

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**

№ 2 (12), 2020

No. 2 (12), 2020

*Щоквартальний
науковий
журнал*

*Quarterly
scientific
journal*

Харків
2020

Kharkiv
2020

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

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

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

Члени редколегії:

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

ЗАСНОВНИКИ

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

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

Україна, 61166, м. Харків, проспект Науки, 14
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

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

Editorial Board Members:

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

ESTABLISHERS

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

EDITORIAL OFFICE ADDRESS:

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauka Ave, 14
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 № 7 від 24 червня 2020 р.).

Свідectво про державну реєстрацію журналу Серія KB № 22696-12596P від 04.05.2017 р.

ЗМІСТ

Інформаційні технології

- 5 **Бондар А. В.**
Енергоентропійна цінність ресурсів організації (eng.)
- 13 **Бушусєв С. Д., Бушусєв Д. А., Бушусєва В. Б.**
Управління проєктами під час Інфодемії та Пандемії COVID-19 (eng.)
- 22 **Воронін А. В., Гунько О. В., Афанас'єва Л. М.**
Динаміка інноваційної конкуренції
- 30 **Гринченко М. А., Пономарьов О. С., Лобач О. В., Харченко А. О.**
Герменевтичні аспекти управління проєктами (eng.)
- 40 **Жолткевич Г. Г.**
Метрики для обчислення узгодженості у розподілених сховищах даних (eng.)
- 49 **Зачко О. Б., Кобилкін Д. С., Ковальчук О. І., Марков В. В.**
Модель формування інформаційної системи проєктних команд в безпеко-орієнтованій системі (eng.)
- 57 **Можасєв М. О., Мелашенко О. П., Рог В. Є., Усатенко М. В.**
Засоби поліпшення якості обслуговування комп'ютерної мережі інформаційної системи судової експертизи (eng.)
- 66 **Філіпковська Л. О., Нос М. М.**
Управління вартістю інноваційного проєкту у промисловій сфері
- 75 **Черняк О. М., Бурдейна В. М., Артюх С. М.**
Удосконалення математичної моделі поглинутої дози спеціальним одягом, що опромінюється прискореними електронами
- 82 **Шахов А. В., Пітерська В. М.**
Механізми управління ризиками при реалізації проєктів в рамках інноваційних програм (eng.)
- 90 **Шукліна В. В., Набока Р. М.**
Критерії якості ітерацій в циклі формування інформаційно-комунікаційного потенціалу підприємства

Сучасні технології управління підприємством

- 100 **Момот Т. В., Савенко К. С., Крайвський Б. Б., Тан Л.**
Інформаційно-аналітичне забезпечення економічної безпеки споживачів житлово-комунальних послуг із використанням інтегрованої звітності
- 109 **Мурасєв Є. В.**
Розвиток міст на основі концепції "smart cities" в умовах цифрової економіки: теоретико-методичні засади впровадження (eng.)
- 119 **Соколова Л. В., Верясова Г. М., Зінченко М. Е.**
Теоретичні та практичні аспекти впровадження інновацій у маркетингову діяльність підприємств (eng.)

Інженерія та промислові технології

- 127 **Аврунін О. Г., Трубіцин О. О., Ісаєва О. А., Клименко В. А.**
Можливості оцінки ефективності лікування атопічного дерматиту на основі аналізу кольорових характеристик відеодерматоскопічних зображень (eng.)
- 134 **Ковтун А. В., Табуненко В. О., Нестеренко С. І.**
Механізм вібраційного переміщення дотичних конструкцій в замкнутих об'ємах (eng.)
- 141 **Кривонос В. М., Клімішен О. О., Цемма О. В., Василенко Р. В.**
Вдосконалення систем усунення льодоутворення на елементах конструкції вертольоту
- 148 **Світа М. П., Зацепкіна Н. М.**
Експериментальне визначення коефіцієнтів напірних трубок

Телекомунікаційні системи та комп'ютерні мережі

- 157 **Долгий Ю. С.**
Оцінка результатів моделювання передачі даних по каналу з випадковим доступом
- 169 **Лемешко О. В., Євдокименко М. О.**
Метод ієрархічної міждоменої маршрутизації у програмно-конфігурованій телекомунікаційній мережі із забезпеченням міжкінцевої якості обслуговування
- 183 **Алфавітний показник**
За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор

CONTENTS

Information Technology

- 5 **Bondar, A.**
Energy-entropic value of organization's resources
- 13 **Bushuyev, S., Bushuiev, D., Bushuieva, V.**
Project management during Infodemic of the COVID-19 Pandemic
- 22 **Voronin, A., Gunko, O., Afanasieva, L.**
Dynamics of innovative competition
- 30 **Grinchenko, M., Ponomaryov, O., Lobach, O., Kharchenko, A.**
Hermeneutic aspects of project management
- 40 **Zholtkevych, G.**
Metrics for evaluating consistency in distributed datastores
- 49 **Zachko, O., Kobylkin, D., Kovalchuk, O., Markov, V.**
Model for forming an information system of project teams in a security-oriented system
- 57 **Mozhaiev, M., Melashchenko, O., Roh, V., Usatenko, M.**
Means of improving the quality of service of the computer network of the forensic information system
- 66 **Filipkovska, L., Nos, M.**
Cost management of an innovative project in the industrial sphere
- 75 **Cherniak, O., Burdeina, V., Artiukh, S.**
Improvement of the mathematical model of the dose absorbed by special clothing irradiated with accelerated electrons
- 82 **Shakhov, A., Piterska, V.**
Risk management mechanisms for project implementation within the framework of innovative programs
- 90 **Shuklina, V., Naboka, R.**
Criteria for the quality of iterations in the cycle of formation of information and communication potential of the enterprise

Modern Enterprise Management Technologies

- 100 **Momot, T., Savenko, K., Kraivskyi, B., Tang, L.**
Information and analytical support of economic security of housing and municipal services customers on the base of using integrated reporting
- 109 **Muraev, Ye.**
Urban development based on the concept of "smart cities" in the digital economy: theoretical and methodological principles of implementation
- 119 **Sokolova, L., Veriasova, G., Zinchenko, M.**
Theoretical and practical aspects of introducing innovations in the enterprise's marketing activity

Engineering & Industrial Technology

- 127 **Avrunin, O., Trubitsin, A., Isaeva, O., Klymenko, V.**
Possibilities for assessing the effectiveness of treatment of atopic dermatitis based on analysis of color characteristics of video dermatoscopic images
- 134 **Kovtun, A., Tabunenko, V., Nesterenko, S.**
The mechanism of vibrational movement of tangent structures in closed volumes
- 141 **Krivosos, V., Klimishen, O., Tsemma, O., Vasilenko, R.**
Improvement of ice removal systems on helicopter construction elements
- 148 **Svyta, M., Zashepkina, N.**
Experimental determination of pressure tubes coefficients

Telecommunication Systems & Computer Networks

- 157 **Dolhyi, Yu.**
Evaluation of simulation results of data transmission modeling on a channel with random access
- 169 **Lemeshko, O., Yevdokymenko, M.**
The method of hierarchical inter-domain routing in a software-defined telecommunications network with ensuring end-to-end quality of service
- 183 **Alphabetical index**

The author is responsible for the accuracy of the facts, quotations and other information

A. BONDAR

ENERGY-ENTROPIC VALUE OF ORGANIZATION'S RESOURCES

The **subject** of the study are approaches and methods for determining the energy and entropy values of the organization's resources. The **purpose** of this study is to develop a concept and appropriate mathematical tools for determining and analyzing the dynamics of the energy-entropic value of the organization's resources. To achieve this goal, it is necessary to perform the following **tasks**: determine the expression of energy entropy, formulate a model of the organization's energy turnover, develop a system of indicators to determine the entropy value of the organization's resources. The following **methods** are used: system analysis, probability theory, energy-entropy theory. **Results**. As a result of the study, it was found that in the process of the organization's activity a cycle of protoenergy and energy occurs: energy – protoenergy (resources) - protoenergy (product) – energy. The relationship between the incoming and outgoing energy of the organization is established, which made it possible to generalize the concept of "efficiency" within the framework of the energy-entropy approach. Unlike classical efficiency, it is proposed that the entropy be considered an alternative measure of the "effective organization of the system". Based on this, the value of the organization's resources is formed from two components – energy and entropy. In the framework of the energy-entropic concept of the organization and the energy turnover under consideration, the energy value of resources is defined as the ratio of the organization's incoming and outgoing energy over a certain period of time. In this interpretation, the energy value of the organization's resources is a kind of analogue of efficiency. It has been established that the value of resources can be considered both integrally and separately for each type of resource. Also, the paper proposes indicators reflecting the entropy value of resources in monetary terms. **Conclusions**. In this study, the category "value of the resources of the organization" is considered in the framework of the energy-entropic concept of the organization. The model of energy circulation of the organization is formulated and the value of the organization is considered from the point of view of energy efficiency and energy entropy. A system of indicators has been developed that makes it possible to comprehensively evaluate the entropy value of each resource individually and their total value. A tool for analyzing the dynamics of energy entropy is also proposed, and a relative indicator of the dynamics of entropies is substantiated, which comprehensively assesses structural and qualitative changes in the organization and makes it possible to identify problems of an energy-organizational nature that need to be addressed.

Keywords: entropy; energy turnover; resources; value; organization.

Introduction

The evolutionary transformation of the conceptual principles of the theory of organizations over the past century has demonstrated the transition from a production-oriented approach to managing organizations to a value-oriented one. "Econophysics" and "energy entropics", which are based on physical methods of analyzing economic data, have spread in modern sciences. As a result, priorities in theory and practice are shifting from full determinism and certainty to the creation of verbal, highly abstract models for describing the activities of organizations. An example of such a methodological approach is the energy-entropic theory of organizations.

Analysis of literature and research

The first fundamental work, which summarizes all the knowledge about energy entropy that existed at that time, and formulates the basic laws of "energy entropics" as a universal methodology for studying various phenomena and processes using entropy balances, is [1]. In [2], the authors proposed using the measurement of entropy as a project management tool. Also, the work [3] belongs to the number of scientific studies in this direction, where the author draws attention to the problems of managing the organization based on the fundamental laws of dynamics of various macro-systems based on energy conversion. Some types of "energy" of the enterprise are considered in the works [4-7].

Entropy as a measure of one or another variant of the organization's development is considered in [8], where certain guidelines for further theoretical developments in

this direction are given in the form of the "energy balance" of organizations. The balance of energies and the dynamics of entropy in an enterprise in the process of its progressive development was identified in [5], by the author the energy means the capital of the enterprise, and commodity-money relations act as "quasi-energy".

In [6], two scenarios of free energy and the entropy of a system (organization) in the context of its stability are analyzed. The author considers the decrease in entropy in the system as the result of an adequate reaction to changes in the environment, but the regularity proposed by him is conceptual in nature and requires further research. An attempt to empirically study the organization's entropy is presented in [9], the authors focus on the relationship between entropy and business processes in the organization and the need for further study. In a study [10], the author defines economic value as a mathematical decrease in entropy and explores the relationship between physical entropy and economic value.

The purpose of this study is developing a concept and appropriate mathematical tools for determining and analyzing the dynamics of the energy-entropic value of the organization's resources.

This work is a continuation of the ideas of the energy-entropic concept of organization [11] and the concept of the value of resources presented in [12-16].

Research results

Let's describe the conceptual model of energy circulation and energy entropy of the organization. So, the basic concepts of energy-entropy theory are "energy" and "work". Energy is what is transformed into work. For

organizations, work is done through resources. Thus, resources act as an analogue of energy. This approach is used in all modern works in this direction. In some publications (for example, [5,6]), the authors use the term "quasienergy", in the context of the fact that resources are not "energy" in its true sense, but (according to the meaning of "quasi") *fake energy, almost energy, pseudo-energy*. This approach is, of course, correct, taking into account the *essence of energy as what is converted into work* [3].

Obviously, if an organization uses human resources (for example, 20 employees) in the production process, this does not mean that these resources are directly converted into work. This means that the knowledge, skills, experience and competencies of this personnel are transformed into work. Therefore, a human resource is a "protoresource" (proto-from protos first, primary). But for the organization, the monetary equivalent of using the knowledge, skills, experience and competence of this personnel represents the expended "energy" (or "quasi-

energy" if you hold the opinion [5]). Thus, from an organization's point of view, energy is money.

In the simplest version of considering the essence of "work" for an organization as fulfilling its main function (for example, producing a certain product), the result of the work is a "product" for which the organization receives cash proceeds. Following the above reasoning, the organization's product is also proto-energy, and cash receipts for the sold product form energy.

Given the fact that the *energy-entropic theory of organization* is formed on the basis of the universal laws of energy-entropics, in the framework of which "energy" is considered as a broad concept, we will use the terms "energy" and "proto-energy" in the future. Thus, the protoenergy of both resources and the product "generates" energy.

So, the following cycle of *protoenergy and energy* arises: energy – protoenergy (resources) – protoenergy (product) – energy (fig. 1).

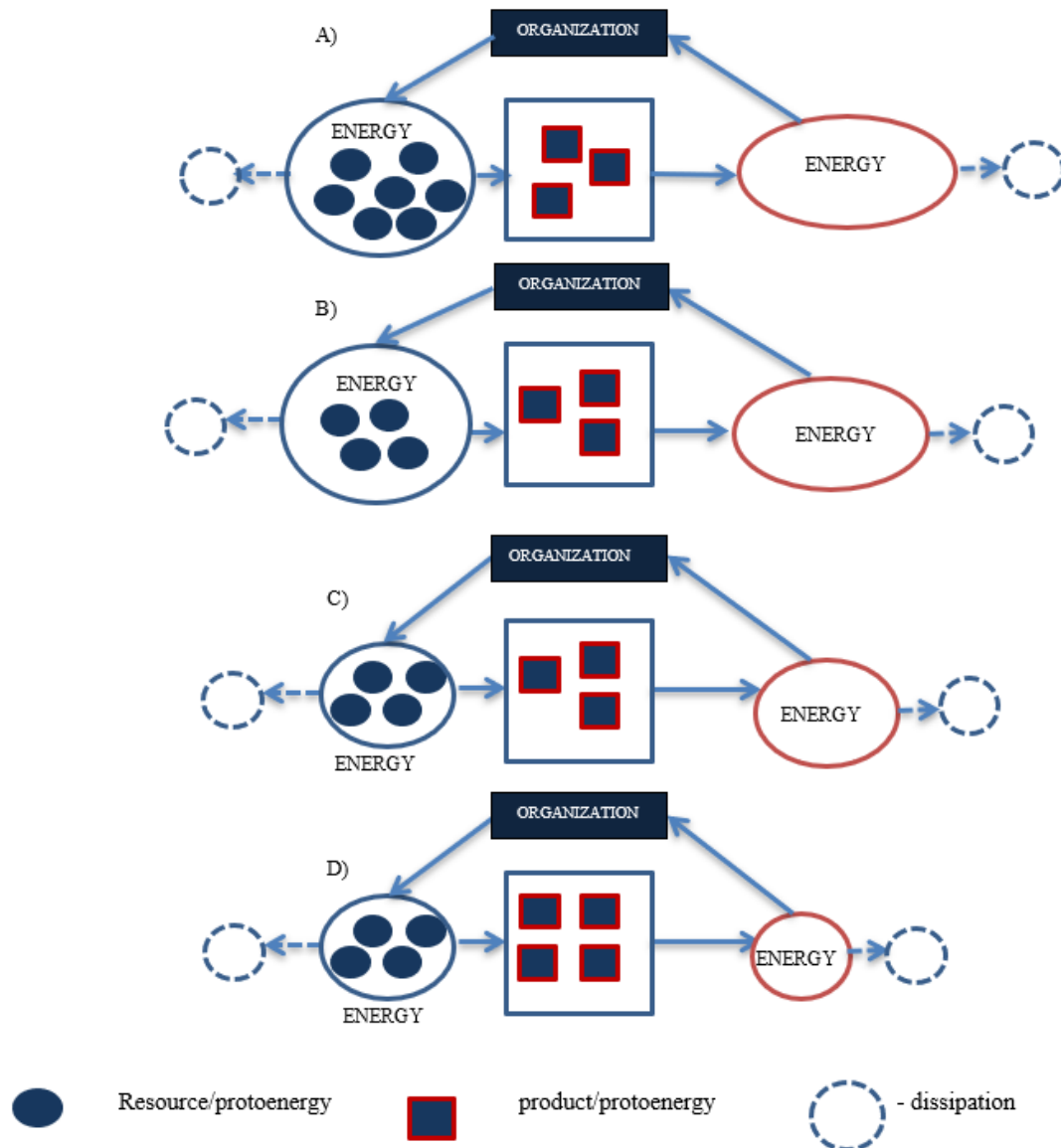


Fig. 1. Organization's energy turnover

Note that fig.1 shows examples of various options for the energy turnover of organizations, while the emphasis is on energy circulation as the integration of *incoming and outgoing energy flows* in the process and according to the results of work. Energy dissipation is noted schematically, but its comparative assessment is not presented in this figure.

We note that energy dissipation [11] occurs both for outgoing and incoming energy. The main causes of dissipation are:

- natural energy losses, for example, associated with the aging of the material and technical base ([5, 11]) or due to force majeure circumstances (for example, natural disasters, etc.).

- energy losses due to inefficiency of business processes.

Briefly describe the options presented in fig. 1 A) and B) variants use a different amount of proto-energy of the resources, but the same amount of energy to produce the same amount of proto-energy of the product and produce the same amount of energy. Thus, for organizations A) and B), the same energy flows are provided by a different amount of resources.

Organizations B) and C) have the same composition of resources, but the energy spent on them is lower for organization C), while with the same amount of product, the energy received is higher for organization B). Organizations B) and D) with the same energy spent on resources, receive a different amount of both products and energy from them.

A natural and logical continuation of these considerations is the establishment of a certain relationship between the incoming and outgoing energy of the organization, which allows us to generalize the concept of "efficiency" in the framework of the energy-entropy approach. But, unlike classical efficiency, the

measure of "effective organization of the system" is entropy. *Therefore, the value of the organization's resources is formed by their two components - energy (a kind of analogue of economic efficiency) and entropy (comprehensively characterizing the value of resources).*

So, the differentiation of the success of organizations in terms of energy turnover arises, first of all, due to the presence of energy entropy, inextricably linked with the informational (structural) entropy of the organization. A different combination of resources and their qualitative saturation determines the level of dissipation Q , which can be defined as the "value of the organization structure". That is why, with equal opportunities, some organizations are more successful, and, conversely, with less energy opportunities, other organizations are more successful than those with an initially higher energy level.

Since energy entropy is determined by the structure of the organization and the possibility of information control over it, and that part of the external environment that ensures the flow of energy into the organization, we will consider the value of energy entropy:

$$S = \frac{Q}{T} = \frac{U - (E^{in} - E^{ex})}{T}, \quad (1)$$

where U – total energy organization, E^{in} – incoming energy, E^{ex} – outgoing (free) energy, T – temperature. By the temperature of the organization we understand the ratio of its effectiveness to existing capabilities (fig. 2), that is, as the temperature we take the value:

$$T = \frac{\mu}{H}. \quad (2)$$

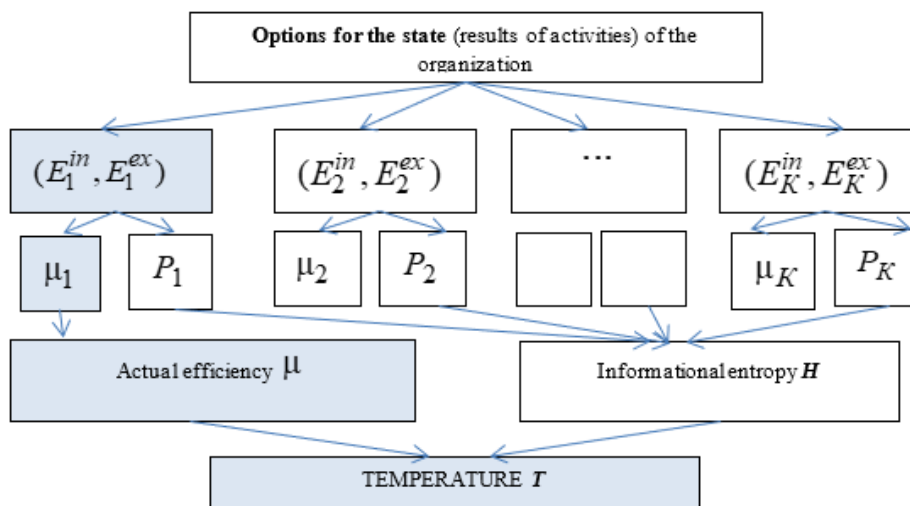


Fig. 2. Organization temperature formation diagram

H reflects the level of informational entropy of the organization, evaluating in this case the possible options for the state of the organization:

$$H = - \sum_{k=1}^K p(A_k) \cdot \ln(p(A_k)), \quad (3)$$

A_k – organization status options, $p(A_k)$ – the probabilities of these conditions. As indicators of the state of the organization we take $A_k = (E_k^{in}, E_k^{ex}), k = \overline{1, K}$, since it is precisely these indicators at a given level U for the organization that reflect the results of its activities and the efficiency of energy circulation. With an increase of K (i.e., the number of predicted options for the state of the organization) and equalization of their probabilities, information entropy (3) grows. And, on the contrary, with a decrease K and an explicit allocation of sufficiently predictable (that is, with a high probability of options) (3) it will decrease. Thus, in (2), informational entropy reflects a measure of order in an organization:

$$\mu = \frac{\eta}{\eta^*} = \frac{U - E^{ex} + E^{in}}{\eta^* \cdot U}, \quad (4)$$

$$\eta = \frac{U - E^{ex} + E^{in}}{U}, \quad (5)$$

where η^* – benchmark performance indicator, η – performance indicator, which reflects the "return" from the total energy of the organization in the form of an increase in energy $E^{in} - E^{ex}$.

