991), Law of Ukraine on investment activity (The act of 18.09.1991 № 1560-XII) [Zakon Ukrajinu pro investycijnu dijajlnistj (Zakon vid 18.09.1991 No 1560-XII)], Kyiv.
35. The State Statistics Service Of Ukraine [Derzhavna Sluzhba Statystyky Ukrainy] (2016), *Industry of Ukraine in 2010– 2017 [Promyslovist Ukrainy u 2010–2017 rr]*, Kyiv : DSSU.

Received 26.02.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ястремська Олена Миколаївна – доктор економічних наук, професор, Харківський національний економічний університету імені С. Кузнеця, завідувач кафедри менеджменту, логістики та економіки, Харків, Україна; e-mail: iastremska_om@hneu.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5653-6301>.

Ястремская Елена Николаевна – доктор экономических наук, профессор, Харьковский национальный экономический Университете имени С. Кузнеця, заведующая кафедрой менеджмента, логистики и экономики, Харьков, Украина.

Iastremska Olena – Doctor of Science (Economics), Professor, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Head at the Department of Management, Logistics and Economics, Kharkiv, Ukraine.

Строкович Ганна Віталіївна – доктор економічних наук, доцент, Харківський національний економічний університету імені С. Кузнеця, професор кафедри менеджменту, логістики та економіки, Харків, Україна; e-mail: annastrokovych@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5092-9059>.

Строкович Анна Витальевна – доктор экономических наук, доцент, Харьковский национальный экономический университет имени С. Кузнеця, профессор кафедры менеджмента, логистики и экономики, Харьков, Украина.

Strokovich Hanna – Doctor of Science (Economics), Associate Professor, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Professor at the Department of Management, Logistics and Economics, Kharkiv, Ukraine.

ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІ ІНВЕСТИЦІЙНО-ІННОВАЦІЙНОЇ АКТИВНОСТІ СУБ'ЄКТІВ ГОСПОДАРЮВАННЯ В УМОВАХ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ

Предметом дослідження в статті є основні тенденції інвестиційно-інноваційної активності суб'єктів господарювання. **Метою** роботи є визначення основних тенденцій інвестиційно-інноваційної активності суб'єктів господарювання на міжнародному, макро- та мікроекономічних рівнях в умовах євроінтеграції з застосуванням методів економіко-математичного моделювання. **Завдання:** визначення інтегрального показника інвестиційно-інноваційної активності суб'єктів господарювання за міжнародним, макро- та мікроекономічним рівнями. Для досягнення поставленої мети було використано наступні **методи:** абстрактно-логічний метод, метод аналізу і синтезу, логіко-змістовний аналіз – формування та обґрунтування системи показників оцінювання інвестиційно-інноваційної активності суб'єктів господарювання; узагальнення та абстрагування – вивчення категоріального апарату інвестиційно-інноваційної активності суб'єктів господарювання, багатовимірний факторний аналіз – для проведення класифікації та систематизації простору ознак дослідження та групування факторів за їх економічним змістом. Отримано наступні **результати:** для підвищення об'єктивності та достовірності аналізу об'єднано відповідні інтегральні показники, що характеризують кожен рівень, в узагальнюючий інтегральний показник інвестиційно-інноваційної активності суб'єктів господарювання, який розраховано методом адитивної згортки з урахуванням коефіцієнтів значущості кожного рівня. Значущість визначено на основі використання методу експертного опитування з урахуванням переважання: для іноземних інвестицій та для внутрішніх інвестицій **Висновки:** запропоновано теоретико-методичний підхід до визначення інвестиційно-інноваційної активності суб'єктів господарювання, який надає можливість визначення найбільш впливових факторів на рівень інвестиційно-інноваційної активності суб'єктів господарювання на міжнародному, макро- та мікроекономічних рівнях в умовах євроінтеграції та забезпечує проведення інтегральної оцінки з урахуванням переважання іноземних або вітчизняних інвестицій, що є сприяє прийняттю ґрунтовних управлінських рішень.

Ключові слова: інвестиційно-інноваційна активність; євроінтеграція; тенденції; економічні рівні; суб'єкти господарювання.