Thus, the temperature reflects the state of the organization, which was realized from the many possible.

In view of (3), (4), the expression for entropy takes the form:

$$\begin{aligned} S &= \frac{U - (E^{in} - E^{ex})}{T} = \frac{(U - (E^{in} - E^{ex})) \cdot U \cdot \eta^* \cdot H}{U - E^{ex} + E^{in}} = \\ &= \frac{((E^{in} - E^{ex}) - U) \cdot U \cdot \eta^* \cdot \sum_{k=1}^K p(A_k) \cdot \ln(p(A_k))}{U - E^{ex} + E^{in}}. \end{aligned} \quad (6)$$

The energy value of the organization's resources

The above examples illustrate the concept of "energy value of resources" (which was introduced in [12,13]). So, organization A) has less valuable resources than organization B), since it provides the same outflows and influxes of energy with more resources. Organization D) has less valuable resources than C), despite the fact that the number of products is greater than D).

Thus, within the framework of the energy-entropic concept of the organization and the energy turnover under consideration, the following definition of the energy value of resources can be given: *the energy value of resources is the ratio of the organization's incoming and outgoing energy for a certain period of time.*

In this interpretation, the energy value of the organization's resources is a kind of *analogue of efficiency*. The value of resources can be considered both integrally (both in the comments on the examples in Fig. 1) and for each type of resource. The decisive role in the formation of a certain level of energy value of the organization's resources belongs to human resources, because it is the "person" who *organizes, coordinates and*

executes business processes, and energy dissipation and entropy, as well as the ability of protoenergy (resources, product) to generate, depend on them. a certain level of energy.

So, given the differentiation of resources, the organization can be allocated *various types of resources.*

Since each type of resources (protoenergy) can be detailed (for example, human resources are distributed by type – managerial, labor (directly involved in the production process), etc.), we can distinguish n types of *protoenergy of the organization's resources* and, accordingly, their number by type:

$$E^P = (E_1^P, E_2^P, \dots, E_n^P). \quad (7)$$

Thus, components (7) $E_i^P, i = \overline{1, n}$ are quantitative rather than cost characteristics of resources.

The energy that the organization spends on the use of protoenergy (resources) and the receipt of the product (protoenergy):

$$E^{ex} = \sum_{i=1}^n k_i \cdot E_i^P, \quad (8)$$

where $k_i, i = \overline{1, n}$ – coefficients of bringing various types of protoenergy to a single estimated indicator - in this case, to monetary units, E^{ex} – the outgoing energy of the organization. After the release of the product (protoenergy) in quantity W^P , the organization receives an incoming flow of energy E^{in} , which is a certain function of the product:

$$E^{in} = E^{in}(W^P), \quad (9)$$

and in the simplest version - linear:

$$E^{in} = l \cdot W^P, \quad (4)$$

where l – the cost per unit of product that the organization receives.

Note that E^{ex} represents the amount of energy in which dissipation is not taken into account, since this is what is actually "directed" to the completion of the work (i.e., obtaining the product). In turn, E^{in} is the incoming energy, taking into account dissipation.

Then the integral energy value of the organization's resources can be represented as:

$$\zeta = \frac{E^{in}}{E^{ex}} = \frac{l \cdot W^P}{\sum_{i=1}^n k_i \cdot E_i^P}. \quad (10)$$

As already noted, value in a similar way can be determined for each type of resource. In this way:

$$\zeta_i = \frac{E^{in}}{k_i \cdot E_i^P} = \frac{l \cdot W^P}{k_i \cdot E_i^P}, (i = \overline{1, n}). \quad (11)$$

This value characterizes the value of each type of resource.

Note that the numerator (6) contains the total input energy, and not some part of it, since it is the integral result that allows us to estimate the value of resources.

(10) and (11) imply obtaining dimensionless quantities $\zeta, \zeta_i (i = \overline{1, n})$, however, relative values that characterize the "return" per unit of each type of resource will be informationally useful:

$$\zeta'_i = \frac{E^{in}}{E_i^p} = \frac{l \cdot W^p}{E_i^p}, (i = \overline{1, n}). \quad (12)$$

Considering these indicators in dynamics, that is, for successive periods of time $t_j, j = \overline{1, m}$, it becomes possible to draw a conclusion about the role of each type of resource in obtaining incoming energy E^{in} :

$$\zeta(t_j) = \frac{E^{in}(t_j)}{E^{ex}(t_j)} = \frac{l(t_j) \cdot W^p(t_j)}{\sum_{i=1}^n k_i(t_j) \cdot E_i^p(t_j)}, j = \overline{1, m}; \quad (13)$$

$$\zeta_i(t_j) = \frac{E^{in}(t_j)}{k_i(t_j) \cdot E_i^p(t_j)} = \frac{l(t_j) \cdot W^p(t_j)}{k_i(t_j) \cdot E_i^p(t_j)}, (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}), \quad (14)$$

$$\zeta'_i(t_j) = \frac{E^{in}(t_j)}{E_i^p(t_j)} = \frac{l(t_j) \cdot W^p(t_j)}{E_i^p(t_j)}, (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}), \quad (15)$$

where, $\zeta(t_j), \zeta_i(t_j), \zeta'_i(t_j), W^p(t_j), E_i^p(t_j), l(t_j), k_i(t_j)$ have the same meaning as before, but these values are assigned to a specific time period $t_j, j = \overline{1, m}$.

Entropic value of organization resources and analysis of its dynamics

As you know, the energy entropy of open systems can only decrease due to the outflow of part of the entropy into the external environment, or, in other words, due to the influx of neganthropy [1]. In [5,9], it was substantiated that energy entropy consists of two parts:

$$S = S_{in} + S_{ex}, \quad (16)$$

where S_{in}, S_{ex} – accordingly, two types of entropy associated with the internal and external environment of the organization. However, the S_{ex} component reflects not just the entropy associated with the external environment, but the entropy associated with the "controlled" part of the external environment. As the "controlled" part of the organization's external environment, we take a structure related to marketing, logistics, information channels, which is not directly included in the organization's structure, but the organization spends its energy (part S_{ex}) on this. Thus, S_{ex} is connected, with a kind of "external structure" of the organization.

Nevertheless, despite the separation of the two parts of the organization's energy entropy, both of them are a consequence of the "internal structure" of the organization and, above all, its labor resources, which ensure the organization / ordering of all business processes. That is why, in the expression for energy entropy (6), informational entropy is used, which reflects the options for the complex outcome of the organization's activities.

By analogy with the previous reasoning, the entropy value of an organization's resources will mean their ability to generate and reduce energy entropy. Such a twofold attitude towards energy entropy is due to the fact that in the classics of thermodynamics (where energy entropy comes from), it is precisely its change that reflects the state of the system. Given the specifics of organizations, it is also important for them what level of entropy is achieved, how its dynamics proceed, and due to what.

Therefore, we introduce indicators that reflect the entropy value of resources in monetary terms, that is, the entropy per unit monetary equivalent of outgoing energy as a whole, and for a particular type of resource, in particular:

$$\xi = \frac{S}{E^{ex}} = \frac{S}{\sum_{i=1}^n k_i \cdot E_i^p}, \quad (17)$$

$$\xi_i = \frac{S}{k_i \cdot E_i^p}, (i = \overline{1, n}). \quad (18)$$

We also introduce indicators reflecting the entropy value of a unit of resources in their natural expression:

$$\xi'_i = \frac{S}{E_i^p}, (i = \overline{1, n}). \quad (19)$$

By analogy with the previous reasoning, we introduce the dynamics of entropy value in dynamics:

$$\xi(t_j) = \frac{S(t_j)}{E^{ex}(t_j)} = \frac{S(t_j)}{\sum_{i=1}^n k_i(t_j) \cdot E_i^p(t_j)}, j = \overline{1, m}; \quad (20)$$

$$\xi_i(t_j) = \frac{S(t_j)}{k_i(t_j) \cdot E_i^p(t_j)}, (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}), \quad (21)$$

$$\xi'_i(t_j) = \frac{S(t_j)}{E_i^p(t_j)}, (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}), \quad (22)$$

where, $\xi(t_j), \xi_i(t_j), \xi'_i(t_j), E_i^p(t_j), k_i(t_j)$ have the same meaning as before, but these values are assigned to a specific time period $t_j, j = \overline{1, m}$.

Then the absolute increase in the entropy value of different categories will take the form:

$$\Delta \xi(t_j) = \xi(t_j) - \xi(t_{j-1}), (j = \overline{2, m}), \quad (23)$$

$$\Delta \xi_i(t_j) = \xi_i(t_j) - \xi_i(t_{j-1}), (i = \overline{1, n}, j = \overline{2, m}), \quad (24)$$

$$\Delta \xi'_i(t_j) = \xi'_i(t_j) - \xi'_i(t_{j-1}), (i = \overline{1, n}, j = \overline{2, m}). \quad (25)$$

A peculiar result of the analysis of the entropy value of resources is its relative change. Since the dynamics change not only the entropy of the organization, but also its resources, the relative indicators of the dynamics of the entropy value of the organization will also be useful for analysis. To do this, we introduce the quantities:

$$\Delta S(t_j) = S(t_j) - S(t_{j-1}), (j = \overline{2, m}), \quad (26)$$

increase in entropy over a period of time $[t_{j-1}, t_j], j = \overline{2, m}$;

$$\Delta E^{ex}(t_j) = E^{ex}(t_j) - E^{ex}(t_{j-1}), (j = \overline{2, m}), \quad (27)$$

increase in outgoing energy over a period of time $[t_{j-1}, t_j], j = \overline{2, m}$;

$$\Delta E_i^P(t_j) = E_i^P(t_j) - E_i^P(t_{j-1}), (i = \overline{1, n}, j = \overline{2, m}), \quad (28)$$

growth of the i -th resource over a period of time $[t_{j-1}, t_j], j = \overline{2, m}$,

$$\Delta k_i(t_j) = k_i(t_j) - k_i(t_{j-1}), (i = \overline{1, n}, j = \overline{2, m}), \quad (29)$$

increase in the cost of the i -th resource over a period of time $[t_{j-1}, t_j], j = \overline{2, m}$.

Relative indicators of the dynamics of the entropy value of resources are expressed as follows:

$$v(t_j) = \frac{\Delta S(t_j)}{\Delta E^{ex}}, (j = \overline{1, m}), \quad (30)$$

$$v_i(t_j) = \frac{\Delta S(t_j)}{\Delta k_i(t_j) \cdot \Delta E_i^P(t_j)}, (i = \overline{1, n}, j = \overline{2, m}), \quad (31)$$

$$v'_i(t_j) = \frac{\Delta S(t_j)}{\Delta E_i^P(t_j)}, (i = \overline{1, n}, j = \overline{2, m}). \quad (32)$$

A change in the organization's energy entropy occurs, among other things, as a result of a change in its temperature, which, in turn, depends on informational entropy and the organization's effectiveness. Since the analysis of efficiency was presented above and within the framework of the energy-entropic theory is not a central issue for its further detailing, we will dwell in more detail

References

1. Alekseev, G. N. (1983), *Energoentropika* [Ergoentropika], Moscow, Knowledge, 268 p.
2. Bushuyev, S., Sochnev, S. (1999), "Entropy measurement as a project control tool", *International Journal of Project Management*, No. 17 (6), P. 343–350.
3. Petrenko, A. V. "Organization management as a struggle with entropy" ["Upravleniye organizatsiyey kak bor'ba s entropiyey"], *Institutional repository of the National Aviation University of Ukraine*, available at: www.er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/14626/1/Entropy

on the change in the energy-entropy of an organization under the influence of changes in its information entropy.

We offer the following relative indicator of the dynamics of the entropy of the organization:

$$\varepsilon(t_j) = \frac{\Delta S(t_j)}{\Delta H(t_j)}, (j = \overline{2, m}), \quad (33)$$

where,

$$\Delta H(t_j) = H(t_j) - H(t_{j-1}), (j = \overline{2, m}) \quad (34)$$

- increase in information entropy over a period of time $[t_{j-1}, t_j], j = \overline{2, m}$.

Expression (33) also characterizes indirectly the value of the organization's human resources, since, first of all, the organization order depends on them (their competencies and energy [13]). Note that, despite the fact that energy entropy $S(t_j)$ depends on $H(t_j)$, nevertheless, the ratio of their changes is quite useful for analyzing the dynamics of the organization's performance, identifying problems and finding the necessary solutions to eliminate them.

We also note that a positive change in information entropy along with a decrease in energy entropy is the main evidence of the high level of human resources of the organization, demonstrating their ability to "cope" with the entropy of both types.

Conclusions

In this study, the category "value of the resources of the organization" is considered in the framework of the energy-entropic concept of the organization. The expression of the organization's energy entropy is presented, which is based on taking into account the organization's activity efficiency and its informational entropy as a measure of order.

A model of the organization's energy turnover is formulated and the value of the organization is considered from the perspective of two points of view - energy efficiency (by analogy with economic efficiency) and energy entropy.

A system of indicators has been developed that makes it possible to comprehensively evaluate the entropy value of each resource individually and their total value. A tool for analyzing the dynamics of energy entropy is also proposed and a relative indicator of the dynamics of entropies is introduced, which comprehensively assesses structural and qualitative changes in the organization and allows you to identify problems of an energy-organizational nature that need to be addressed.

4. Yagelskaya, E. Yu. (2013), "The essence and structure of economic energy" ["Sushchnost' i struktura ekonomicheskoy energii"], *Problems of Economics and Management*, No. 8 (24), P. 98–111.
5. Likhonosova, G. S. (2018), "Entropy balancing: a tool for eliminating socio-economic exclusion at the enterprise" ["Entropy balance: the instrument for the consolidation of social and economic vodtorgneny"], *Chronicle of economic reforms*, No. 2, P. 43–51.
6. Melnik, L. G. (2013), "Analysis of the energy-entropic prerequisites for the progressive development of economic systems" ["Analiz energoentropiynykh predposylok progressivnogo razvitiya ekonomicheskikh system"], *Actual problems of economics*, No. 10, P. 15–22.
7. Bushuyev, S. D., Yaroshenko F., Yaroshenko N. (2013), "Entrepreneurial energy in the management of development projects" ["Predprinimatel'skaya energiya v upravlenii proyektami razvitiya"], *Project management and production development*, No. 2, P. 5–12.
8. Shakhov, A. V. (2014), "Entropy model of portfolio management of a project-oriented organization" ["Entropiynaya model' portfel'nogo upravleniya proyektno-oriyentirovannoy organizatsiyey"], *Project Management and Development of Network*, No. 2, P. 87–95.
9. Ceptureanu, E. G., Ceptureanu, S. I., Popescu, D. I. (2017), "Relationship between Entropy, Corporate Entrepreneurship and Organizational Capabilities in Romanian Medium Sized Enterprises", *Entropy*, No. 19, P. 412. DOI: <https://doi.org/10.3390/e19080412>
10. Chen, Jing (2002), "An Entropy Theory of Value", *SSRN Electronic Journal*, available at: https://www.researchgate.net/publication/228398386_An_Entropy_Theory_of_Value
11. Bondar, A., Bushuyev, S., Onyshchenko, S., Hiroshi, H. (2020), "Entropy Paradigm of Project-Oriented Organizations Management", *Proceedings of the 1st International Workshop IT Project Management (ITPM 2020) Volume 1. Lviv, Ukraine, February 18-20, 2020, CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org)*, P. 233–243, available at: <http://ceur-ws.org/Vol-2565/paper20.pdf>
12. Bondar, A. V. (2019), "The concept of the human resources value of a project-oriented organization", *Proceedings of Admiral Makarov NUS*, Helvetik Publishing House, No. 1, P. 135–141. DOI: [https://doi.org/10.15589/znp2019.1\(475\).19](https://doi.org/10.15589/znp2019.1(475).19)
13. Bondar, A. (2020), "Management of human resources of the project-oriented organization based on the profile of the specialist and the degree of its uniqueness", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (11), P. 28–34. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.11.028>.
14. Bondar, A. V., Onishchenko, S. P. (2019), "Optimization of project time parameters", *Managing the development of folding systems*, No. 39, P. 11–18. DOI: <https://doi.org/10.6084/M9.FIGSHARE.11340629.V1>
15. Onyshchenko, S., Bondar, A., Andrievska, V., Sudnyk, N., Lohinov, O. (2019), "Constructing and exploring the model to form the road map of enterprise development", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5, No. 3 (101), P. 33–42. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179185>
16. Onyshchenko, S., Leontieva A. (2018), "Modeling of the optimal composition of the enterprise technical development program", *Technology audit and production reserves*, No. 5 (2), P. 36–41. DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.146463>

Received 24.04.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бондар Алла Віталіївна – кандидат технічних наук, Одеський національний морський університет, доцент кафедри управління логістичними системами і проектами, Одеса, Україна; email: ocheretyankaalla@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2228-2726>.

Бондарь Алла Витальевна – кандидат технических наук, Одесский национальный морской университет, доцент кафедры управления логистическими системами и проектами, Одесса, Украина.

Bondar Alla – PhD (Engineering Sciences), Odessa National maritime University, Associate Professor of the Department of Logistic systems and project management, Odessa, Ukraine.

ЕНЕРГОЕНТРОПІЙНА ЦІННІСТЬ РЕСУРСІВ ОРГАНІЗАЦІЇ

Предметом дослідження є підходи і методи визначення енергетичної та ентропійної цінності ресурсів організації. **Метою** даного дослідження є розробка концепції та відповідного математичного інструментарію визначення та аналізу динаміки енергоентропійної цінності ресурсів організації. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні **завдання**: визначити вираз енергоентропії, сформулювати модель енергообігу організації, розробити систему показників, що дозволяють визначати ентропійну цінність ресурсів організації. Використовуються такі методи: системний аналіз, теорія ймовірності, енергоентропійна теорія. **Результати**. В результаті дослідження встановлено, що в процесі діяльності організації виникає колообіг протоенергії і енергії: енергія - протоенергія (ресурси) - протоенергія (продукт) - енергія. Встановлено співвідношення між вхідною та вихідною енергією організації, що дозволило узагальнити поняття "ефективність" в рамках енергоентропійного підходу. На відміну від класичної ефективності, запропоновано альтернативною мірою "ефективної організації системи" вважати ентропію. Виходячи з цього, цінність ресурсів організації формується з двох складових - енергетичної та ентропійної. В рамках енергоентропійної концепції організації і розглянутого енергообігу, енергетична цінність ресурсів визначена як співвідношення вхідної та вихідної енергії організації за певний проміжок часу. У такій інтерпретації енергетична цінність ресурсів організації є своєрідним аналогом ефективності. Встановлено, що цінність ресурсів може розглядатися як інтегрально, так і для кожного виду ресурсу окремо. Також в роботі запропоновані показники, що відображають ентропійну цінність ресурсів в грошовому еквіваленті. **Висновки**. В даному дослідженні категорія «цінність ресурсів організації» розглянута в рамках енергоентропійної концепції організації. Сформульовано модель енергообігу організації і розглянута цінність організації з позиції енергоефективності та енергоентропії. Розроблено систему показників, що дозволяє в комплексі оцінювати ентропійну цінність кожного ресурсу окремо і їх сумарну цінність. Також запропонований інструмент аналізу динаміки енергоентропії і обґрунтований відносний

показник динаміки ентропій, який комплексно оцінює структурні і якісні зміни в організації і дозволяє виділити проблеми енергетично-організаційного характеру, які потребують вирішення.

Ключові слова: ентропія; енергообіг; ресурси; цінність; організація.

ЭНЕРГОЭНТРОПИЙНАЯ ЦЕННОСТЬ РЕСУРСОВ ОРГАНИЗАЦИИ

Предметом исследования являются подходы и методы определения энергетической и энтропийной ценности ресурсов организации. **Целью** данного исследования является разработка концепции и соответствующего математического инструментария определения и анализа динамики энергоэнтропийной ценности ресурсов организации. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие **задачи**: определить выражение энергоэнтропии, сформулировать модель энергооборота организации, разработать систему показателей, позволяющих определять энтропийную ценность ресурсов организации. Используются следующие методы: системный анализ, теория вероятности, энергоэнтропийная теория. **Результаты.** В результате исследования установлено, что в процессе деятельности организации возникает круговорот протоэнергии и энергии: энергия - протоэнергия (ресурсы)– протоэнергия (продукт) – энергия. Установлено соотношение между входящей и исходящей энергией организации, что позволило обобщить понятие "эффективность" в рамках энергоэнтропийного подхода. В отличие от классической эффективности, предложено альтернативной мерой "эффективной организации системы" считать энтропию. Исходя из этого, ценность ресурсов организации формируется из двух составляющих – энергетической и энтропийной. В рамках энергоэнтропийной концепции организации и рассматриваемого энергооборота, энергетическая ценность ресурсов определена как соотношение входящей и исходящей энергии организации за определенный промежуток времени. В такой интерпретации энергетическая ценность ресурсов организации является своеобразным аналогом эффективности. Установлено, что ценность ресурсов может рассматриваться как интегрально, так и для каждого вида ресурса отдельно. Также в работе предложены показатели, отражающие энтропийную ценность ресурсов в денежном эквиваленте. **Выводы.** В данном исследовании категория «ценность ресурсов организации» рассмотрена в рамках энергоэнтропийной концепции организации. Сформулирована модель энергооборота организации и рассмотрена ценность организации с позиции энергоэффективности и энергоэнтропии. Разработана система показателей, позволяющая в комплексе оценивать энтропийную ценность каждого ресурса в отдельности и их суммарную ценность. Также предложен инструмент анализа динамики энергоэнтропии и обоснован относительный показатель динамики энтропий, который комплексно оценивает структурные и качественные изменения в организации и позволяет выделить проблемы энергетическо-организационного характера, требующие решения.

Ключевые слова: энтропия; энергооборот; ресурсы; ценность; организация.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Бондар А. В. Енергоентропійна цінність ресурсів організації. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.005>.

Bondar, A. (2020), "Energy-entropic value of organization's resources", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.005>.

S. BUSHUYEV, D. BUSHUIEV, V. BUSHUIVA

PROJECT MANAGEMENT DURING INFODEMIC OF THE COVID-19 PANDEMIC

The **subject** of this article is the transformation of project management systems, programs and project portfolios in the context of the interaction of the infodemic and pandemic in the COVID-19 environment. Infodemic, ahead of the pandemic, is filled with rumours, conjectures and speculation at the first stage, creating an atmosphere of fear and panic. At the same time, Agile methodologies, systems of knowledge and competencies of project and program managers come to the fore in project management. The basis of the changes lies in changing the decision-making paradigm in the management of projects and programs in the "infodemic - pandemic" system. The **goal** is to study the models of interaction and mutual influence of the pandemic (infodemic) information support during the development of the COVID-19 pandemic for the application of modern methodologies of flexible methodologies in managing projects and programs at all levels of the state and society. The key challenges to a successful project and program management are Agile Transformation. Today there is an intuitive transition to the use of flexible project and program management methodologies, which does not bring the expected results. The **research results** allowed the authors to build a model of interaction "infodemic - pandemic). This model can be used to analyse the mutual influence of the information envelope in each country on the distribution of the coronavirus and project management to minimize the negative consequences of the pandemic. **Conclusions:** This article explores the phenomenon of "infodemic" that occurs during the global crisis of the COVID-19 pandemic. It is proposed to apply the Agile transformation of the project management system and pandemic programs, taking into account the influence of informational "noise" in the mental space of global society. The model can significantly improve project preparation by transforming Agile management with a focus on stakeholder value systems. At the same time, it is important to use the opportunities to accelerate and increase the effectiveness of project implementation using Agile umbrella tools such as Kanban, P2M, Kaizen and others. Disinformation, which includes false claims about a "cure", conspiracy theory and misleading information about the spread of the virus will expand. The effectiveness of the response to control this "infodemic" is likely to vary from country to country and will depend on public confidence in the authorities. New developments, including the detection of outbreaks of the virus in almost all countries of the world, the publication of epidemiological data and the start of clinical trials of the vaccine, are likely to lead to new misinformation, which will hamper efforts to control the pandemic.

Keywords: infodemic; COVID-19; project management; Agile transformation; information; infection; SEIR model.

Introduction

Digital transformation and the fourth industrial revolution, the global health and economic crisis, longer human lifespans: the powerful dynamics of change and complexity which have been explored by the projecting the future status will drive profound changes like work in the years ahead. The years ahead could see even more rapid change in how work is carried out. Factors like globalisation and the rise of virtual teams (now dramatically brought to the fore by Covid-19), changing relationships between employers, flexible organisational structures, open innovation models, more diverse workforces, and changing corporate cultures will all have an impact on the skillsets expected of tomorrow's project management professionals. Work is often increasingly complex, carried out in uncertain and unpredictable environments, demanding different behaviours and skills from leaders, including project professionals.

At the announcement of the Coronavirus pandemic, the World Health Organization (WHO) introduced the new term "infodemia" in February 2020.

Infodemia arises in the information space by being defined as an excessive amount of information about a problem that complicates its solution.

Today the phenomenon of "infodemia" is formed in the Ukrainian society, which creates a specific metallic downtime for the implementation of projects and programs. This is not a unique problem. The global mental space has had to deal with the spread of misinformation before. So, in 2014, during the WHO's fight against Ebola, rumours of the disease became the engine of panic, when many people rushed to buy protective clothing kits in

online stores. The kits consisted of overalls and face masks that were unnecessary to prevent the disease.

Many medical experts consider the greatest threat to human life and health not panic as such, but the broadcast of fakes that could provoke the so-called dangerous behaviour. In the case of measles, this is "anti-vaccine" propaganda. In the case of coronavirus, this is untrue information regarding the rules of conduct during an epidemic. "Examples of risky behaviour during outbreaks of infectious diseases include not washing your hands, sharing food with sick people, not disinfecting potentially contaminated surfaces, and not being able to isolate yourself," say British medical experts. Therefore, the best response to coronavirus is antiviral hygiene along with information hygiene. And then neither epidemics nor "infodemic" will prevail against us. But this time the misinformation blast came out many times more powerful than before. The main reason is that doctors have long been unable to determine where the disease originated in China, how it is spreading, and how to deal with it. While science was searching for answers, millions of views were gaining anti-science posts, such as this one, that the emergence of coronavirus bats soup, a deadly disease spread through imported "infected" products, clothing and smartphones from China, and that Chinese authorities hide the true scale of the epidemic. It is the irresponsibility of bloggers and journalists, their unwillingness to check the facts, latent racism against the Chinese, and political support for sensational news that distracts citizens from the pressing problems that have accumulated in society.

In many countries, coronavirus misinformation resurrected old prejudices about Asians and gave rise to xenophobia and racism. In social networks, offensive

language, humiliating jokes and caricatures have spread to people with an Asian appearance. Along with the COVID-19 coronavirus pandemic, another "infodemia" is spreading around the world – informational. This phenomenon has already received its name – "infodemia". The WHO has already warned that the "information epidemic" is spreading faster than the viral one.

The theoretical background of infodemia

Let's go from pandemic dimension to the infidemia dimension.

Traditionally, three basic approaches are used to simulate complex processes and phenomena: field, analytical and simulation.

Full-scale models have the maximum adequacy and informativeness, which, however, are very costly and not always practicable. For example, for field simulation of fakes, bugs and gossip through the people, the spread of

computer viruses, a specially formed test network consisting of a large number of computers is required [1].

The SEIR/SEIRS diagram below shows how individuals move through each compartment in the model. The dashed line shows how the SEIR model becomes an SEIRS (Susceptible - Exposed - Infectious - Recovered - Susceptible) model (fig. 1), where recovered people may become susceptible again (recovery does not confer lifelong immunity). The infectious rate β controls the rate of spread which represents the probability of transmitting disease between a susceptible and an infectious individual. The incubation rate, σ is the rate of latent individuals becoming infectious (average duration of incubation is $1/\sigma$). Recovery rate $\gamma = 1/D$ is determined by the average duration, D , of infection. For the SEIRS model, ε is the rate which recovered individuals return to the susceptible status due to loss of immunity.

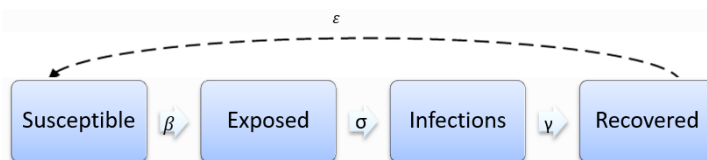


Fig. 1. The SEIRS (Susceptible - Exposed - Infectious - Recovered - Susceptible) model

The SEIRS model presented next differentiation equations [20]:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\frac{\beta SI}{N}; \\ \frac{dE}{dt} &= \frac{\beta SI}{N} - \sigma E; \\ \frac{dI}{dt} &= \sigma E - \gamma I; \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I,\end{aligned}$$

where $N = S + E + I + R$ is the total population.

Since the latency delays the start of the individual's infectious period, the secondary spread from an infected

individual will occur at a later time compared with a SIR model, which has no latency. Therefore, including a longer latency period will result in the slower initial growth of the outbreak. However, since the model does not include mortality, the basic reproductive number, $R_0 = \beta / \gamma$, does not change.

The complete course of an outbreak is observed. After the initial fast growth, the epidemic depletes the susceptible population. Eventually, the virus cannot find enough new susceptible people and dies out. Introducing the incubation period does not change the cumulative number of infected individuals. Results of simulation SEIR model presented in fig. 2.

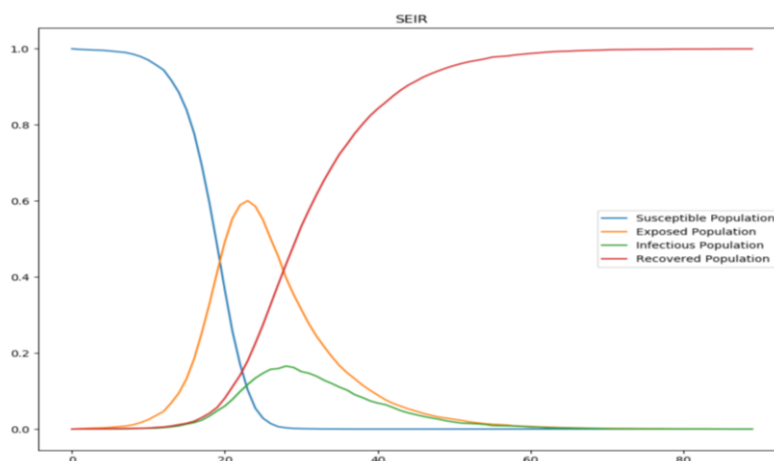


Fig. 2. Results of simulation by the SEIR model

Infodemic model infected society by truth and fakes takes place into global information space. Truth and fakes can have a positive or negative impact on the emotional status of society and projects. Infodemic processes are going faster as pandemic and interrelated between.

The influence of Infodemic model to SEIRS model presented next differentiation equations.

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\beta SI}{N} + \omega_{\theta}(t),$$

$$\frac{dE}{dt} = \frac{\beta SI}{N} - \sigma E + \omega_e(t)$$

$$\frac{dI}{dt} = \sigma E - \gamma I + \omega_i(t),$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I + \omega_r(t),$$

where $\omega_{\theta}(t)$ – is impact of infodemic processes to susceptible population, based on the "panic"; $\omega_e(t)$ – is the impact of infodemic processes to expose of infection, based on the decreased immunity according to the emotional status of the population; $\omega_i(t)$ – is the impact of infodemic processes on infection, based on the decreased immunity according to the emotional status of the population; $\omega_r(t)$ – is the impact of infodemic processes to recovered population, based on the decreased immunity according to the emotional status.

Conceptual "infodemic vs. pandemic" model presented on the fig. 3.

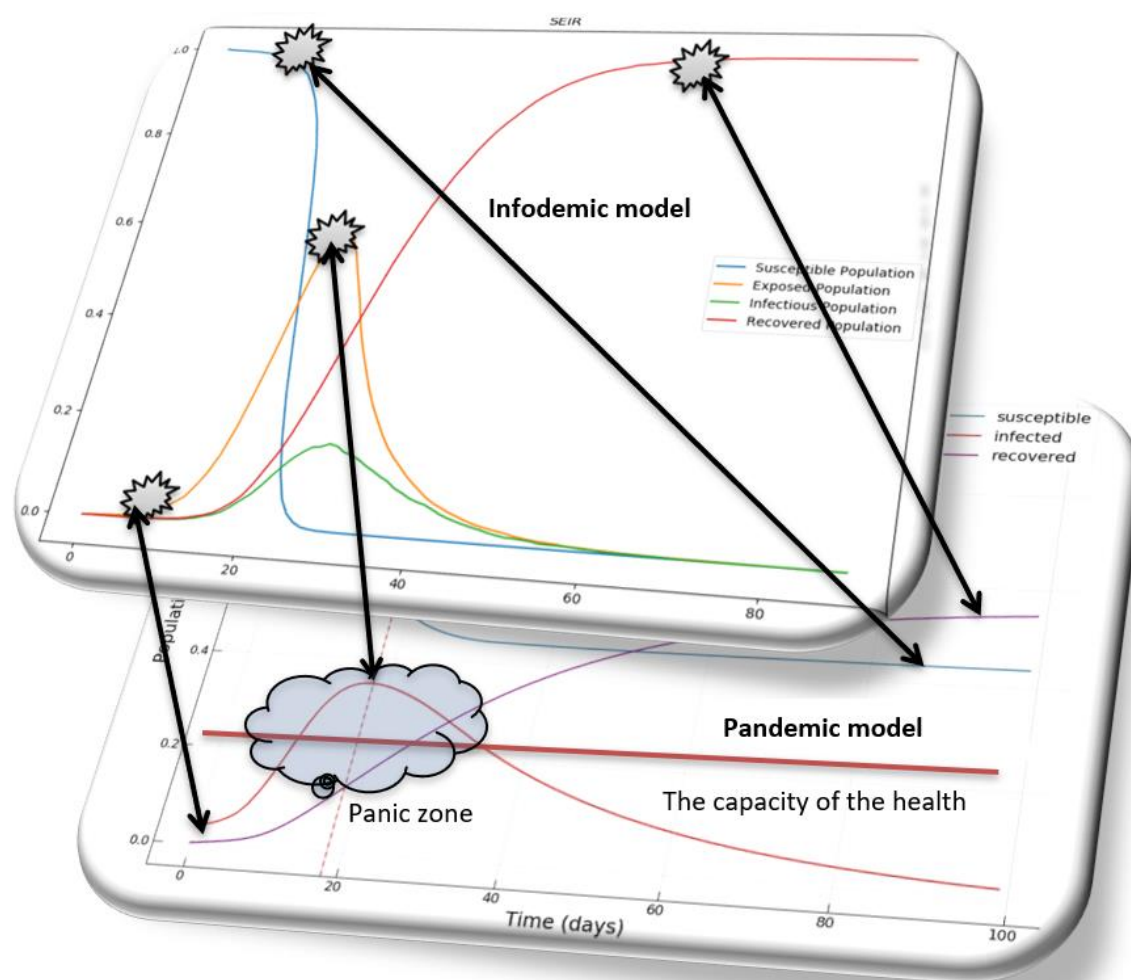



Fig. 3. Conceptual model "infodemic vs. pandemic" system. Where  points on the infodemic model are defined by the impact zone to pandemic model

In fig. 3. The links between the infodemic and pandemic model are shown. These connections have two directed effects between the critical points of the infodemic model, which tries to be proactive and anticipate areas of panic situations. Such zones are born when the capabilities of the health system in the fight against a pandemic are exhausted. This situation is shown in a pandemic model with a line of health system

capabilities and the current infection situation. For example, a panic zone was noted in the spring of 2020 in Italy when the possibilities of hospitals were exhausted. Shown in fig. 3 links, track the interaction and interdependence of infodemia and pandemics. The previously considered mathematical model determines these relationships based on the influence factors $\omega_{\theta}(t)$, $\omega_e(t)$, $\omega_i(t)$, $\omega_r(t)$. These factors depend on the

situation over time. Such a relationship will be identified in Section 5 of this article on the Kuber-Ross Life Cycle Model of a Community Pandemic Project.

In the algorithms of action of infected agents, three main aspects can be distinguished: state, search for

targets, infection algorithm. This model presented in iThink software (fig. 4) for simulating of system dynamics [18, 19].

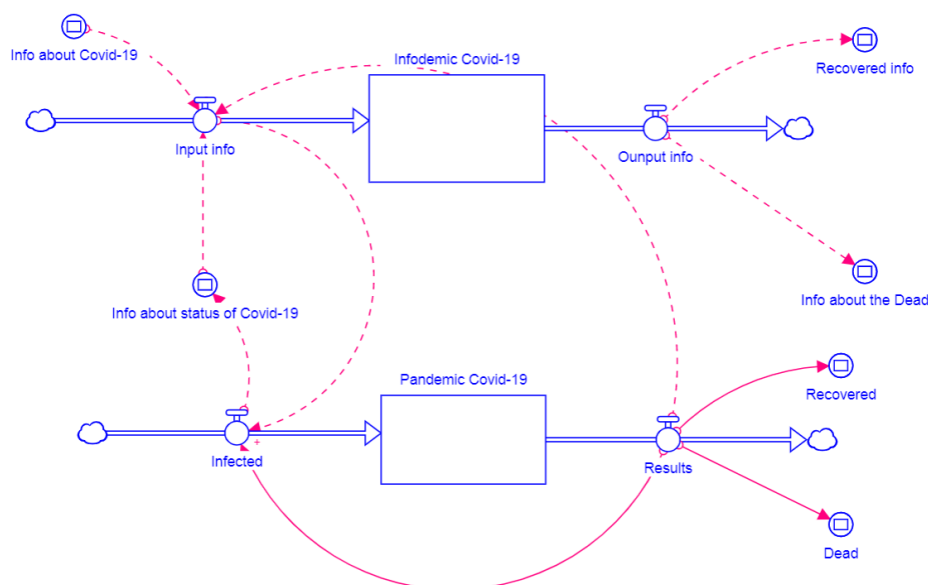


Fig. 4. System dynamic model for simulation of interaction "infodemic vs. pandemic"

Various models of the transition of an entity from state to state have been studied for many decades (see, for example, [15]), and the developed system should certainly support both these and other, more sophisticated models.

Search for goals. An important aspect of modelling the infection process is the algorithm for finding targets (i.e., agents susceptible to infection). The search is performed among available agents, that is, those that correspond to the vertices of the subgraph incident to the infect element. In [9, 16], a large number of search strategies were considered, which can be reduced to five main ones.

1. Linear search. Infectious agents sequentially enumerate all (or a selected subset) of the agents available to them, trying to infect them. This is the least effective strategy, which, however, finds application in primitive network worms.

2. Random search. Infectious agents randomly enumerate all (or a selected subset) of the agents available to them, trying to infect them. This is the most popular and well-studied strategy used by many Internet worms.

3. Search the list. Infectious agents perform sequential or random enumeration of a selected subset of the agents available to them whose susceptibility to infection is known in advance. This strategy is, for example, an element of the suboptimal strategy of the behaviour of a hypothetical Warhol worm [7].

4. Counterattack. The infectious agent only infects those agents that, in turn, attempted to infect it. Such a strategy is typical for network counter worms [9], but one can find its analogies in life, for example, when a doctor provides medical care only to patients sneezing at him.

5. Concurrent infection. A strategy that has biological and natural analogies, for example, when the spread of fire from a burning tree occurs immediately on

all closely located trees. In modelling, it can be implemented as a special case of linear search or random search with zero time spent on scanning.

It is clear that misinformation is not a deadly weapon in itself – a fake cannot directly kill a person. But receiving fake information instead of truthful information can worsen the chances of humanity as a whole and individually taken to overcome the existing threat in the form of a new dangerous disease. In this case, Agile transformation can be applied in pandemic for each country.

Consider the key principles of Agile transformation society in COVID-19 "pandemia+infodemia".

1. Ignoring immunity to change. Transformation in society occurs only when people in it change. But people don't change, even if they want to. Remember your New Year's Promises. Many do not even make plans because they remember how bitter it was to realize that they had not activated their gym subscription for the year or taken up their English. People do not change, even if they are threatened with death. It turned out that when cardiologists warn patients that they will die if they do not change their lifestyle (do not diet, exercise, quit smoking), only one in seven patients change their life. We are immune to change: we reject the new, the unknown, and cling to our usual beliefs.

2. Immunity protects against fears. Fear of becoming a useless country. Fear of losing authority and status. Fear of losing yourself. When we try to change the mindset, behaviour, culture in an organization, we are faced with this immunity, and therefore any change is difficult, painful and long. Let's do simple, don't do important. Where will cross-functional teams come from if we have 1-2 independent professionals and an army of assistants in each area? Where will self-organization come from, if we

still have strict subordination? Where will teamwork come from if motivation and reward are individual? Consider common executives mistakes when creating a team:

i. Selection of the team on the principle of "psychological compatibility". In Agile projects, it is much more important to unite a team based on a common goal and teamwork.

ii. Reformation of the formed groups on the principle of potential "psychological compatibility". "It destroys the foundations of the team – the experience of interaction and the experience of strengthening each other." In the new team, the resistance to the conscious and the unconscious will be great. Much more effective use of the interaction experience in the new environment.

iii. Underestimating the value of diversity. Groups consisting of dissimilar personalities are more effective than groups with similar perspectives. Understanding the value of diversity contributes to enhancing relationships between team members and, therefore, builds confidence in a small group.

Infodemic going in parallel with Pandemic. Infodemic has a much shorter lifecycle of action and impact. In the competition of 'infodemic vs. pandemic' leadership become the key competence of programs teams (fig. 5).

Strategic and operational trusts become the driver of program success.

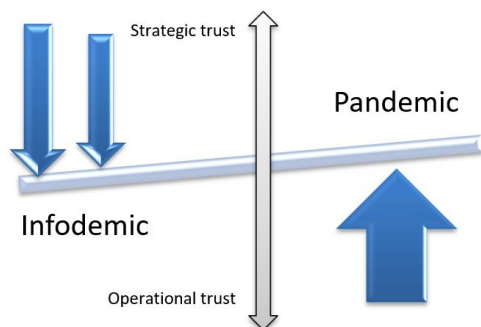


Fig. 5. Balancing of "infodemic vs. pandemic"

The cohesion of the Agile Project Management Group is a measure of the mutual attraction of group members to one another and the group. Cohesion is expressed in the desire to remain in the group, in the desire to cooperate in solving common tasks and to preserve the group. The more cohesive a group is, the tougher it is to control the views and actions of its members. The close-knit group creates an atmosphere of attentiveness and mutual support. The downside of over-cohesion is the reluctance of its members to think critically and make serious decisions as a result of the process of groupthink. This tendency arises because of a tendency to conformism. (Optional: On conformism: a person with a higher intellectual level is less conformant than a person with a low intellectual level. Also, an educated person is usually confident in the accuracy of his expression and does not feel the need for support from the group).

When the Agile Project Management team becomes too cohesive and has general expectations, the following are disadvantages in the decision-making process:

1. Group decisions have a small number of options, opportunities outside this row are rejected or not considered at all;

2. Initially, the goals set are not reviewed or contested;

3. Newly identified risks are not taken into account in order not to challenge the initially chosen course of action;

4. The courses of action rejected by the group from the outset shall not be re-examined in the light of new information;

5. The experience and knowledge of external experts are not involved;

6. When new information is discovered, the group prioritizes information that supports its original hypotheses and ignores the conflicting information;

7. The group does not think how bureaucratic inertia or resistance by organizations can impede the implementation of the elected political line.