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИНВЕСТИЦИОННО-ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ СУБЪЕКТОВ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЕВРОИНТЕГРАЦИИ

Предметом исследования в статье являются основные тенденции инвестиционно-инновационной активности субъектов хозяйствования. **Цель** работы является определение основных тенденций инвестиционно-инновационной активности субъектов хозяйствования на международном, макро- и микроэкономических уровнях в условиях евроинтеграции с применением методов экономико-математического моделирования. **Задачи:** определение интегрального показателя инвестиционно-инновационной активности субъектов хозяйствования по международным, макро- и микроэкономическим уровням. Для достижения поставленной цели были использованы следующие **методы:** абстрактно-логический метод, метод анализа и синтеза, логико-содержательный анализ – формирование и обоснование системы показателей оценки инвестиционно-инновационной активности субъектов хозяйствования; обобщение и абстрагирование – изучение категориального аппарата инвестиционно-инновационной активности субъектов хозяйствования, многомерный факторный анализ – для классификации и систематизации пространства признаков исследование и группировка факторов по их экономическому содержанию. Получены следующие **результаты:** для повышения объективности и достоверности анализа объединены соответствующие интегральные показатели, характеризующие каждый уровень в обобщающий интегральный показатель инвестиционно-инновационной активности субъектов хозяйствования, который рассчитан методом аддитивной свертки с учетом коэффициентов значимости каждого уровня. Значимость определены на основе использования метода экспертного опроса с учетом преобладания: для иностранных инвестиций и внутренних инвестиций **Выводы:** предложен теоретико-методический подход к определению инвестиционно-инновационной активности субъектов хозяйствования, который предоставляет возможность определения наиболее влиятельных факторов на уровень инвестиционно-инновационной активности субъектов хозяйствования на международном, макро- микроэкономических уровнях в условиях евроинтеграции и обеспечивает проведение интегральной оценки с учетом преобладания иностранных или отечественных инвестиций, что способствует принятию основательных управленческих решений.

Ключевые слова: инвестиционно-инновационная активность; евроинтеграция; тенденции; экономические уровни; субъекты хозяйствования.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Артюх Р.В.	69
Ахієзер О.Б.	5
Бодянський Є.В.	16
Бологова Н.М.	25
Бутова О.А.	5
Ващенко О.М.	85
Великодний С.С.	34
Владов С.І.	43
Волк М.О.	121
Гопєєнко В.	59
Губка С.О.	93
Дерев'янку І.Г.	43
Дерябіна І.О.	43
Дорохіна А.А.	69
Дунаєвська О.І.	5
Єлізева А.В.	93
Жернова П.Є.	16
Кадикова І.М.	51
Казьміна Д.Р.	121
Кожин Ю.М.	102
Косенко В.В.	59
Кривуля С.В.	93
Ларіна С.О.	51
Литвиненко Д.П.	69
Малих О.М.	102
Марценюк В.П.	75
Момот Д.Т.	85
Момот Т.В.	85
Ольшанська Т.І.	121
Перова І.Г.	16
Персіянова О.Ю.	59
Попов А.В.	93
Прокопенков В.П.	102
Рісухін М.В.	121
Роговий А.І.	5
Рубан І.В.	25
Сверстюк А.С.	75
Строкович Г.В.	130
Тесленко Р.Ю.	85
Філімончук Т.В.	121
Чернова Л.С.	113
Чиждова Л.І.	43
Чумаченко І.В.	51
Шишкін М.А.	5
Шмельов Ю.М.	43
Ястремська О.М.	130

ALPHABETICAL INDEX

Artiukh Roman	69
Akhiezer Olena	5
Bodyanskiy Yevgeniy	16
Bolohova Nataliia	25
Butova Olha	5
Vashchenko Oleksandr	85
Velykodniy Stanislav	34
Shmelov Yurii	43
Volk Maksym	121
Gopejenko Viktors	59
Gubka Sergey	93
Derevyanko Ivan	43
Dieriabina Inna	43
Dorokhina Anna	69
Dunaievaska Olha	5
Yelizyeva Alina	93
Zhernova Polina	16
Kadykova Iryna	51
Kazmina Darina	121
Kozhyn Yuryy	102
Kosenko Viktor	59
Kryivulia Sergey	93
Larina Svitlana	51
Lytvynenko Dmytro	69
Malykh Oleh	102
Martsenyuk Vasyl	75
Momot Daryna	85
Momot Tetiana	85
Olshanska Tetiana	121
Perova Iryna	16
Persiyanova Elena	59
Popov Andrei	93
Prokopenkov Vladymyr	102
Risukhin Maksym	121
Rohovyi Anton	5
Ruban Igor	25
Sverstiuk Andriy	75
Hanna Strokovich	130
Teslenko Roman	85
Filimonchuk Tetiana	121
Chernova Lyudmyla	113
Chyzhova Liudmyla	43
Chumachenko Igor	51
Shyshkin Mykhailo	5
Shmelov Yurii	43
Iastremaska Olena	130

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

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

Щоквартальний науковий журнал

№ 1 (7), 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

Формат 60×84/8. Умов. друк. арк. 16,74. 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