Existing models and methods of interaction emotion infection in project and program management

Emotional and informational infection is a socio-psychological mechanism of transmitting the mental attitude to other people from one person or group of people, emotional impact in conditions of direct contact and the inclusion of the individual in certain mental states.

In the study of the emotional component of the processes of managing innovative projects recognition was created by the psychophysiology Simonov P.V. [4] formula, in a short symbolic form represents a set of factors that affect the emergence and nature of the effects of emotions.

$$E(t) = f(P(t) * (In(t) - Is(t))),$$

where $E(t)$ – emotion, its degree, quality and impact; $P(t)$ – the power and influence of the actual need; $(In(t) - Is(t))$ – assessment of the possibility of meeting the need based on innate and ontogenetic experience; $In(t)$ – information on cost, meeting the need; $Is(t)$ – information about existing assets that the manager owns.

We used this formula to obtain specific quantitative values and illustrate the formation principle of the positive (stenic) or the negative (astenic) emotions of varying strength.

The factors listed above are decisive, necessary and sufficient, but a time factor should also be considered. Emotion can be either short-lived or long-lasting. At the same time, it is necessary to take into account the peculiarities of emotions and individual-typological features of managers of projects. From the formula, it follows that the possibility of satisfying the need influences the sign of emotion. A function that reflects emotions is the same as an evaluation function.

Emotional infestation is a social and psychological mechanism of transfer of mental mood to other people from one person or group of people, emotional influence in the conditions of direct contact and inclusion of a person in certain mental states. The COVID-19 outbreak has been associated with a wide and evolving range of

misinformative content. In part, this is due to the different motivations of those who are creating and disseminating it; each form poses a distinct challenge.

Misinformation on treatments extends from high-dose Vitamin C, boiled garlic and sesame oil massages through to cocaine and the consumption of industrial-strength cleaning products. Some of these are extremely dangerous, while others pose a threat as they may lead people to rely solely on them for protection or prioritise them over evidence-based guidelines.

Conspiracies constitute a considerable portion of the misinformation relating to COVID-19. A number centre on the virus as a bioweapon, while others have claimed that the Gates Foundation played a role in the outbreak. Although they may not directly cause harm, they are adding to a climate of distrust where the public is treating official sources with growing scepticism.

A fundamental characteristic of the misinformation seen during this outbreak has been its ability to change tack at speed. Videos, pictures, interviews and articles, are all being used to substantiate false claims.

Misinformation travels faster, deeper and more broadly through social media networks compared to accurate information. It has also been shown that individuals are more likely to believe false information after repeated exposure. In the face of overwhelming amounts of information, people rely on information that they are familiar within in this context, misinformation.

Misinformative content is frequently contained within a xenophobic frame and, though it is commonly quoted that coronavirus misinformation fuels racist sentiment, the converse also appears to be true.

Social media platforms provide a rich ecosystem for COVID-19 misinformation which can often gain unchecked momentum within closed groups before reaching a wider audience. Social media firms are now working with the WHO to combat this. Strategies include using existing fact-checking structures, promoting accurate content and making inaccurate content harder to find. For example, Facebook is running ads directing users to local health authorities and Google promotes the WHO's or local authorities' websites when a search is performed using the virus's keywords. A notable feature

of the outbreak is how the misinformative content is being reported by mainstream outlets. This is giving misinformation new reach and credibility.

Recent examples include a map illustrating global air travel, which was broadcast by several popular news companies under the guise that it showed the travel patterns of Wuhan residents who had fled the city. Besides, multiple articles cited a forecast of sulphur dioxide emissions over China as evidence of mass cremation of coronavirus victims.

The fact that these organisations are unable to discern the truth serves to highlight the challenges facing society.

The stakeholder infection model is based on an understanding of the life cycle of the project manager, which is presented as a Kubler-Ross curve for personal changes of the manager of pandemic projects and programs (fig. 6).

On the initial phase of project activity within the virtual team defended the next steps – "shock, surprise, reflection" and "denial". This is a short-term phase where the wall and asthenic stains are infected. These infections usually do not extend beyond the project management virtual team.

The second phase is related to a significant drop in performance. These are "blaming yourself and others," "panic and fear," "depression and danger." At this phase, an asthenic infection is formed that goes beyond the project management team.

The third phase involves the transition from asthenic to wall infection of society. In this phase, the following factors are formed - "acceptance of ignorance", "testing and verification", "feeling of optimism, hope and restart", "opening, learning", "feeling of satisfaction" and "integration and new understanding" of the project.

Emotional contamination occurs in large open spaces, especially in unorganized communities, for example, in a crowd that can spread certain emotional states quickly. Most often, these conditions can be markedly enhanced by multiple reflections in the chain reaction scheme. However, unlike cognitive chain reactions, emotional transmission is less conscious and more automatic.

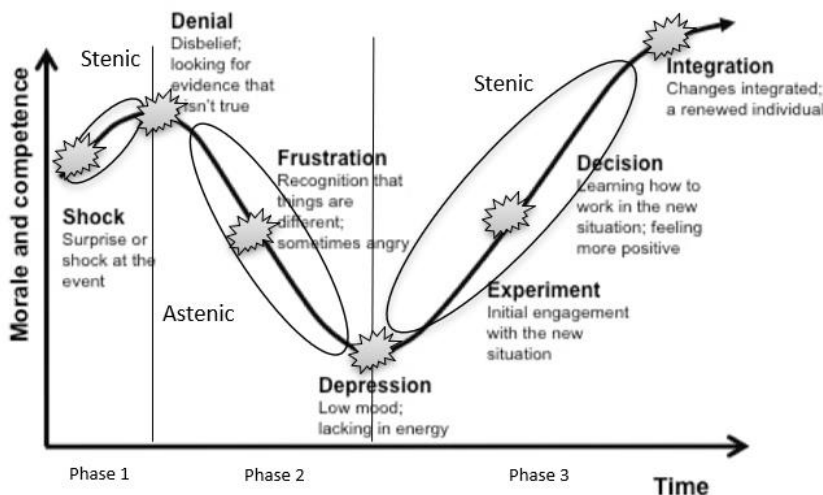



Fig. 6. The curve of personal changes of the society. Where  infodemic critical points.

Emotions are different in content, reflecting different aspects of the significance of their situations. To apply the psychophysiological formula for assessing the impact of the emotional state of the stakeholders of innovative projects, we transform these influences into a competent dream model of managing innovative projects.

At the program level, the most important thing is to set up interfaces for interaction between organizations and program team members.

To form a harmonious community, the following rules must be followed:

1) mutual trust in the realization of common tasks; observance of social ethics norms, orientation to fruitful cooperation and commitment in work;

2) defining the context and principles of the program - a clear interpretation of the mission, tasks, roles and professional terms within the program;

3) definition of program regulations – principles of program implementation, common professional or technical language, terms for communication and standards of implementation of business processes;

4) the availability of professional skills that are implemented in the work on the program;

5) space ("BA") – a common space used by stakeholders to maintain their professionalism and

engagement within the program, with a minimum set of rules of engagement.

Conclusions

This paper investigates the phenomenon of "infodemia" that occurs in crises. It is suggested to apply the Agile transformation of the project management system and pandemic programs taking into account the effects of the layer of information "noise" in the mental space. The model makes it possible to significantly improve the project preparation process through Agile management transformation with a focus on stakeholder value systems, and accelerate project implementation through the use of tools such as Kanban, P2M, Kaizen. The misinformation, which includes false 'cure' claims, conspiracy theories and misleading information on the spread of the virus, is set to expand. The efficacy of responses to control this 'infodemic' will probably vary from country to country and depend on the public's trust of the authorities. New developments, including the discovery of further cases outside China, the release of epidemiological data and the commencement of clinical trials for a vaccine, will likely trigger new misinformative content, hampering efforts to bring the outbreak under control.

References

1. Verenych, O., Bushuieva, V., Bushuiev, D. (2019), "The Blended Mental Space: Erosions as a reason for a project failure", *IEEE 14th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2019 – Proceedings*, P. 111–115.
2. Bushuyev, S., Kozyr, B., Rusan, N. (2020), "Modeling of Empathy, Emotional Intelligence and Transformational Leadership to the Project Success", *Mathematical Modelling and Simulation of Systems. Advances in Intelligent Systems and Computing Book Series*, Springer AG, Vol. 972, P. 209–222.
3. Bushuiev, D., Kozyr, B. (2020), "Hybrid infrastructure project management methodologies", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (11), P. 35–43. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.11.035>
4. Krysko, V. G. (2006), *Social Psychology: Lecture Course*, 3rd ed. Moscow, Omega-L, 352 p.
5. Todorović, M., Petrović D., Mihić M., Obradović V., Bushuyev S. (2015), "Project success analysis framework: A knowledge-based approach in project management", *International Journal of Project Management*, Vol. 33, Issue 4, P.772–783.
6. Bushuyev, S., Murzabekova, A., Murzabekova, S., Khusainova, M. (2017), "Develop breakthrough competence of project managers based on entrepreneurship energy", *Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT*, P. 1–7.
7. Bushuyeva, N. S. (2007), *Models and methods of proactive management of organizational development programs*, Kyiv, Naykovy Svit, 270 p.
8. Obradović, V., Todorović, M., Bushuyev, S. (2018), "Sustainability and agility in project management: contradictory or complementary?", *Springer Nature Switzerland AG*, P. 522–535.
9. Rusan, N., Bushuyev, S., Bushuyev, D. (2017), "Emotional intelligence – the driver of the development of breakthrough competences of the project", *IEEE, International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Lviv, Ukraine*, P. 183–187.
10. IPMA Reference Guide ICB4 in an Agile World (2018), IPMA, Version 2.3, 71 p.
11. Guide to managing innovative projects and programs, P2M (2009), *PMAJ*, Version 1.2, 173 p.
12. Individual Competence Baseline for Project, Programme & Portfolio Management, (2015), *International Project Management Association*, Version 4. 415 p.
13. Bushuyev, S., Verenych, O. (2018), "Organizational Maturity and Project: Program and Portfolio Success", *Developing Organizational Maturity for Effective Project Management (Chapter 6: Organizational Maturity and Project: Program and Portfolio Success)*, Under the head. ed. G. Silvius&G. Karayaz, IGI Global, P. 349 (chapter 6, P. 104–127). DOI: 10.4018/978-1-5225-3197-5
14. Bushuyev, S., Verenych, O. (2018), "The Blended Mental Space: Mobility and Flexibility as Characteristics of Project/Program Success", *IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT*, P. 148–152.
15. Bushuyev, S., Bushuiev, D., Zaprivoda, A., Babayev, J., Elmas, Ç. (2020), "Emotional infection of management infrastructure projects based on the agile transformation", *IEEE CEUR Workshop Proceedings*, P 53–58.
16. Hatfield, E., Cacioppo, J., Rapson, R.L. (1994), *Emotional contagion*, New York, Cambridge University Press, 20 p.
17. Bushuyev, S., Babayev, J., Bushuiev, D., Kozyr, B. (2020), "Emotional Infection of Management Innovation SMART Government Projects", *IEEE European technology & engineering management summit*, P. 53–58.

18. Royston, G, Dost, A, Townshend, J, Turner, H. (1999), "Using system dynamics to help develop and implement policies and programmes in health care in England", *System Dynamics Rev*, No. 15, P. 293–313.

19. Bala, Bilash Kanti, Arshad, Fatimah Mohamed, Noh, Kusairi Mohd (2017), *System Dynamics. Modelling and Simulation*, Springer, 274 p.

20. SEIR and SEIRS models. (2020), IMOND, available at : <https://www.idmod.org/docs/hiv/model-overview.html>.

Received 27.04.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

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

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

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

Бушуєв Денис Антонович – кандидат технічних наук, Київський національний університет будівництва та архітектури, доцент кафедри інформаційних технологій, Київ, Україна; email: BushuyevD@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5340-5165>.

Бушуєв Денис Антонович – кандидат технических наук, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, доцент кафедры информационных технологий, Киев, Украина.

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

Бушуєва Вікторія Борисівна – кандидат технічних наук, Київський національний університет будівництва та архітектури, доцент кафедри управління проектами, Київ, Україна; email: bushuieva.v@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7298-4369>.

Бушуєва Виктория Борисовна – кандидат технических наук, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, доцент кафедры управления проектами, Киев, Украина.

Bushuieva Victoriia – PhD (Engineering Sciences), Kyiv National University of Construction and Architecture, Associate Professor of the Department of Project Management, Kyiv, Ukraine.

УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ ПІД ЧАС ІНФОДЕМІЇ ТА ПАНДЕМІЇ COVID-19

Предметом статті є трансформація систем управління проектами, програмами і портфелями проектів в умовах взаємодії інфодемії і пандемії в умовах COVID-19. Інфодемія, випереджаючи пандемію, наповнюється чулками, здогадками і домислами на першому етапі, формуючи атмосферу страху і паніки. При цьому на перший план в управлінні проектами виходять гнучкі (Agile) методології, системи знань і компетенцій керівників проектів і програм. Основи змін лежать в зміні парадигми прийняття рішень в управлінні проектами та програмами в системі "інфодемія - пандемія". **Мета** – вивчити моделі взаємодії та взаємовпливу інформаційного супроводу пандемії (інфодемії) при розвитку пандемії COVID-19 для застосування сучасних методологій гнучких методологій в управлінні проектами та програмами на всіх рівнях держави і суспільства. Ключовими проблемами успішного управління проектами і програмами є Agile трансформація. Сьогодні спостерігається інтуїтивний перехід до використання гнучких методологій управління проектами і програмами, який не приносить очікуваних результатів. **Результати** досліджень дозволили авторам побудувати модель взаємодії "інфодемія - пандемія). Ця модель може бути використана для аналізу взаємовпливу інформаційного оболонки в кожній країні на поширення коронавірусу і управління проектами мінімізації негативних наслідків пандемії. **Висновки:** В даній статті досліджується феномен "інфодемії", що виникає при глобальній кризі пандемії COVID-19. Пропонується застосувати Agile-трансформацію системи управління проектами та пандемічний програм з урахуванням впливу інформаційного "шуму" в ментальному просторі глобального суспільства. Модель дозволяє значно поліпшити процес підготовки проекту за допомогою трансформації управління Agile з акцентом на системи цінностей зацікавлених сторін. При цьому важливо використовувати можливості прискорення і підвищення ефективності реалізації проектів за допомогою таких інструментів парасольки Agile, як Kanban, P2M, Kaizen і ін. Дезінформація, яка включає в себе неправдиві заяви про "лікуванні", теорії змови і вводить в оману інформацію про поширення вірусу, буде розширюватися. Ефективність заходів для контролю над цією "інфодемією", ймовірно, буде варіюватися від країни до країни і залежати від довіри громадськості до влади. Нові розробки, в тому числі виявлення спалахів вірусу практично у всіх країнах світу, публікація епідеміологічних даних і початок клінічних випробувань вакцини, ймовірно, приведуть до появи нового дезінформаційного змісту, що завадить зусиллям з контролю над пандемією.

Ключові слова: інфодемія; COVID-19; управління проектами; Agile трансформація; інформація; інфекція; SEIR модель.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ ВО ВРЕМЯ ИНФОДЕМИИ И ПАНДЕМИИ COVID-19

Предметом статьи является трансформация систем управления проектами, программами и портфелями проектов в условиях взаимодействия инфодемии и пандемии в условиях COVID-19. Инфодемия, опережая пандемию, наполняется слухами, догадками и домислами на первом этапе, формируя атмосферу страха и паники. При этом на первый план в управлении

проектами выходят гибкие (Agile) методологии, системы знаний и компетенций руководителей проектов и программ. Основы изменений лежат в изменении парадигмы принятия решений в управления проектами и программами в системе "инфодемия – пандемия". **Цель** – изучить моделей взаимодействия и взаимовлияния информационного сопровождения пандемии (инфодемии) при развитии пандемии COVID-19 для применения современных методологий гибких методологий в управлении проектами и программами на всех уровнях государства и общества. Ключевыми проблемами успешного управления проектами и программами являются Agile трансформация. Сегодня наблюдается интуитивный переход к использованию гибких методологий управления проектами и программами, который не приносит ожидаемых результатов. **Результаты** исследований позволили авторам построить модель взаимодействия "инфодемия – пандемия). Эта модель может быть использована для анализа взаимовлияния информационной оболочки в каждой стране на распространение коронавируса и управления проектами минимизации негативных последствий пандемии. **Выводы:** В данной статье исследуется феномен "инфодемии", возникающей при глобальном кризисе пандемии COVID-19. Предлагается применить Agile-трансформацию системы управления проектами и пандемических программ с учетом влияния информационного "шума" в ментальном пространстве глобального общества. Модель позволяет значительно улучшить процесс подготовки проекта с помощью трансформации управления Agile с акцентом на системы ценностей заинтересованных сторон. При этом важно использовать возможности ускорения и повышения эффективности реализации проектов с помощью таких инструментов зонтика Agile, как Kanban, P2M, Kaizen и др. Дезинформация, которая включает в себя ложные заявления о "излечении", теории заговора и вводящую в заблуждение информацию о распространении вируса, будет расширяться. Эффективность ответных мер для контроля над этой "инфодемией", вероятно, будет варьироваться от страны к стране и зависеть от доверия общественности к властям. Новые разработки, в том числе обнаружение вспышек вируса практически во всех странах мира, публикация эпидемиологических данных и начало клинических испытаний вакцины, вероятно, приведут к появлению нового дезинформационного содержания, что помешает усилиям по контролю над пандемией.

Ключевые слова: инфодемия; COVID-19; управление проектами; Agile трансформация; информация; инфекция; SEIR модель.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Бушуев С. Д., Бушуев Д. А., Бушуева В. Б. Управління проектами під час Інфодемії та Пандемії COVID-19. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 13–21. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.013>.

Bushuyev, S., Bushuiev, D., Bushuieva, V. (2020), "Project management during Infodemic of the COVID-19 Pandemic", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 13–21. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.013>.

А. В. ВОРОНІН, О. В. ГУНЬКО, Л. М. АФАНАС'ЄВА

ДИНАМІКА ІННОВАЦІЙНОЇ КОНКУРЕНЦІЇ

Предметом цієї роботи є проблема динамічної взаємодії інноваційних продуктів в умовах ринкової конкуренції. Стійке економічне зростання в даний час не є можливим без підвищення конкурентоспроможності підприємств і галузей, багато в чому залежить від посилення конкурентного середовища. В результаті конкурентної боротьби економічних агентів за досягнення різних переваг на ринках створюються і удосконалюються нові продукти з відповідним розвитком технологій. В аналізі попередніх публікацій відзначена роль національної інноваційної політики держави в системі формування пріоритетів інвестиційної діяльності в ринкових умовах. **Метою** роботи є аналіз особливостей побудови моделей конкуренції інноваційних процесів. При цьому слід підкреслити, що економічні системи мають складну і неоднорідну структуру з ієрархічною схемою взаємодії ендегенних і ексogenous факторів. Спільною рисою багатьох балансових моделей ринкової економіки є наявність автокаталітичних складових, що визначають механізми зростання інноваційного продукту. У статті вирішується завдання побудови і аналізу поведінкових властивостей математичної моделі конкуренції двох економічних суб'єктів на загальному ринку. Як прототип для моделі ендегенної гомеодинамічної системи використовується широко відома в популяційній динаміці математична модель "хижак-жертва". Дана модель являє собою систему двох звичайних диференціальних рівнянь з квадратичними нелінійностями, що має кілька положень рівноваги і володіє поведінкою зі зміною характеру стійкості. **Методи** дослідження базуються на математичному апараті економічної синергетики і теорії стійкості нелінійних динамічних систем. В **результаті** вказані умови, при яких реалізується автоколивальний режим в околі стану рівноваги з появою одного або декількох граничних циклів. Встановлено, що максимальна кількість граничних циклів в досліджуваній системі навколо положення рівноваги дорівнює трьом. Виконано предметний аналіз біфуркаційних властивостей циклічної динаміки конкурентної взаємодії, визначено межі втрати стійкості станом рівноваги. **Висновки.** Поведінковий характер динаміки інноваційних процесів суттєво змінюється і можлива реалізація стрибкоподібного переходу від монотонного економічного зростання до релаксаційної коливальності.

Ключові слова: інновація; конкуренція; ринок; рівновага; стійкість; біфуркація; цикл; автоколивання.

Вступ

Поступовий розвиток національної економіки держави неможливий без обґрунтування вибору і реалізації стратегій розвитку суб'єктів господарювання. Інноваційна спрямованість життєдіяльності підприємств повинна забезпечувати сталі позитивні тенденції економічних процесів на конкурентному ринку нововведень. Основу інноваційної політики на промисловому підприємстві становить удосконалення продукції з урахуванням запитів споживчого ринку.

У праці Артеменко [1] розкриті особливості формування конкурентоспроможності інноваційно активних підприємств, досліджена сутність та ієрархічні рівні конкурентних чинників у процесі впровадження технологічних змін. Проблеми досягнення довгострокового зростання економіки за рахунок нарощування інноваційного потенціалу промислових підприємств з переходом від сировинної моделі економіки досліджували Булесв, Брюховецька [2-4]. Питанням національних стратегій інвестування та фінансових механізмів інноваційної діяльності присвячена робота Даниленка [5].

Постановка завдання дослідження

Вплив інноваційного фактору на економічне зростання будемо розуміти як процес перетворення наукових досягнень та розробок у технологічно нові або модернізовані продукти та послуги, впроваджені на ринку, а також у нові або удосконалені технологічні процеси, які використовуються у практичній діяльності та забезпечують довгострокове

зростання національного доходу.

Стале економічне зростання, як показує світовий досвід, у теперішній час неможливе без збільшення конкурентоспроможності підприємств, галузей і національної економіки у цілому, що забезпечується посиленням конкурентної боротьби, як внутрішньої, так і міжнародної. З іншого боку, прогрес багатьох національних економік стримується обмеженням конкуренції та монополістичними тенденціями. Саме конкуренція є найбільш потужним двигуном, який змушує економічних агентів приділяти велику увагу досягненням науково-технічного прогресу, вкладати значні ресурси у науково-дослідницькі розробки. У наслідку довгострокової боротьби з різними суперниками за досягнення конкурентних переваг у конкретних сегментах ринку та галузях виникають та удосконалюються нові продукти, застосовуються принципово нові технології, якісно оновлюються основні фонди, удосконалюється людський капітал. Поняття економічної конкуренції являє собою складну та комплексну категорію, побудовану на взаємодії множини різноманітних підходів. Значна більшість дослідників виділяють цінову та структурну конкуренцію. У першому підході механізм конкуренції реалізується за рахунок цінових змін, при другому – конкурують умови виробництва товарів. Визначаючи сутність конкуренції, треба враховувати необхідні складові процеси, умовно поділені на три групи: поведінкові, структурні та функціональні.

Поведінкове розуміння конкуренції трактується як парне суперництво, яке відбувається між продавцями (або покупцями) за найбільш сприятливі умови продажу товару. При цьому вважається основним методом конкурентної боротьби цінові

зміни. Структурна складова конкуренції є аналіз сегментів або усього ринку для визначення ступеня свободи продавця та покупця. Функціональне наповнення конкуренції має своїм змістом інноваційність.

Аналізуючи особливості моделей конкуренції інноваційних процесів, треба зазначити, що економічні системи, як правило, є далекими від свого рівноважного стану, відкритими для товарно-грошових потоків, мають складну неоднорідну структуру та ієрархічні системи регуляції ендогенної середі під впливом екзогенних факторів. Тому математична формалізація процесів економічної конкуренції представляє сама по собі значні труднощі. На відміну від фізики, хімії, біології, для яких математика є мовою опису спостережуваних процесів, у зв'язку зі специфічними особливостями економічних явищ говорять саме про математичні моделі в економіці. Модель тут розуміють як достатньо грубу абстракцію та ідеалізацію, математичну формалізацією не самої еволюціонуючої системи економічного простору, а тільки як деяких якісних та кількісних характеристик, існуючих у ній процесів. Загальною рисою багатьох феноменологічних моделей ринкової економіки є наявність автокаталітичних по аналогії з хімічною генетикою та біофізикою) членів, що визначають можливість зростання, фактів появи нестійких стаціонарних станів, автоколивальних та квазістохастичних режимів.

Складні процеси у системах саморегуляції ринків обумовлені наявністю у структурних схемах контурів зворотнього зв'язку як додатних, так і від'ємних, що, у свою чергу, формує постановку задачі дослідження структурної стійкості розглянутих об'єктів та систем. У рівняннях локальних конкурентних взаємодій зворотні зв'язки надання нелінійними функціями, характер яких дозволяє ініціювати появу складних динамічних режимів з наявністю аттракторів і репелерів відповідного типу. Факт наявності суттєво нелінійних зв'язків та нестійкостей, що народжуються, зобов'язує використовувати синергетичну парадигму як засіб опису конкурентної взаємодії у економічному середовищі. Необхідно відзначити, що традиційний лінійний принцип суперпозиції незалежних розв'язків втрачає свої властивості у нелінійному світі, яким є ринок. У подібному випадку неможливо ціле дорівнювати простій сумі складових його частин. Треба вважати, що еволюція економічних систем означає деяку специфічну трансформацію усіх агентів ринкової взаємодії шляхом встановлення когерентного зв'язку та взаємного узгодження параметрів їх еволюції. Нелінійний синтез у даному випадку це об'єднання не жорстко встановлених, фіксованих об'єктів, структур, що розвиваються, володіючих різними економічним «віком» та «пам'яттю» на різних стадіях еволюції.

Для побудови складної інноваційної конкурентної організації необхідно когерентне з'єднання підструктур усередині її, синхронізація часових сталих їх еволюції. У наслідку такого нелінійного синтезу різні елементи структури

попадають у єдиний темпорезим. Це означає, що отримуючи один і той же момент загострення, вони починають функціонувати у єдиному узгодженому часовому вимірі.

При розвитку концепції побудови системи довшеної конкуренції настає усвідомлення факту, що це не які завгодно структури і не як завгодно можуть бути задіяні у єдине складене соціально-економічне утворення. Мабуть існує обмежений набір об'єднання, методів синтезу складного еволюційного цілого. Вибірковість, квантованість засобів об'єднання часток у ціле пов'язані з накладеною вимогою існування у загальному темпорезимі. Це природна, натуральна основа квантування в умовах інтегрування складних дисипативних економічних систем. У випадку, якщо поєднані у єдине конкурентне середовище інноваційні суб'єкти, мають різні моменти загострення, то у околі даної особливості вони будуть розвиватися незрівнянно по інтенсивності, що, у свою чергу, провокує небажаний ринковий дисбаланс.

Заради розбудови ефективної інноваційної конкуренції необхідно дотримання визначеної топології "архітектури" перехресних зв'язків. Інакше кажучи, якщо область перекриття є малою, то економічні суб'єкти будуть еволюціонувати, не маючи істотного впливу один на одного. З іншого боку, якщо взаємне перекриття дуже велике, то структури можуть злитися у стратегічні альянси на даному ринку, і, можливо, у єдину зростаючу структуру з границею зростання, що дорівнює обсягу ринку, що безумовно, приводить до виродження конкуренції інноваційних товарів.

Тепер вже можливо перейти до характеристики математичної сутності економічної конкуренції для декількох учасників ринку. Для початку ми обмежимося випадком конкуренції двох економічних суб'єктів на одному ринку. Для складання кінетичних рівнянь конкурентної взаємодії необхідно ввести декілька гіпотез, які характеризують явище, що вивчається на якісному рівні. Будемо вважати, що найбільш значущим для нас є аналіз балансу швидкостей процесів та факторів, які перешкоджають позитивному розвитку. Припустимо, що швидкість зростання кожного з конкурентів залежить від потенційного приросту кількості нововведень даного типу і нереалізованої можливості зростання для цього ж типу, подібно до того, якби це мало місце у кожного учасника ринку без впливу конкуренції. Але невикористана можливість кількісного зростання для даного виду інновацій при змішуванні відповідних потоків буде більш складною величиною. Вона наглядно демонструє, скільки місця на ринку ще є вільним для цього виду товару за наявністю експансії іншого учасника ринку.

У наступному дослідженні розглянемо модель конкурентної взаємодії двох інноваційних процесів. Наданий підхід базується на вивченні соціально економічного об'єкту, як ендогеннокерованої гомеодинамічної системи, здібної шукати різні шляхи еволюції через ієрархію нестійкостей. Саме тому

процеси соціально-економічних змін можуть бути інтерпретовані як нерівноважні.

Рішення завдання дослідження

У економіці, по аналогії з популяційною динамікою [6], прийнято виділяти три головних типи міжвидових взаємодій: кооперація, взаємне конкурентне пригнічення або конкуренція за загальний ресурс, відношення типу "хижак-жертва". Останньому типу сумісної поведінки інноваційних процесів і буде присвячене подальше дослідження. Процедура розбудови математичної моделі та аналіз її поведінкових якостей включає в себе наступні послідовні етапи.

1) визначення базових економічних факторів та закономірностей, яких треба брати до уваги при моделюванні системи відношень "хижак-жертва" з відповідним описом їх функцій;

2) побудова та дослідження набору моделей типу "хижак-жертва", які включають різноманітні комбінації базових економічних факторів, впливаючих на динаміку системи;

3) виявлення особливостей, загальних для різних моделей і формулювання узагальнюючих тверджень про мозаїку динамічної поведінки у таких системах.

Математично визначену програму формалізуємо наступним чином. Розглянемо динамічну систему

$$\begin{cases} \dot{x}_0 = F(x_0) - B_1(x_0, y_0), \\ \dot{y}_0 = -E(y_0) + B_2(x_0, y_0), \end{cases} \quad (1)$$

де $x_0 = x_0(t)$ – кількість нового продукту типу "жертва", а $y_0 = y_0(t)$ – обсяг інноваційного продукту "хижак". Функції $F(x_0)$ та $E(y_0)$ мають сенс швидкостей зростання кожного нововведення, доданки $B_1(x_0, y_0)$ та $B_2(x_0, y_0)$ характеризують вплив конкурентної боротьби на динаміку процесу. Будемо вважати, що система (1) має, як мінімум, один рівноважний стан x_0^*, y_0^* і тому є доцільним оперувати з досліджуваною системою, використовуючи нові змінні $x = x_0 - x_0^*, y = y_0 - y_0^*$, які є відхиленнями від рівноважного стану.

Праві частини (1) представимо у формі розкладу у ряд Тейлора в малому околі точки x_0^*, y_0^* , задовольняючись членами ступені не вище другої. Тоді беремо

$$F(x) = f_1 x - f_2 x^2, \quad E(y) = e_1 y + e_2 y^2.$$

Тоді обираємо різні знаки при квадратичних доданках мають властивості поведінки «жертви та хижака». Далі припускаємо можливість пропорційності функцій конкуренції: $B_2(x, y) = rB_1(x, y)$, ($0 < r < 1$). Сама функція буде мати достатньо загальну форму

$$B_1(x, y) = \varphi(x, y) = \varphi_{10}x + \varphi_{01}y + \varphi_{20}x^2 + \varphi_{11}xy + \varphi_{02}y^2.$$

З урахуванням вище наданих зауважень система (1) має явний вираз

$$\begin{cases} \dot{x} = (f_1 - \varphi_{10})x - \varphi_{01}y - (f_2 + \varphi_{20})x^2 - \varphi_{11}xy - \varphi_{02}y^2, \\ \dot{y} = r\varphi_{10}x + (r\varphi_{01} - e_1)y + r\varphi_{20}x^2 + r\varphi_{11}xy + (r\varphi_{02} - e_2)y^2. \end{cases} \quad (2)$$

Однією із головних проблем якісного дослідження динамічної системи (2) є пошук граничних циклів, якщо вони існують. Для досягнення такої мети є ефективним шлях використання відомої економічної моделі, для якої вже встановлені базові результати про кількість, відносно розташування та характер стійкості граничних циклів. У якості прикладу подібної системи може бути використана модельна квадратична модель Андронової [7], у наступному вигляді:

$$\begin{cases} \dot{x} = \lambda x - y + kx^2 + mx + ny^2, \\ \dot{y} = x + ax^2 + bxy. \end{cases} \quad (3)$$

Порівнюючи відповідні коефіцієнти систем (2) та (3), отримаємо співвідношення між параметрами лінійних частин:

$$\lambda = f_1 - \varphi_{10}, \quad \varphi_{01} = 1, \quad r\varphi_{10} = 1, \quad r\varphi_{01} = e_1. \quad (4)$$

Із (4), вочевидь, коли тривіальний стан рівноваги є складним фокусом, параметр λ стає малою знакозмінною величиною. При цьому, якщо $\lambda = 0$, виконується $f_1 e_1 = 1$. Для квадратичних доданків маємо наступні рівності:

$$k = -(f_2 + \varphi_{20}), \quad m = -\varphi_{11}, \quad n = -\varphi_{02}, \quad (5)$$

$$a = r\varphi_{20}, \quad b = r\varphi_{11}, \quad r\varphi_{02} = e_2.$$

За допомогою формул (4) і (5) впливають співвідношення:

$$r = e_1, \quad \varphi_{02} = \frac{e_2}{e_1}.$$

Відносно системи (3) відомі умови обернення в нуль двох перших величин Ляпунова [7], що визначає можливість мати у околі тривіального рівноважного стану три граничних цикли. У позначеннях системи (3) дані умови можуть бути надані у вигляді:

$$b + 2n = 0, \quad 3k + 7n = 0, \quad m = 5a. \quad (6)$$

Використовуючи зв'язки (5), отримаємо:

$$r\varphi_{11} - 2\varphi_{02} = 0, \quad 7\varphi_{02} + 3\varphi_{20} + 3f_2 = 0, \quad 5r\varphi_{20} + \varphi_{11} = 0. \quad (7)$$

Система лінійних рівнянь (7) відносно невідомих $\varphi_{20}, \varphi_{11}, \varphi_{02}$ має відповідне рішення

$$\varphi_{02} = \frac{15 \cdot r^2 f_2}{35 \cdot r^2 - 6}, \quad \varphi_{11} = \frac{2}{r} \varphi_{02}, \quad \varphi_{20} = -\frac{7}{3} \varphi_{02} - f_2 \quad (8)$$

При цьому існує зв'язок між параметрами:

$$\frac{e_2}{e_1} = \frac{15 \cdot r^2 f_2}{35 \cdot r^2 - 6} \quad (9)$$

і виконується нерівність $r^2 > \frac{6}{35}$.

Таким чином, нам вдалось знайти усі параметри функції конкуренції, при яких можуть існувати три граничних цикли навколо тривіального рівноважного стану.

Також треба відзначити ще одну важливу обставину. Модельна система (3) має ще один складний фокус у малому околі нетривіального рівноважного стану $x^* = 0$, $y^* = \frac{1}{n}$. За умови

$$\lambda + \frac{m}{n} = 0 \text{ та виконанні обмежень (6) довкола}$$

нетривіального стану системи (3) можуть існувати ще три граничних цикли. Крім того, використовуючи результат Баутіна [8] про циклічність особливої точки, яка дорівнює [3], і принцип закінчення Гайко [9], стверджуючи, що кратність граничних циклів не може бути вище кратності особливої точки, в якій вони закінчуються, у кожному окремому випадку доведено від протилежного неможливість існування чотирьох граничних циклів навколо одного рівноважного стану.

Треба відзначити, що система (2) є прикладом квадратичної апроксимації конкурентної взаємодії двох інноваційних процесів з шістьма граничними циклами у співвідношенні 3:3 та висунута гіпотеза про те, що вказана кількість циклів є максимально можливою.

Далі розглянемо більш загальні умови існування періодичних процесів у досліджуваній моделі (2). Матриця лінійної частини (2) у стані рівноваги має вигляд:

$$A = \begin{pmatrix} f_1 - \varphi_{10} & -\varphi_{01} \\ r\varphi_{10} & r\varphi_{01} - e_1 \end{pmatrix}$$

з відповідним характеристичним поліномом

$$\lambda^2 - trA \cdot \lambda + \det A = 0, \quad (10)$$

де $trA = f_1 - \varphi_{10} + r\varphi_{01} - e_1$ – слід матриці A , $\det A = f_1(r\varphi_{01} - e_1) + e_1\varphi_{10}$ – визначник матриці A .

У випадку, коли $trA < 0$, і $\det A > 0$ можна стверджувати, що система (2) стійка у лінійному наближенні. Треба з'ясувати більш детально ситуацію у малому околі на межі області лінійної стійкості $trA = \mu$, де μ – мала знакозмінна величина. Це означає, що величини $f_1 - \varphi_{10}$ та $e_1 - r\varphi_{01}$ достатньо близькі.

Оскільки $\det A > 0$, припустимо, що

$$\det A = \omega^2(\mu) = r\varphi_{10}\varphi_{01} - (r\varphi_{01} - e_1)^2 + (r\varphi_{01} - e_1)\mu$$

і $f_1 - \varphi_{10} = r\varphi_{01} - e_1 + \mu$.

Тоді (10) спрощується до вигляду:

$$\begin{aligned} \lambda^2 - \mu \cdot \lambda + \omega_0^2 - \mu(r\varphi_{01} - e_1) &= 0, \\ \omega_0^2 &= r\varphi_{10}\varphi_{01} - (r\varphi_{01} - e_1)^2 \end{aligned} \quad (11)$$

Якщо продиференціювати (11) по параметру μ при $\mu = 0$, отримаємо

$$\frac{\partial \lambda}{\partial \mu} = \frac{1}{2} - i \frac{r\varphi_{01} - e_1}{2\omega_0} \quad (12)$$

Із формули (12) випливає, що власні числа перетинають уявну вісь з ненульовою швидкістю і складний фокус є повільним.

Таким чином, можна вважати виконаними умови біфуркаційної теореми Хопфа і у системі (2) при зміні стійкості рівноважного стану типу складного фокусу відбувається народження граничного циклу з появою відповідного автоколивального режиму. У якості біфуркаційного параметру є

$$f_1 = \varphi_{10} - r\varphi_{01} + e_1.$$

Для аналізу даної біфуркації за допомогою заміни

$$x = \varphi_{01}x_1, y = (e_1 - r\varphi_{01})x_1 + \omega_0x_2, \tau = \omega t$$

побудуємо нормальну форму системи (2) при $\mu = 0$.

У наслідку необхідних перетворень отримаємо систему

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -x_2 + a_{20} \frac{x_1^2}{2} + a_{11}x_1x_2 + a_{02} \frac{x_2^2}{2} \\ \dot{x}_2 &= x_1 + b_{20} \frac{x_1^2}{2} + b_{11}x_1x_2 + b_{02} \frac{x_2^2}{2} \end{aligned} \quad (13)$$

Система двох звичайних диференціальних рівнянь є нормальною формою Пуанкаре і може бути безпосередньо застосована для обчислення базових характеристик граничного циклу, таких як амплітуда частота та період коливань, а також напрямку стійкості періодичних розв'язків.

При цьому найважливішим питанням при дослідженні біфуркації Хопфа залишається проблема максимальної кількості граничних циклів, які можуть з'явитися із стану рівноваги при збуренні параметрів досліджуваної системи. У цьому питанні ми будемо спиратися на результати Баутіна [8], які вже раніше були аносовані для квадратичних систем.

Для визначення максимальної кратності граничного циклу у системі диференціальних рівнянь (13) необхідно обчислити значення перших трьох ляпуновських величин. Заради досягнення цієї мети систему (13) перетворимо у єдину комплекснозначне диференціальне рівняння для змінної $z = x_1 + ix_2$ при $\mu \neq 0$.

$$\dot{z} = (i + \mu)z + g_{20} \frac{z^2}{2} + g_{11}z \cdot \bar{z} + g_{02} \frac{\bar{z}^2}{2}, \quad (14)$$

де $\bar{z} = x_1 - ix_2$, $g_{jk} = g_{jk}(a_{jk}, b_{jk})$, $j, k = 0, 1, 2$, $j + k = 2$.

Особлива точка (стан рівноваги) із фокуса перетворюється на центр за допомогою наступних умов:

$$\begin{cases} \mu = g_{11} = 0; \\ \mu = g_{20} + \bar{g}_{11} = 0; \\ \mu = \text{Im}(g_{20}g_{11}) = \text{Im}(\bar{g}_{11}^3 \cdot g_{02}) = \text{Im}(g_{20}^3 \cdot g_{02}) = 0; \\ \mu = g_{20} - 4\bar{g}_{11} = |g_{02}| - 2|g_{11}| = 0, \end{cases} \quad (15)$$

де $\text{Im}(\cdot)$ – є уявною частиною комплексного числа.

Вирази (15) визначають умови існування першого інтегралу у системі (13). Це означає, що система (13) із дисипативної перетворюється у консервативну. У такій системі має місце нескінченна кількість періодичних траєкторій, неперервно залежних від початкових умов. Зрозуміло, що ізольованих замкнутих траєкторій (граничних циклів) у такій консервативній системі не може бути.

У статті Жолодека [10] наведені формули обчислення трьох величин Ляпунова для рівняння (14):

$$\begin{aligned} l_1 &= -\frac{1}{2}\text{Im}(g_{20}g_{11}), \\ l_2 &= -\frac{1}{12}\text{Im}(g_{20} - 4\bar{g}_{11})(g_{20} + \bar{g}_{11})\bar{g}_{11} \cdot g_{02}, \\ l_3 &= -\frac{25}{64}(4|g_{11}|^2 - |g_{02}|^2)\text{Im}(\bar{g}_{11}^3 \cdot g_{02}). \end{aligned} \quad (16)$$

Таким чином, за допомогою формул (16) не складно виявити циклічність особливої точки (стану рівноваги):

- 1) цикл не існує, якщо $\mu \neq 0$;
- 2) є єдиний граничний цикл, якщо $\mu = 0$,

$$\text{Im}(g_{20} \cdot g_{11}) \neq 0;$$

- 3) співіснують двоє граничних циклів, якщо $\mu = \text{Im}(g_{20}g_{11}) = 0$, $g_{20} \neq 4\bar{g}_{11}$;

- 4) існує троє граничних циклів, якщо $\mu = g_{20} - 4\bar{g}_{11} = 0$.

За рахунок зв'язку між (13) і (14), маємо:

$$\begin{cases} g_{20} = \frac{1}{4}(a_{20} - a_{02} + 2b_{11} + i \cdot (b_{20} - b_{02} - 2a_{11})), \\ \bar{g}_{11} = \frac{1}{4}(a_{20} + a_{02} - i \cdot (b_{20} + b_{02})). \end{cases} \quad (17)$$

Використовуючи умову 4), з урахуванням (17), отримуємо параметричні умови існування трьох граничних циклів у системі (13):

$$\begin{cases} 2b_{11} = 3a_{20} + 5a_{02}, \\ 2a_{11} = 5b_{20} + 3b_{02}, \end{cases} \quad (18)$$

Вважаємо суттєвим, що умови (18) отримані прямими обчисленнями величин Ляпунова для

квадратичної системи (13) з шістьма параметрами, не застосовуючи канонічних систем Баутіна, Андронової та ін. [8], які використовують п'ятипараметричну форму представлення досліджуваних моделей.

Отриманий результат (18) можна перевірити з іншого боку. У роботах Боніна і Легата [11], а також Лі [12,13] більш детально розглянута система:

$$\begin{cases} \dot{u}_1 = -u_2 + a_{20}u_1^2 + a_{11}u_1u_2 + a_{02}u_2^2 \\ \dot{u}_2 = u_1 + b_{20}u_1^2 + b_{11}u_1u_2 + b_{02}u_2^2 \end{cases} \quad (19)$$

Система (19) має деякі відмінності від (13) і тому співвідношення (18) трансформуються до вигляду:

$$\begin{cases} b_{11} = 3a_{20} + 5a_{02} \\ a_{11} = 5b_{20} + 3a_{02} \end{cases} \quad (20)$$

Для системи (19) у вищезначених працях надані умови максимально можливої кількості циклів у околі особливої точки з обчисленням відповідних величин Ляпунова. Користуючись позначеннями Ван, Лі, Чоу [14], сформуємо відповідні вирази:

- а) $l_1 = A\alpha - B\beta$,
- б) $l_2 = [\beta(5A - \beta) + \alpha(5B - \alpha)]\gamma$, якщо $l_1 = 0$.
- в) $l_3 = (A\beta + B\alpha)\gamma\delta$, якщо $l_1 = l_2 = 0$,

де

$$A = a_{20} + a_{02}, B = b_{20} + b_{02}, \alpha = a_{11} + 2b_{02}, \beta = b_{11} + 2a_{20},$$

$$\gamma = b_{20}A^3 - (a_{20} - b_{11})A^2B + (b_{02} - a_{11})AB^2 - a_{02}B^3,$$

$$\delta = a_{02}^2 + b_{02}^2 + a_{02}A + b_{20}B.$$

З урахуванням (20) виключимо параметри a_{11} та b_{11} . Тоді $\alpha = 5(b_{20} + b_{02})$, $\beta = 5(a_{20} + a_{02})$. Це означає, що $\alpha = 5B$, $\beta = 5A$, що автоматично виконує умову, $l_1 = l_2 = 0$ і забезпечує $l_3 \neq 0$. Таким чином, маємо підтвердження тому, що максимально можливий порядок повільного фокусу для квадратичної системи дорівнює три, що збігається з дослідженням Жолодека [15].

Ми не випадково так ретельно проаналізували біфуркаційні властивості циклічної динаміки конкурентної взаємодії. Саме тут найбільш яскраво виявляються властивості нестійкості систем по відношенню до малих відхилень параметрів. Тільки у нелінійних системах поблизу біфуркаційних границь по обидві сторони яких на досліджуваному об'єкті спостерігається якісно різний характер поведінки. Прикладом такої перебудови топології є зміна стійкого аперіодичного режиму на нестійкий автоколевальний катастрофічним чином. На фазовій площині це ілюструють сепаратиси – лінії, які розмежовують різні області притягання (аттрактора).

Висновки

Нами достатньо змістовно досліджені якісні особливості динаміки інноваційного ринку для двох учасників конкурентної боротьби. Зрозуміло, що це

всього-на-всього частково випадок складної організаційної економічної системи. Удосконалення ринкових відносин, на нашу думку, повинно бути спрямовано на зростання кількості учасників ринку інновацій. Добре відомо, що поява на ринку, наприклад, третього учасника конкурентної боротьби

може ініціювати у системі хаотичний режим з народженням нового різновиду аттрактору. Цей «дивний» аттрактор суттєвим чином змінить динаміку конкурентних взаємовідносин та зменшить горизонт економічного прогнозу.

Список літератури

1. Артеменко Л. П. Формування конкурентоспроможності інноваційно-активних підприємств. *Економіка і організація управління*. 2014. № 1 (17). С. 19–25.
2. Булеев И. П. Экономика Украины на современном этапе: институциональный аспект. *Вісник економічної науки України*. 2015. № 1. С. 26–34.
3. Брюховецкая Н. Е., Булеев И. П. Конкуренция и соревнование в условиях инновационного развития предприятий. *Вісник економічної науки України*. 2017. № 1. С. 7–15.
4. Булеев И. П., Брюховецкая Н. Е., Богущька О. А. Формування структури промисловості індустріального міста за критеріями підвищення якості життя населення та інвестиційної привабливості. *Прометей*. 2013. Вип. 1. С. 45–49.
5. Даниленко А. І. Основні проблеми інноваційної перебудови та фінансові аспекти її забезпечення в Україні. *Фінанси України*. 2017. № 5. С. 7–23.
6. Базыкин А. Д. Математическая биофизика взаимодействующих популяций. М. : Наука, 1985. 184 с.
7. Андропова Е. А. К топологии квадратичных систем с четырьмя (или более) предельными циклами. *Успехи математических наук*. 1986. Т. 41. Вып. 2. С. 183–184.
8. Баутин Н. Н., Леонтович Е. А. Методы и приемы качественного исследования динамических систем на плоскости. М. : Наука, 1990. 488 с.
9. Гайко В. А. Глобальные бифуркации предельных циклов и шестнадцатая проблема Гильберта. Мн. : Университетское, 2000. 167 с.
10. Zoladek H. Quadratic Systems with center and their perturbations. *Differential Equations*. 1994. Vol. 109. P. 223–273.
11. Bonin G., Legault L. Comparaison de la method des constants de Lyapunov et de la bifurcation de Hopf. *Canadian Mathematical Bulletin*. 1988. Vol. 31. № 2. P. 200–209.
12. Li C. Two problems of planar quadratic systems. *Scientica Sinica Series A*. 1983. V. 26. № 5. P. 471–481.
13. Nonexistence of limit cycle around a weak focus of order three for any quadratic system. *Chines Annals of Mathematics. Series B*. 1986. Vol. 7. № 2. P. 174–190.
14. Chow S., Chengzhi L., Wang D. Normal forms and bifurcations of planar vector fields. Cambridge University Press. 1994. 416 p.
15. Zoladek H. The cyclicity of triangles and segments in quadratic systems. *Differential Equations*. 1995. Vol. 122. P. 137–159.

References

1. Artemenko, L. P. (2014), "Formation of competitiveness of innovatively active enterprises" [Formuvannya konkurentospromozhnosti innovacijno-aktivnih pidpriemstv], *Economics and organization of management*, No. 1 (17), P. 19–25.
2. Buleev, I. P. (2015), "The economy of Ukraine at the present stage: the institutional aspect" ["Ekonomika Ukrainy na sovremenom etape: institucional'nyj aspekt"], *Bulletin of Economic Science of Ukraine*, No. 1, P. 26–34.
3. Bryuhoveckaya, N. E., Buleev, I. P. (2017), "Competition and competition in the conditions of innovative development of enterprises" ["Konkurenciya i sorevnovanie v usloviyah innovacionnogo razvitiya predpriyatij"], *Bulletin of Economic Science of Ukraine*, No. 1, P. 7–15.
4. Buleev, I. P., Bryuhoveckaya, N. E., Boguc'ka, O. A. (2013), "Formation of the industrial structure of the industrial city according to the criteria of improving the quality of life and investment attractiveness" ["Formuvannya strukturi promislovosti industrial'nogo mista za kriteriyami pidvishchennya yakosti zhittya naselennya ta investicijnoї privablivosti"], *Prometheus*, Vol. 1, P. 45–49.
5. Danilenko, A. I. (2017), "The main problems of innovation restructuring and financial aspects of its provision in Ukraine" ["Osnovni problemi innovacijnoї perebudovi ta finansovi aspekti її zabezpečennya v Ukraїni"], *Finance of Ukraine*, No. 5, P. 7–23.
6. Bazykin, A. D. (1985), *Mathematical biophysics of interacting populations [Matematicheskaya biofizika vzaimodejstvuyushchih populyacij]*, Moscow, Science, 184 p.
7. Andronova, E. A. (1986), "To the topology of quadratic systems with four (or more) limit cycles" ["K topologii kvadratichnih sistem s chetyr'mya (ili bolee) predel'nymi ciklami"], *Successes of mathematical sciences*, Vol. 41, No. 2, P. 183–184.
8. Bautin, N. N., Leontovich, E. A. (1990), *Methods and techniques of qualitative research of dynamical systems on a plane [Metody i priemy kachestvennogo issledovaniya dinamicheskikh sistem na ploskosti]*, Moscow, Science, 488 p.
9. Gajko, V. A. (2000), *Global bifurcations of limit cycles and the sixteenth Hilbert problem [Global'nye bifurkacii predel'nyh ciklov i shestnadcataya problema Gil'berta]*, Mn, University, 167 p.
10. Zoladek, H. (1994), "Quadratic Systems with center and their perturbations", *Differential Equations*, Vol. 109, P. 223–273.
11. Bonin, G., Legault, L. (1988), "Comparaison de la method des constants de Lyapunov et de la bifurcation de Hopf", *Canadian Mathematical Bulletin*, Vol. 31, No. 2, P. 200–209.
12. Li, C. (1983), "Two problems of planar quadratic systems", *Scientica Sinica Series A*, Vol. 26, No. 5, P. 471–481.
13. Li, C. (1986), "Nonexistence of limit cycle around a weak focus of order three for any quadratic system", *Chines Annals of Mathematics. Series B*, Vol. 7, No. 2, P. 174–190.
14. Chow, S., Chengzhi, L., Wang, D. (1994), *Normal forms and bifurcations of planar vector fields*, Cambridge University Press, 416 p.
15. Zoladek, H. (1995), "The cyclicity of triangles and segments in quadratic systems", *Differential Equations*, Vol. 122, P. 137–159.

Воронін Анатолій Віталійович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, доцент кафедри вищої математики та економіко-математичних методів, Харків, Україна; email: voronin61@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2570-0508>.

Воронин Анатолий Витальевич – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, доцент кафедры высшей математики и экономико-математических методов, Харьков, Украина.

Voronin Anatolii – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economy, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics and Economic and Mathematical Methods, Kharkiv, Ukraine.

Гулько Ольга Володимирівна – кандидат фізико-математичних наук, доцент, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, доцент кафедри вищої математики та економіко-математичних методів, Харків, Україна; email: gunko-olga@lenta.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7013-5400>.

Гулько Ольга Владимировна – кандидат физико-математических наук, доцент, Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, доцент кафедры высшей математики и экономико-математических методов, Харьков, Украина.

Gunko Olga – PhD (Physical and Mathematical Sciences), Associate Professor, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economy, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics and Economic and Mathematical Methods, Kharkiv, Ukraine.

Афанас'єва Лідія Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, доцент кафедри вищої математики та економіко-математичних методів, Харків, Україна; email: Lidia.Afanasieva@hneu.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8113-4518>.

Афанасьева Лидия Михайловна – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, доцент кафедры высшей математики и экономико-математических методов, Харьков, Украина.

Afanasieva Lidia – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economy, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics and Economic and Mathematical Methods, Kharkiv, Ukraine.

ДИНАМИКА ИННОВАЦИОННОЙ КОНКУРЕНЦИИ

Предметом настоящей работы есть проблема динамического взаимодействия инновационных продуктов в условиях рыночной конкуренции. Устойчивый экономический рост в настоящее время невозможен без повышения конкурентоспособности предприятий и отраслей, во многом определяется усилением конкурентной среды. В результате конкурентной борьбы экономических агентов за достижения различных преимуществ на рынках создаются и совершенствуются новые продукты с соответствующим развитием технологий. В анализе предыдущих публикаций отмечена роль национальной инновационной политики государства в системе формирования приоритетов инвестиционной деятельности в рыночных условиях. **Целью** работы является изучение особенностей построения моделей конкуренции инновационных процессов. При этом следует подчеркнуть, что экономические системы имеют сложную и неоднородную структуру с иерархической схемой взаимодействия эндогенных и экзогенных факторов. Общей чертой многих балансовых моделей рыночной экономики является наличие автокаталитических составляющих, определяющих механизмы роста инновационного продукта. В статье решается **задача** построения и анализа поведенческих свойств математической модели конкуренции двух экономических субъектов на общем рынке. В качестве прототипа для модели эндогенной гомеодинамической системы используется широко известная в популяционной динамике математическая модель «хищник-жертва». Данная модель представляет собой систему двух обыкновенных дифференциальных уравнений с квадратичными нелинейностями, имеющую несколько положений равновесия и обладающую бистабильным поведением. **Методы** исследования базируются на математическом аппарате экономической синергетики и теории устойчивости нелинейных динамических систем. В **результате** указаны условия, при которых реализуется автоколебательный режим в окрестности положения равновесия с появлением одного или нескольких предельных циклов. Установлено, что максимальное количество предельных циклов в исследуемой системе вокруг положения равновесия равно трем. Выполнен предметный анализ бифуркационных свойств циклической динамики конкурентного взаимодействия, определены границы потери устойчивости положением равновесия. Выводы. Поведенческий характер динамики инновационных процессов существенно меняется и возможна реализация скачкообразного перехода от монотонного экономического роста к релаксационным колебаниям.

Ключевые слова: инновация; конкуренция; рынок; равновесие; устойчивость; бифуркация; цикл; автоколебания.

DYNAMICS OF INNOVATIVE COMPETITION

The **subject** of this work is the problem of the dynamic interaction of innovative products in a competitive market. Sustainable economic growth is currently impossible without increasing the competitiveness of enterprises and industries, largely determined by the strengthening of the competitive environment. As a result of the competition of economic agents for achieving various advantages in the markets, new products are created and improved with the corresponding development of technologies. In the analysis of previous publications, the role of the national innovation policy of the state in the system of forming priorities of investment activity in market conditions is noted. The **purpose** of the work is to study the features of building competition models of innovative processes. It should be emphasized that economic systems have a complex and heterogeneous structure with a hierarchical pattern of interaction of endogenous and exogenous factors. A common feature of many balance models of a market economy is the presence of autocatalytic components that determine the growth mechanisms of an innovative product. The article solves the **problem** of constructing and analyzing the behavioral properties of a mathematical model of competition between two economic entities in a common market. As a prototype for the model of endogenous homeodynamic system, the widely known mathematical model

"predator-prey" is used in population dynamics. This model is a system of two ordinary differential equations with quadratic nonlinearities, which has several equilibrium positions and has a behavior with a change in the nature of stability. Research **methods** are based on the mathematical apparatus of economic synergetics and the theory of stability of nonlinear dynamic systems. As a **result**, the conditions under which the self-oscillating mode is implemented in the vicinity of the equilibrium state with the appearance of one or more limit cycles are specified. It has been established that the maximum number of limit cycles in the system under study around the equilibrium position is three. The subject analysis of the bifurcation properties of the cyclic dynamics of competitive interaction is carried out, the boundaries of stability loss by the equilibrium position are determined. **Conclusions.** The behavioral nature of the dynamics of innovation processes is changing significantly and it is possible to implement a leap transition from monotonous economic growth to relaxation fluctuations.

Keywords: innovation; competition; market; equilibrium; stability; bifurcation; cycle; self-oscillations.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Воронін А. В., Гунько О. В., Афанас'єва Л. М. Динаміка інноваційної конкуренції. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 22–29. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.022>.

Voronin, A., Gunko, O., Afanasieva, L. (2020), "Dynamics of innovative competition", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 22–29. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.022>.

M. GRINCHENKO, O. PONOMARYOV, O. LOBACH, A. KHARCHENKO

HERMENEUTIC ASPECTS OF PROJECT MANAGEMENT

The **subject** of the article is to determine the hermeneutic aspects in the management of the project team. The hermeneutic aspects of project management should enrich project management technologies and at the same time help relevant specialists to improve the applied methods of project activities. The **goal** of the article is to determine the tasks of hermeneutics in the general system of project management philosophy, to consider issues of understanding the essence, meaning of the project itself and the nature of the relationship between the customer and the contractors. The **objective** of the work is to study the hermeneutic aspects of project management, determine the value and place in the general system of behavioral competencies of the project manager, justify the need for a hermeneutic approach in project management and analyze hermeneutic situations in project management practice. Research **methods** include the principles of the hermeneutic circle, which are the basis of the philosophy of hermeneutics, the application of the hermeneutic approach when using project management technology, approaches to the formation of high socio-psychological competence and understanding of the essence of teamwork, its features and advantages using innovative pedagogical technologies. Methods for solving hermeneutic situations in project management using system analysis technology. **Results.** At the present stage of social development, design and development of a project management philosophy in general and in its hermeneutic aspects is of great importance. Therefore, in the system of behavioral competencies of the leader, a deep role should be played by his deep understanding of project management technology and the people with whom he has to collaborate. A special role is played by the staging of teaching a behavioral competency course, primarily the clear practical orientation of lectures and an understanding of the degree of conflict and responsibility of potential team members. **Conclusions.** The spread of project management technology and the constant complication of the content and nature of project tasks put forward new, increased requirements for the quality of their implementation. In turn, this requires a deep understanding by the performers of both the essence of their production functions and tasks, as well as the requirements and expectations of the customer. The systematic application of the hermeneutic approach will allow the leader as a real leader to understand people both in the formation of the team and in the process of team management.

Keywords: project management; aspects; understanding; hermeneutics; project team; team formation; team activities.

Introduction

Continuous expansion of areas and branches of application of project management technology and its sufficiently high efficiency necessitate a deep philosophical understanding of the meaning, essence, origins and capabilities of this technology. The relevant project management philosophy should be a holistic system of principles, norms and provisions, clearly aimed at ensuring this understanding and defining the main directions for further development of the very basics and methodology of using project management technology and tools used in it. First of all, it seems appropriate to try to understand the nature and features, meaning and essence of this management.

In the general structure of an extensive system of philosophical disciplines, the problem of an extremely interesting and rather complex and even somewhat mysterious phenomenon of understanding and interpretation is investigated by hermeneutics. It helps not only to get to the heart of a concept or object or phenomenon characterized by it, but also to identify appropriate ways and means of their possible use in the practice of human activity, which would provide the desired level of efficiency and compliance with expectations.

This fully applies to the activities of the project team, each of its members and the management activities of the project manager. Indeed, each participant in the joint activities of the project needs not only knowledge but also a deep understanding of the content and purpose of their functions and their place and role in the overall structure of the project. The importance of this understanding makes high demands on the system of professional

training of project management specialists. It is first of all about ensuring a high level of their professional and social competence.

The connection of the problem with important theoretical and applied issues

The problem of understanding the very phenomenon of understanding is quite complex. It is not limited to knowledge and is not limited to knowledge of the object of study. Although understanding, like knowledge, is also a specific result of cognitive activity, but these results differ from each other. As evidenced by life practice, in the life of every person there are situations when he knows something, although he does not understand the essence and deep patterns of a phenomenon. Regarding the use of project management technology, the predominance of a pragmatic approach should be emphasized. It fully corresponds to the realities and trends of the market economy, but somewhat inhibits the development of its theory and logical and methodological principles. Thus, the study of hermeneutic aspects of project management should enrich the theory of this important and extremely effective way of human activity and at the same time help relevant professionals to significantly improve the methods and techniques used in project activities and its management. This is actively facilitated by a deep understanding of the essence of project management technology and its patterns, understanding of the logical and methodological principles of its rational organization and implementation.

Analysis of the state of research on the problem shows that project management as a truly innovative and

highly effective management technology has emerged long ago and has a history. V.V. Riznyk analyzes its origin in detail as a separate branch of management. According to him, "given the growing role of project management, it is necessary to more thoroughly approach the study of the history of project management as an independent science, consider foreign experience in project management and reveal the evolution of project management techniques" [1]. However, neither he nor other authors seek to develop extremely important and interesting problems of the philosophy of project management, including its hermeneutic aspects. Therefore, the system of training specialists in project management limits its tasks to the formation of a certain set of their technical and behavioral competencies, each of which contains a system of knowledge and skills. There is almost no question of understanding the deep content of competencies, as it is believed that knowledge and understanding are synonymous.

In general, the theory of project management is characterized by clear pragmatics. Project management founder Henry Gant proposed special diagrams as an effective project management toolkit. Henri Fayol identified five management functions that became the basis of the theory of project and program management. Both researchers were followers of Frederick W. Taylor's theory of scientific management, including his work on the decomposition of works and the allocation of resources. In turn, Gant and Fayol made a significant contribution to the development of modern project management tools with their works.

Such researchers as A. Alyoshin, V. Babayev [2], L. Batenko, S. Bushuyev [3], V. Voropaev, K. Gray, R. Jimpel, O. Zagorodnykh, I Kononenko [4], A. Orr, V. Rach [5], V. Trofimov and others should be mentioned among modern researchers of project management problems.

Domestic textbooks and textbooks on project management are also appearing. As an example, we can name the work of L.Ye. Dovgan, G.A. Mokhonko, I.P. Malik [6], V.M. Priymak, N.O. Petrenko and others. Educational and methodical literature on certain issues of project management technology is also being developed. Thus, V. Morozov prepared a textbook on the formation, management and development of the project team [7]. O. Ponomarev published a textbook on behavioral competencies in project management [8].

At the same time, unfortunately, this extremely interesting field of human activity does not attract the proper attention of philosophers, psychologists and sociologists. Although there are works on the philosophy of management prepared by V. Alyokhin, V. Burega, S. Povazhny, etc., V. Kremen with co-authors [9], L. Tovazhnyansky with co-authors and others.

Today, the world practice of performing both extremely complex sets of works and projects, as well as the usual tasks has led to the conclusion that project management is not just a specific branch of management, but also acts as a highly effective management technology. The methodology of its use is accepted by the

majority of the enterprises in the leading technologically developed countries.

Its capabilities attract significant attention from both practitioners and researchers of theoretical and applied management problems.

For example, expert of the Productivity Solutions Management Co Ronald M. Jimpel and Executive Director of Berren Group Limited Barbara L. Gray, justifying the need for a project management methodology, write that "most organizations whose management is competent in production technology face general problems when planning and implementing projects to improve production activities. In any case, first of all it is necessary to determine the areas of activity within the project in contrast to the traditional daily production activities. The authors provide the criteria used to distinguish between these two activities, and the functions within the competence of the project manager [10].

A deep understanding by the project manager and members of the project team of the essence and goals of the project helps to select or even develop effective technologies for managing projects and programs, realizing the creative abilities of participants in joint activities. The work of a well-known team led by S.D. Bushuyev is devoted to these problems [11].

It is no coincidence that the editor of the International Journal of Project Management, Rodney Turner, confidently states that in the 21st century, project management will take the place of traditional functional management. And this situation requires a deep philosophical understanding of the essence and features of this technology and their understanding.

Insufficiently solved aspects of the problem are directly related to the poorly developed general issues of the project management philosophy, including issues of understanding its essence, the meaning of the project itself and the nature of the relationship between the customer and the contractor. Interesting philosophical, organizational and managerial and socio-psychological problems of the culture of interpersonal relationships and mutual understanding in the project team and their impact on the professional and personal development of participants in joint project activities also require more detailed research. Thus, the hermeneutic aspects of project management in general remain a kind of white spot, which to some extent slows down the development of this technology.

The essence of hermeneutics and its role in human activity

Hermeneutics is an interesting branch of philosophical knowledge, the object of research is understanding, interpretation, interpretation. It is believed that hermeneutics got its name from the name of the ancient Greek God Hermes, whose circle of functions was to mediate between gods and people. He conveyed to people and interpreted to them the will of the gods and

conveyed to the gods on Olympus the needs and interests of people, their intentions, aspirations and wishes.

At the same time, understanding is one of those phenomena that seem to be quite intuitive, but instead it is far from easy to understand its deep meaning. Hermeneutics also deals with similar complex problems. The main category of hermeneutics is the text. In fact, it arose with the emergence of so-called hermeneutic situations, or cases that required proper interpretation and understanding of a particular text. Today, however, the text can be considered anything, and therefore the importance of hermeneutics for understanding any situations, objects or processes inherent in human activity is constantly growing.

This is due to the constant complication of the goals, content and nature of activities, increasing potentially dangerous industries and increasing the "price" of possible losses arising from employees' lack of understanding of the dangers caused by their erroneous and irresponsible actions or inaction. By the way, these factors are not excluded when using project management technology. Moreover, the implementation of projects can often be associated with such potentially dangerous objects or technologies. Understanding their nature and the nature of their danger helps to find ways to avoid fatal manifestations or, at least, significantly reduce the likelihood of their occurrence.

Modern philosophy and some other social sciences and humanities consider hermeneutics a specialized scientific field in which, as D.V. Mayboroda writes, "understanding is seen as a condition for understanding social life". And any government is one of the integral existentials of social life. At the same time, paying tribute to tradition, the author adds that hermeneutics "in a narrow sense – a set of rules and techniques for interpreting the text in a number of fields of knowledge - philology, law, theology, etc." [12, p. 239]. In philosophical hermeneutics, the process of understanding is considered infinite, which is embodied in the principle of the hermeneutic circle proposed by F. Schleiermacher. It means that to understand a part requires a certain knowledge of the whole, while to understand the whole requires knowledge of the parts. Thus, in the continuous process of cognition, there is a gradual deepening of understanding of the object of this cognition.

By the way, in the practice of project management technology, there are often situations that require the use of the principle of hermeneutic circle. For example, at the stage of project development, the general meaning and goals of the project first become clear. Based on them, certain details are considered, the understanding of which allows to clarify the understanding of the meaning of the project. It then analyzes the possible ways and means of project implementation and the necessary tasks, implementation of certain functions and operations. After that, the general technology of the project implementation becomes clear, which allows a deeper understanding of the project as a whole and, perhaps, on the basis of this understanding to make certain adjustments.

We believe it is necessary to highlight two fundamental points. First, as liked to repeat one of the

famous philosophers of the second half of the last century Merab Mamardashvili, to understand means to make what is meant, its own possibility, the possibility of their own opinions. In other words, understanding significantly expands the possibilities of man in the first place, enhances both cognitive and practical capabilities. Second, we must recognize that even with the continuous nature of cognition, objectively, there are limits to understanding. There is something that philosophers and theologians believe the incomprehensible. And an understanding of the limits of understanding is not less important because they not just limit the possibilities of man, and tells her on the need to choose other ways and means to meet those and other needs, or the impossibility of meeting them at all.

For example, we cannot go back in time and correct some of our erroneous decisions and actions. We also, in principle, cannot know for sure, much less understand what may happen in the future. After all, the existing and significantly widespread assumption about the linearity and unambiguity of causal relationships is also the result of limited our cognitive abilities, the ability to understand. We often cannot understand what the results and consequences of some of our actions may be, especially those that took place in conditions of information uncertainty. This should be well mastered by people, especially those who have to perform managerial functions.

One of the most common applications hermeneutical approaches stands psycholinguistics. It be usually considered to be primarily the result of the semantic perception of any verbal communication and comprehension of its underlying meaning [13]. The philosophy often emphasizes the dual sense of understanding. First, it is interpreted as the search for and discovery of meaning, and secondly, as the attribution of a particular meaning because it appears to be the object of understanding. The hermeneutics has long overcome their theoretical limitations. She is interested in applied problems of modern social life, including those associated with innovative processes. Among the latter occupies a prominent place and technology project management. Researchers are also interested in hermeneutics and the problem of education, since understanding is increasingly perceived as one of the critical tasks of education innovation day.

The complexity of the phenomenon of understanding is largely due to the peculiarities of human psychology. Thus, the degree of complexity of this phenomenon is determined by the level of intellectual development of man, his education and general culture. for hermeneutics proceeds from the fact that understanding is in fact a penetration into the deep essence of an object or phenomenon and therefore requires objectivity. The perception of this object or phenomenon by each individual person is necessarily subjective, colored by his individuality. It is no coincidence that in almost all developed languages there is a saying that there are no companions for color and taste.

Philosophical hermeneutics considers the process of understanding as continuous and infinite, embodied in the

principle of the hermeneutic circle. It consists in the fact that the understanding of the whole presupposes a certain understanding of its parts, which enriches and deepens it. Understanding the whole, in turn, enriches and deepens the understanding of its parts.

Hermeneutics in its historical development has come a long way with changing the subject of research and areas of application of its methods. As O.S. Ponomarev clearly points out, "modern hermeneutics not only consolidated the ontological status of understanding as its central concept, but also separated understanding as the search for meaning as a subject from understanding as a procedure for attributing values, insisting on the original "hermeneutics" of human existence. inherent in him "intelligibility", which precedes any procedure for assigning values"[8, p. 107].

For the philosophy of human activity in general and for its hermeneutics is characterized by a tendency to shift the emphasis from the analysis of the meaning of the activity and its understanding of linguistic practices-discourses that describe this activity as the main subject of direct analysis. It seems obvious that such a shift is inappropriate for project management, as this technology is purely applied, and the task of hermeneutics here is to analyze and understand the meanings of itself and its components, rather than linguistic analysis of its categories and definitions.

The need for a hermeneutic approach in project management

Project management is a specific type of human activity that determines the modern technology of organization and implementation of complex sets of works. In this case, the project is usually understood as a unique measure, for the implementation of which clearly defines the time of its beginning and end and the budget allocated for its implementation. Project management technology provides high efficiency of complex works due to their clear organization and high level of interaction and mutual understanding between all participants in the implementation of project tasks and representatives of other stakeholders. However, as in any other joint activity, in project management it is possible different (at least in some nuances) understanding of the performers of certain goals, provisions or features [14]. It is also possible that they have a different understanding of the feasibility of using certain methods and technologies to perform project tasks. And even a small failure or a certain deviation from pre-agreed conditions can seriously impede the effective implementation of the project. And such deviations or failures are quite possible due to insufficient clear understanding of the essence of their tasks and functions and their place and role in the overall structure of the project by at least one of the executors.

In addition, as Alan D. Orr writes, "It is strange enough, but after the decision to develop a project of increased complexity, the first steps can be difficult. The number of people involved in the project is growing rapidly, and as a result the project is becoming increasingly difficult" [15, p. 13]. It seems clear that the

more people are involved in joint activities, the greater is the diversity of understanding of each of them on a particular issue and the higher the probability of distortion of information transmitted from one performer to another.

Characteristic features of the use of project management technology are, first of all, a noticeable predominance of team methods and a significant dependence of the end result on the performance of their tasks and functions by each team member. This dependence necessitates a deep understanding of not only the essence, content and purpose of its functions, but also their place in the overall structure of the work provided by the project. This understanding makes it possible to adequately respond to possible deviations and thus ensure the achievement of expected results in a timely and high-quality manner without wasting time on situation analysis, coordination and decision-making.

At the same time, we should also take into account the fact that today the world science and practice of project management have developed effective systems of necessary knowledge and tools for the successful implementation of fairly complex projects and programs and continue to develop. This development requires not only the development and targeted use of innovative project management technologies, but also the mandatory consideration of the need for a consistent hermeneutical approach. On the one hand, it allows you to avoid many annoying mistakes that can lead to significant material and moral losses. On the other hand, the purposeful use of the hermeneutical approach allows us to consciously determine really appropriate and effective ways and directions for the development of project management technology, to deeply understand, consciously, fruitfully and effectively use their advantages [16].

There is also such an interesting and extremely important aspect of hermeneutics, which relates to human life and society. It is related to the need to understand other people and the conditions for achieving mutual understanding with them. The very nature of man as a biological and social being determines the possibility of its normal existence only if it is to some extent active participation in joint activities with other people. An example is the activities of the project team.

The importance of mutual understanding in project management is clearly illustrated by the well-known biblical legend of the construction of the Tower of Babel, which apparently serves as one of the first known examples of project management. God did not like the builders' intention to erect this tower to heaven, and He mixed up their tongues so that they no longer understood each other. Lack of understanding hindered their coordinated activities, and they could not realize their plan.

Finally, the importance of a hermeneutic approach in the application of project management technology is due to the desire of each executor to understand not only the goals of the customer, but also the social significance of the project, at least when the customer proceeds from the principle of its provision. It is the employee's deep understanding of the social significance of the project that awakens in him a sense of pride for his participation in its

implementation. And this feeling becomes another factor in the desire to ensure the proper quality of its work and production functions provided by the project.

Hermeneutic situations in project management practice

Project management technology is characterized by specific situations, usually related to the need for a deep understanding of the interests and aspirations of the various parties involved in the project. The analysis of such situations is often complicated by the fact that their true aspirations and interests can be hidden, while external manifestations and demands and wishes expressed by the parties do not immediately reveal the deep meaning of these aspirations, interests and expectations.

Alan D. Orr notes in this regard that "the requirements are the organization's requests for the project, the implementation of which will satisfy the parties involved in the project". He emphasizes that "unfortunately, the list of requirements for projects of increased complexity is quite wide, which can significantly complicate the process of their acquisition and coordination" [15, p. 66].

Hermeneutic situations, typical for the systematic application of project management technology, are far from being limited to the sphere of relationships and mutual understanding between project participants and other stakeholders. Even the ability to identify and understand the overt and covert manifestations of their goals, aspirations and desires does not exhaust the full range of hermeneutic situations. After all, they are characterized by an extremely complex intertwining of not only ontological, epistemological and hermeneutic aspects, but also psychological, primarily personal and even ambitious factors. Conflicts of interest may lead to the promotion of certain proposals for methods and technologies, based on the interests of a particular party, despite their shortcomings and the real advantages of other options and alternative ways of possible project tasks.

The need for hermeneutic analysis of complex situations in the practice of project management arises from the very first contacts of the customer with a representative of the contractor or directly with the project manager. If the parties do not achieve a full understanding of the objectives and content of the project, in the future this can lead to serious complications. In particular, it is extremely important that both parties clearly understand, firstly, the expected results of the project and the quality of work that ensures this quality. Second, that the parties understand the validity of the agreed project budget. Third, it is also extremely important to understand the deadlines set by the project and the duration of the work performed.

However, the parties should understand that the project implementation process, especially complex, is almost inevitably faced with various unforeseen circumstances that require the availability of appropriate reserve funds in its budget, as well as the ability to mutually change the project completion date and even the

content of its individual works. Understanding the inevitability of a difference, often quite significant, of a coherent project and the results of its practical implementation is also a typical hermeneutic situation.

In addition, hermeneutic should also be considered purely production situations related to the understanding and interpretation of individual performers of their tasks and functions and their place and role in the overall system of work provided for in this project. The reasons for such situations can be both the inertia of thinking of employees, and the fundamental novelty for them of those works that have not occurred before and which they have to perform for the first time. After all, for this they usually need to master new technologies, new methods, tools and technologies of project management.

According to S.D. Bushuyev and N.S. Bushuyeva, the current stage of development of methods and tools of project management in the world is characterized by a general formula "from trust to understanding and active use". The development of modern information systems and technologies, the results of research in the field of "soft components of project management" (project leadership and building effective teams of managers) are defined as the main areas of research" [11, p. 4]. We argue that today, in addition to their traditional functions, leaders and managers must also help employees understand the goals, meaning and essence of the tasks and functions.

But for this, project leaders and managers must have the appropriate level of professional and social competence, a high general and professional culture [17]. As we have already written, "although project management technology is mainly concerned with the practical aspects of team management, its successful application requires the manager to know its essence and content, characteristics and appropriate conditions of use, appropriate style of communication with people and their own behavior" [8, p. 14]. Today we consider it appropriate to emphasize that in addition to proper knowledge of these issues, the leader must also deeply understand their nature and causes.

Indeed, only an understanding of them can help him successfully resolve those complex situations, including conflicts and crises, that arise from time to time in the project team in the process of its implementation of the relevant work and project management. First of all, the project manager must have a good understanding of each of its employees, understand their competence, education and upbringing.

It's about their personal traits as well as their abilities and capabilities. He should understand their real attitude to their tasks and functions, to the team and to the leader himself. However, he must actively promote the personal and professional development of his project team members and understand the ability of each of them to learn and self-learn. This understanding allows to rationally organize their training and retraining and to ensure both their readiness for successful implementation of fundamentally new projects, and activity in finding effective innovative solutions in the process of this implementation [18].

Paradoxically, a separate group of situations, the solution of which requires a hermeneutic approach, consists of those related to innovation and creative solutions. Objectively aimed at improving the quality and efficiency of design work, the possibility of reducing the time of their implementation and saving resources, these factors and proposals based on them can often cause distrust, especially on the part of the customer. Therefore, the manager's deep understanding of the real possibilities of the proposals coming from the employees provides proper argumentation when trying to convince the project customer and representatives of other stakeholders in the feasibility of acceptance and consistent use of these proposals.

At the same time, one of the typical hermeneutic situations in the practice of project management should be considered the discussion of work plans, ways and means of their implementation with the involvement of project team members. If, for example, brainstorming technologies are used, proposals are put forward at the first stage and criticism is prohibited. The next steps are to select the best alternatives, and their authors must have a deep enough understanding of the nature and benefits of their proposals to argue for them. At the same time, they must understand the nature, advantages and disadvantages of alternatives proposed by other participants to prove the feasibility of accepting their own version.

It seems that in the future the complexity of projects will only increase, and therefore the number of situations that will require a hermeneutic approach to their effective solution will increase. This circumstance also requires a certain revision of the goals, content and nature of professional training of project management specialists in order to teach them an understanding of the nature, essence and manifestations of objects and phenomena that will accompany their future activities.

Hermeneutic aspects of training project management specialists are an extremely important element in the formation of their worldviews, logical and methodological provisions, moral principles and beliefs. In other words, they make it possible to significantly increase the level of their professional and social competence, to ensure comprehensive professional and personal development. Indeed, the very attempt of this specialist to get acquainted with the project and its main goals, objectives and features is an important prerequisite for their proper understanding. Together with a deep understanding of the goals, interests and expectations of the customer, this effort is an important prerequisite for the successful implementation of project tasks.

In this regard, the educational process of professional training of these specialists should focus not on the traditional acquisition of knowledge for the tasks of higher education, but on a deep understanding of the educational material. This is all the more relevant as the rate of increase in scientific and technical information, including in the field of project management, is constantly increasing, and its life cycle is constantly shrinking, as there is a constant improvement of technology and other products and used for their production technologies. This

fully applies to technology and management. It is therefore extremely important tasks of the system of professional training in project management appear, firstly, to instill in students the desire to deeply understand the essence, meaning and nature of the project, the process of analysis and implementation. Secondly, it is very important to be able to combine theoretical knowledge in the field of project management and a deep understanding of this sector with a clear applied focus of their future professional activity. Thirdly, the educational process of training specialists in project management must be riddled with logical and methodological principles for the effective use of this technology and the formation in them of the principles of logic activities that provide an understanding of how to act in conditions of uncertainty and risk.

In addition, the development of information and communication technologies creates almost every person a real opportunity to access endless information resources, which puts a strain on the brain and memorize certain information. It is much more valuable to understand both what the specialist works with and where and how he can get the necessary information. Thus, it becomes possible to successfully perform tasks for the development and implementation of creative abilities and creative potential of the specialist.

Teaching students to understand something is not easy. For this purpose, it is necessary to constantly apply the dialogic mode of communication of the teacher with each of them and original diagnosing of results of educational and cognitive activity of each student and its quality. At the same time, it seems expedient to use special pedagogical technologies aimed at training intelligence and deepening the process of understanding the very essence of project management.

However, the situation is somewhat complicated by the predominance of the technocratic type of thinking of a large number of teachers and their lack of proper psychological and pedagogical, philosophical and logical and methodological training. In addition, they themselves studied in the knowledge paradigm of education. Therefore, they are not always ready to change it to a paradigm of understanding. As evidenced by our own experience of many years of teaching in higher education, including the training of project management professionals, often the students themselves are not ready to study in a paradigm of understanding. At the same time, the proper selection of educational material, techniques and methods of its presentation, combined with the opportunity to interest students, can help them overcome the usual stereotypes and willingly participate in the process of understanding this material.

However, this task is not as simple as it may seem at first glance. The fact is that the phenomenon of understanding is quite complex and even somewhat mysterious, associated with knowledge, and intuition, and sudden enlightenment (insight). That is why, acting as one of the important elements in the system of categories of pedagogy, the understanding has not received a clear interpretation and an unambiguous comprehensive definition. Many researchers mean a specific mental state,

which is the correct perception or interpretation of a certain event, phenomenon, fact or object, accepted in a community. Therefore, it is obvious that in the process of project management, understanding is extremely important, because it is associated with many objects and is always accompanied by a variety of events, phenomena and facts, including often quite unexpected and unusual.

An extremely important component of the process of professional training of project management specialists is the formation of high socio-psychological competence and understanding of the essence of teamwork, its features and benefits. As an integral part.

Used pedagogical technologies

The organization and implementation of the educational process of professional training of project management professionals should be based on the fact that our knowledge and understanding cannot be complete. This inevitably leads to wrong actions and decisions. However, errors should be considered as one of the effective ways of learning and in-depth understanding of the objects and phenomena being studied, their properties and patterns of their existence and evolution. Therefore, in the process of studying each new topic of the discipline, students should pay attention to those complex contradictory points that can lead to wrong decisions. At the same time, they need to be taught effective ways and means to avoid and at least eliminate mistakes quickly. It is appropriate to draw students' attention to the fact that only a deep understanding not only of what the customer wants, but also what can actually be done within available resources and technologies, can ensure successful project tasks in a timely manner and within the budget.

For this, in addition to the mentioned technology of dialogue learning, it is extremely important to pre-model the process of project implementation. It is possible to compare different options and analyze the possible results and consequences of using each of these alternatives. In the in-depth study of individual disciplines and in the course and thesis work, it is advisable to use the theory of fuzzy sets, in particular methods of ranking and determining the non-dominant alternative.

The technology of system analysis of specific situations is no less effective. It is important that students understand the essence of the situation, that they learn to pay attention to those factors or circumstances that at first glance seem insignificant.

It is important to acquaint students with the techniques of team building, i.e. team building, and with the methods of recruiting employees, which are quite useful for understanding the meaning of the concept of project team and team activities. It should be noted that these methods and technologies can play a crucial role in the project implementation, and hence in ensuring the image of the project team, personal and business authority of the project manager.

Ways and means of developing people's understanding of the leader in the formation of the project team

One of the most important and responsible task of hermeneutics in the General system of the philosophy of project management is the understanding of the head of other people. Because of the depth and adequacy of understanding of the goals and intentions of the participants of the project, from understanding the sincerity of their statements depends on the attitude to the project, and therefore the nature of participation and the tasks and functions foreseen by the project. The understanding involved in the project people difficult a number of circumstances. First, there are different categories of these people: the customer and its representatives; members of the project team; employees of subcontractors; suppliers; representatives of other interested parties. In varying degrees, the project manager has to communicate also with the representatives of state authorities and local self-government.

Secondly, a characteristic feature of many people is that they do not always express their real goals and intentions, plans and interests. In addition, it is possible that people with their statements may deliberately hide these goals and intentions, especially when they are at least somewhat different from the goals of the project. And the understanding of another person is mainly in the process of communication and with its help. It is no coincidence that the language is given to a diplomat in order to hide his thoughts and intentions. But to one degree or another, we all turn out to be diplomats under certain circumstances.

Third, there are many people, even quite sincere ones, who, due to insufficiently developed communicative ability, find it difficult to express their opinion and reveal themselves to their interlocutor. Interestingly, often such people are deep, erudite, make appropriate proposals that are far from easy to justify. The leader's knowledge of this feature helps to ensure a proper understanding of both the person and his proposals.

Understanding other people in general should be an integral part of a leader. This property is especially important in the process of forming its project team. At the same time, he must take into account not only the level of professional qualification and competence of the candidate, but also his personal qualities: sociability, tolerance, responsibility. Extremely important characteristics are a person's conflict and his willingness to accept and understand the norms of relationships and interactions adopted in the team and the willingness to strictly adhere to them.

The choice of approaches to team building is an extremely responsible element of the personnel policy of the leader, because it really depends on the further success, prestige and authority of the team. Therefore, the leader must be able to understand people well, their abilities and purely professional capabilities, their life values and moral principles, psychological characteristics and ability to work in a team. It is extremely important to understand the degree of principle, conflict and responsibility of potential team members.

The development of students as potential leaders in understanding other people should become one of the defining tasks in the process of mastering the discipline of behavioral competencies. In particular, practical classes include not only the demonstration of students' understanding of the relevant educational material, but also the analysis of problem situations, the purpose of which is to further develop their communication skills. This implies, in particular, the need to teach them to understand the meaning of other students' statements.

In the future professional activity of project management specialists, first of all leaders, it is necessary to face difficult situations caused by violations of the structure and logic of communication by individual employees. Attempts to manipulate the leader will not be ruled out. Insufficient understanding by a certain employee of the goals and meaning of certain tasks and functions, their misperception requires from the leader-leader the ability to develop the ability to persuade such people.

Therefore, the leader urgently needs to constantly increase the level of communicative and psychological competence. He needs to learn to attract people, to master the principles and techniques of attraction, so that they are revealed as much as possible. During the interview, he needs to show his friendliness, positive attitude towards the interlocutor and interest in him as a specialist and a person. These qualities should be consistently and purposefully developed in potential leaders in the educational process of professional training of project management specialists.

References

1. Riznyk, V. V. (2011), "Historical aspects of the emergence and formation of project management as a separate branch of management", *Economic Bulletin of the University*, Vol. 17 (2), P. 147–151.
2. Babaev, V., Sukhonos, M., Starostina, A., Beletsky, I. (2016), "Improving the processes of cost management in the construction and energy projects", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 4/3 (82), P. 10–17. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.75515
3. Bushuyev, S., Voitushenko, A. (2019), "Development of Project Managers' Creative Potential: Determination of Components and Results of Research", *International Conference on Computer Science and Information Technology CCSIT 2019: Advances in Intelligent Systems and Computing IV*, P. 283–292. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33695-0_20
4. Kononenko, I. V., Korchakova, A. S. (2020), "The Method of Solving the Non-Markov's Problem of the Projects Portfolio Optimization for the Planned Period", *Journal of Engineering Science and Technology Review*, No. 13 (2), P. 17–21. DOI: 10.25103/jestr.132.03
5. Rach, V., Rossoshanska, O., Medvedieva, O., Yevdokymova, A. (2019), "System Modeling of Development of Innovative Project-Oriented Enterprises", *Marketing and Management of Innovations*, No. 1, P. 105–131. DOI: <http://doi.org/10.21272/mmi.2019.1-09>
6. Dovgan, L. E., Mokhonko, G. A., Malik, I. P. (2017), *Project management [Upravlinnya proyektamy]*: textbook, Kyiv, KPI. Igor Sikorsky, 420 p.
7. Morozov, V. V., Cherednichenko, A. M., Shpylyova, T. I. (2009), Formation, management and development of the management team (behavioral competencies) [Formuvannya, upravlinnya ta rozvytok komandy upravlinnya (povedinkovi kompetentsiyi)]: textbook, ed. by V. V. Morozov, University of Economics and Law "KROK", Kyiv, Takson, 464 p.
8. Ponomarev, O. S. (2016), *Behavioral competencies in project management [Povedinkovi kompetentsiyi v upravlinni proyektamy]*: teaching method. manual, Kharkiv, Textbook of NTU "KhPI", 216 p.
9. Kremen, V. G., Pazinich, S. M., Ponomarev, O. S. (2008), *Philosophy of Management [Filosofiya upravlinnya]*: a textbook, 2nd edition, Kharkiv, NTU "KhPI", 524 p.
10. Babayev, V. M., Ponomarev, O. S., Pazinich, S. M. (2015), *Social cognition and logic of management [Sotsial'ne piznannya i lohika upravlinnya]*: monograph, Kharkiv, KhNUMG them. O. M. Beketova, 182 p.
11. Bushuev, S. D., Bushueva, N. S., Babaeva, I. A. et al. (2010), *Creative Technologies for Project and Program Management [Kreativnyye tekhnologii upravleniya proyektami i programmami]*: monograph, Kyiv, Summit Book, 768 p.

Conclusions

This material is based on the practical experience of the authors in training specialists in project management and allows to draw the following conclusions.

First, in the practice of project management from time to time there are situations of misunderstanding between project participants and other stakeholders, which can negatively affect not only their relationship, but also the process and results of the tasks provided by the project. This circumstance requires strengthening the hermeneutic aspects of the content of professional training of project management specialists and their worldviews.

Secondly, one of the sources of misunderstanding in the project team itself may be the different views of its participants on the purpose and essence of the project or its individual tasks and the choice of rational approaches to their effective implementation. Therefore, it is extremely important to develop a team spirit and a culture of mutual understanding.

Third, the introduction of the paradigm of understanding in the practice of training project management professionals allows to significantly increase the level of their professional and social competence, their general and professional culture. As a result, the effectiveness of project management technology increases.

Fourth, the systematic application of the hermeneutic approach requires the leader as a true leader to constantly work on the ability to understand people both in the formation of a team and in the process of joint activities with them. At the same time, he should be concerned about raising their understanding of their tasks.

12. Mayboroda, D. V. (2003), "Hermeneutics" ["Germenevtika"], *The Newest Philosophical Dictionary*, 3rd edition, Minsk, Book House, P. 239–240.
13. Patrick Heelan (1998), "The scope of hermeneutics in natural science", *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, Vol. 29, Issue 2, P. 273–298. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0039-3681\(98\)00002-8](https://doi.org/10.1016/S0039-3681(98)00002-8)
14. Sean Hansen, Julie Rennecker (2010), "Getting on the same page: Collective hermeneutics in a systems development team", *Information and Organization*, V. 20, Issue 1, P. 44–63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infoandorg.2010.01.001>
15. Alan Orr (2007), *Advanced Project Management: A Complete Guide to the Key Processes, Models and Techniques*, Kogan Page, 242 p.
16. Bradley Rolfe (2013), "Doing Project Management Ironically", *26th IPMA World Congress, Crete, Greece, 2012, Social and Behavioral Sciences*, No. 74, P. 264–273. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.03.022>
17. Grynchenko, M., Ponomayov, O., Lobach, O. (2018), "Leadership as a factor for building a project team", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (3), P. 13–21. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.3.013>
18. Гринченко М. А., Пономарьов О. С., Лобач О. В. (2018), "Leadership in the contest system of the project management behavioral competences", *Bulletin of the National Technical University "KhPI", Series: Strategic management, portfolio, program and project management*, No. 2 (1278), P. 77–83. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-3000.2018.1278.12>

Received 27.04.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гринченко Марина Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", завідувачка кафедри стратегічного управління, Харків, Україна; email: marinagrunchenko@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8383-2675>.

Гринченко Марина Анатольевна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", заведующая кафедры стратегического управления, Харьков, Украина.

Grinchenko Marina – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Head of the Department of Strategic Management, Kharkiv, Ukraine.

Пономарьов Олександр Семенович – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", професор кафедри педагогіки і психології управління соціальними системами, Харків, Україна; email: palex37@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4698-2620>.

Пономарев Александр Семенович – кандидат технических наук, профессор, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", профессор кафедры педагогики и психологии управления социальными системами, Харьков, Украина.

Ponomayov Olexandr – PhD (Engineering Sciences), Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor of the Department of Pedagogic & Psychology of the Management of the Social Systems, Kharkiv, Ukraine.

Лобач Олена Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри стратегічного управління, Харків, Україна; email: e.v.lobach@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7494-9997>.

Лобач Елена Владимировна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", доцент кафедры стратегического управления, Харьков, Украина.

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

Харченко Алла Олександрівна – кандидат економічних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри економічної кібернетики та маркетингового менеджменту, Харків, Україна; email: alex2995@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8536-2857>.

Харченко Алла Александровна – кандидат экономических наук, доцент, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", доцент кафедры экономической кибернетики и маркетингового менеджмента, Харьков, Украина.

Kharchenko Alla – PhD (Economics Sciences), Associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor of the Department of Economical Cybernetic & Marketing Management, Kharkiv, Ukraine.

ГЕРМЕНЕВТИЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ

Предмет статті полягає у визначенні герменевтичних аспектів в управлінні проектною командою. Герменевтичні аспекти управління проектами мають збагачувати технології управління проектами і водночас допомагати відповідним фахівцям вдосконалювати використовувані методи і способи проектної діяльності. **Метою** роботи є визначення завдання герменевтики в загальній системі філософії управління проектами, розгляду питань з розуміння сутності, сенсу самого проекту і характеру взаємовідносин між замовником і виконавцями. **Завданням** роботи є дослідження герменевтичних аспекти управління проектами, визначення значення та місця в загальній системі поведінкових компетенцій проектного менеджера, приведення обґрунтування необхідності герменевтичного підходу в управлінні проектами та аналізу герменевтичних ситуацій в практиці управління проектами. **Методи** дослідження включають принципи герменевтичного кола, які є основою філософії герменевтики, використання герменевтичного підходу при застосуванні технології управління проектами, підходи до формування високої соціально-психологічної компетенції й розуміння сутності командної діяльності, її особливостей та переваг із застосуванням інноваційних педагогічних технологій. **Методи** розв'язання герменевтичних ситуацій в управлінні проектами з використанням технології системного аналізу. **Результати.** На сучасному етапі суспільного розвитку важливого

значення набуває розробка і розвиток філософії управління проектами взагалі та її герменевтичних аспектів. Тому в системі поведінкових компетенцій керівника-лідера істотною роль повинне відігравати глибоке розуміння ним як самої технології управління проектами, так і тих людей, з якими йому доводиться співпрацювати. Особливу роль відіграє постановка викладання навчального курсу з поведінкових компетенцій, в першу чергу чітка практична спрямованість проведення лекцій і розуміння міри принципності, конфліктності та відповідальності потенційних членів команди. **Висновки.** Поширення технології управління проектами і постійне ускладнення змісту й характеру проектних завдань висувають нові, підвищені вимоги до якості їх виконання. А це, у свою чергу, вимагає глибокого розуміння виконавцями як сутності своїх виробничих функцій і завдань, так і вимог і очікувань замовника. Системне застосування герменевтичного підходу дасть можливість керівнику як справжньому лідеру розуміти людей як при формуванні команди, так і в процесі управління командою.

Ключові слова: управління проектами; аспекти; розуміння; герменевтика; проектна команда; формування команди; командна діяльність.

ГЕРМЕНЕВТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ

Предмет статті состоить в определении герменевтических аспектов в управлении проектной командой. Герменевтические аспекты управления проектами должны обогащать технологии управления проектами и одновременно помогать соответствующим специалистам улучшать применяемые методы и способы проектной деятельности. **Целью** работы является определение задач герменевтики в общей системе философии управления проектами, рассмотрения вопросов понимания сущности, смысла самого проекта и характера взаимоотношений между заказчиком и исполнителями. **Задачей** работы является исследование герменевтических аспектов управления проектами, определение значения и места в общей системе поведенческих компетенций проектного менеджера, проведения обоснования необходимости герменевтического подхода в управлении проектами и анализа герменевтических ситуаций в практике управления проектами. **Методы** исследования включают принципы герменевтического круга, которые являются основой философии герменевтики, применение герменевтического подхода при использовании технологии управления проектами, подходы к формированию высокой социально-психологической компетенции и понимания сущности командной деятельности, ее особенностей и преимуществ с применением инновационных педагогических технологий. Методы решения герменевтических ситуаций в управлении проектами с использованием технологии системного анализа. **Результаты.** На современном этапе общественного развития важное значение приобретает разработка и развитие философии управления проектами в общем и в ее герменевтических аспектах. Поэтому в системе поведенческих компетенций руководителя-лидера существенную роль должно играть глубокое понимание им технологии управления проектами и людей, с которыми ему приходится сотрудничать. Особую роль играет постановка преподавания учебного курса по поведенческим компетенциям, в первую очередь четкая практическая направленность проведения лекций и понимание меры конфликтности и ответственности потенциальных членов команды. **Выводы.** Распространение технологии управления проектами и постоянное усложнение содержания и характера проектных задач выдвигают новые, повышенные требования к качеству их выполнения. В свою очередь, это требует глубокого понимания исполнителями как сущности своих производственных функций и задач, так и требований и ожиданий заказчика. Системное применение герменевтического подхода позволит руководителю как настоящему лидеру понимать людей при формировании команды и в процессе управления командой.

Ключевые слова: управление проектами; аспекты; понимание; герменевтика; проектная команда; формирование команды; командная деятельность.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Гринченко М. А., Пономарьов О. С., Лобач О. В., Харченко А. О. Герменевтичні аспекти управління проектами. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 30–39. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.030>.

Grinchenko, M., Ponomaryov, O., Lobach, O., Kharchenko, A. (2020), "Hermeneutic aspects of project management", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 30–39. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.030>.

G. ZHOLTKEYVCH

METRICS FOR EVALUATING CONSISTENCY IN DISTRIBUTED DATASTORES

The **subject** of the paper is metrics for evaluating consistency of distributed datastore as one of main CAP-guarantees, more precisely, criteria for reliable distributed datastore. The **goal** of the research is investigation of the ability to develop such a program on the earlier stage of building distributed network and build some components of decision-making algorithm, which purpose is to build optimal network topology. This decision-making algorithm should be suitable for any business model and its requirements. To be more detailed, for that purpose the following **tasks** had been done: mathematical model for stochastic metric for consistency in distributed datastore is built; the conditions of consistency convergence time are investigated in initial perfect datastore environment. **Methods** used are: theory of number partitions, basics from graph theory and probability theory, computer modeling and program for running sets of experiments. As a **result**, it is established that in the conditions of data loss absence the consistency convergence after first write request is equal or less than diameter of graph that represents topology of distributed network. Such convergence has the same unit of measure as the link cost of each link in the network; the stochastic model is proposed for metric to evaluate consistency. Making a final **conclusion**, this will give the opportunity to investigate or monitor the current state of the system in the given time interval. This research is the base to form some elements of decision-making algorithm for building topology in a distributed network and the elements of the algorithm for monitoring such a system. Also, based on trends of requests frequency of data modification and reading, the strategy of nodes allocation in the topology is suggested, which can improve the response time and speed of convergence of the distributed storage to the fully consistent or close to that state. The practical role of the components of the decision-making algorithm is that the network architect could apply the algorithm at the stage of building the network for a distributed database, so that CAP characteristics will be optimized in the context of specific business needs. The mathematical model for the stochastic metric of distributed storage consistency can be applied both at the system design stage, for testing the satisfactory level of consistency, and at the system operation stage, as a component of the network monitoring system.

Keywords: distributed datastore; response time; CAP-theorem; stochastic consistency metric; methods of building distributed network.

Introduction

In the epoch of popular usage of IoT, Big Data, Cloud Computing, the data become more and more important thing and require larger, more reliable storage [1]. This leads to increasing size of distributed storages. They become bigger and require the huge network across all the distributed nodes. But there are several unsolved problems using large distributed datastores and some of them tied to the CAP-theorem.

Given that the ACID strategy cannot be supported for systems of this class, mechanisms for delivering data across distributed storage still lack fast eventual consistency convergence, reliability and tolerance to network partitions (basic factors of the reliable datastore that are defined in [2]).

In this paper we concentrate on efficient and widely used consistency model - BASE (Basically Available, Soft State, Eventual Consistency), specifically, on eventual consistency as one of the component of this model.

Problem statement

Supporting replicas of an evolving distributed system up-to-date in the conditions of BASE is important, but hard problem. Thus, we need to provide a set of indicators of main characteristics of the distributed data store to assess the risk of a wrong decision because of the data inconsistency or unavailability.

In this work, we focus our study on the problem of metrics investigation for evaluating data consistency in a distributed data store. We want to demonstrate the useful concept of defining the consistency metric as stochastic value and abilities that it gives so far.

For that we propose stochastic metric for eventual consistency / inconsistency instead of binary one.

Also, we would like to know if it is possible to find the optimal interval between writable operations occurring on distributed systems so that system can eventually be consistent in that interval. To achieve that, we develop consistency model defined in the previous paper (analyzed and referenced in the next section) and extend by the formula of inconsistency metric for a distributed datastore. Then we approximate the time that is needed for consistency convergence – state of the distributed system when all nodes have consistent replicas. Afterwards, we conduct experiments that prove the correctness of metric defined in previous section. Finally, we provide diagrams of the implemented application that we use for carrying out experiments and make some assumptions for decision-making algorithm for building optimal network topology for a distributed datastore that is the goal of the current research.

Analysis of related research

During the latest decade the problem of scaling distributed systems and their effectiveness is investigated quite deeply. The evaluation of scaling such systems and its reasonability is presented in [1]. But needs for storing more data are growing fast and new research works are needed.

In [3] mainly used models for such systems and its comparative characteristics was considered (ACID and BASE). But here appears some problem. Historically, before final proof of CAP-theorem Eric Brewer had been investigating the opportunity of strong consistent, highly available and partition-tolerant distributed datastore and made a CAP-hypothesis [4]. The formal proof of the

theorem had been presented in 2002 [5], some clarifications appeared in 2012 [6].

This theorem became one of important blockers on the step of distributed datastores enhancement and the theorem and BASE and ACID models has been deeply investigated during 15 years [3]. Since lots of systems have chosen BASE model, sacrificing strong consistency and durability, eventual consistency was deeply analyzed in [7]. The problem of that it is impossible to fulfill consistency, partition tolerance and availability, is also investigated in [8]. There it is considered if there is an ability to reach a trade-off between AP (availability, partition tolerance), CP (consistency, partition tolerance) and CA. This work is mainly devoted to the analysis of theorem, but it does not declare the formal model for methods overcoming the problem. Microsoft came closer and had developed algorithms for maintaining strong consistency in [9]. But the problem is investigated in the conditions of about 15 nodes in a system and scaling in this paper seems to be for the future work. Also, in [10] the problem of replicas conflicts is investigated in conditions of parallel write requests to many nodes. Methods of evaluating of consistency metrics have been defined in [14] and the methods of improvement of consistency state value have been proposed in [15].

Materials and methods

In the previous paper [11] we considered the metrics for all three elements of CAP-theorem. Now our paper is mainly devoted to consistency question and how fast it can converge. From that paper we are taking the developed mathematical model and expand it with elements, needed for the current research. We specify this model as

$$(N, L, \partial, D, r, N_d, l(N_d), n_c), \quad (1)$$

where N – finite set of nodes in a datastore; L – finite set of links in a datastore; $\partial: L \rightarrow 2^N$ – mapping where each link is associated with two adjacent nodes; D – finite set of stored data units; $r: D \rightarrow 2^N$ – mapping that associates each of data unit to a set of nodes that store the replica of this data unit; N_d – finite set of nodes that store the given data unit d ; $l(N_d)$ – the number of nodes that store data unit d ; n_c – the number of nodes in a subset N_d , where all the nodes have the same version of replica.

So, we expanded the model now with three last assumptions above.

Our mathematical model for inconsistency I will be able to define the inconsistency state of distributed datastore (see (1)), and afterwards will focus on time which distributed datastore require to become fully consistent. Further we call it consistency convergence time.

For this metric we created the probabilistic event taking two random nodes from the set N_d , they can be consistent with some probability. Carrying out this event

many times, we can obtain the average probability of that two nodes will be consistent.

Thus, we have the following sample space:

$$\Omega = \{0, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, \dots\}, \quad (2)$$

where 0 denotes the event when two nodes are consistent and 1, on the contrary, when two nodes are inconsistent. Also let's claim that p is the probability that two nodes are consistent, and $q = 1 - p$ – the probability that two nodes are inconsistent. So, we introduce the stochastic metrics for inconsistency/consistency instead of binary ones. Carrying out experiments, we will "freeze" the simulated distributed datastore and time of that "freezing" we call time t . Thus, we will be able to investigate the current state of the system. Let's denote I as a value calculated by probabilistic formula. We are thinking that having this formula will help us to eventually fully specify the mathematical model for consistency, so let it be one of mathematical model components. So, the probability of that two nodes taken at random are from consistent subset is

$$p_c = \frac{n_c}{l(N_d)} \cdot \frac{n_c - 1}{l(N_d) - 1} = \frac{n_c * (n_c - 1)}{l(N_d) * (l(N_d) - 1)}, \quad (3)$$

where n_c is length of consistent subset in the system at time t .

Obviously, inconsistency probability then is

$$p_i = 1 - p = 1 - \frac{n_c * (n_c - 1)}{l(N_d) * (l(N_d) - 1)}. \quad (4)$$

Taking into account that minimum number of consistent nodes will be equal to 1, and the maximum number of consistent nodes is equal to $l(N_d)$, we have following consequences:

Two nodes are inconsistent if $p_{ic} = 1$.

Two nodes are consistent if $p_{ic} = 0$.

We developed the inconsistency formula for two nodes. Let's now extend it to more general one. We still suppose that a data unit is represented by replicas on N_d servers. Let's denote it as temporary N .

Let we have K classes of mutually consistent replicas. Then we denote by N_k a number of replicas in k^{th} consistency class ($1 \leq k < K$). It is evident that $N_k > 0$ for all $k = 1, \dots, K$ and $N = N_1 + \dots + N_K$. Such representations $N = N_1 + \dots + N_K$ are called integer partitions. Thus, in this case any integer partition describes some inconsistency state. We take integer partitions well-known example from [12] book.

Example. All integer partitions for 5 (5) are

5	4+1	3+2
3+1+1	2+2+1	2+1+1+1
	1+1+1+1+1	

Taking into account this consideration we define inconsistency metric for a data unit in the term of the corresponding integer partition. Let's suppose that the studied data unit d is represented by N replicas, which are being described by the integer partition $N = N_1, \dots, M_K$.

Then the inconsistency metric $I(d)$ is defined by the formula

$$I(d) = 1 - \sum_{k=1}^K \frac{N_k(Y_k - 1)}{N(N-1)}. \quad (5)$$

Let's look at one more example:

Example. Let us suppose that a data unit u are being stored on five servers. Then the corresponding inconsistency states (see Example (5)) have the following values of the inconsistency metric (6)

$$I(5) = 0$$

$$I(4+1) = \frac{2}{5}$$

$$I(3+1+1) = \frac{7}{10}$$

$$I(2+1+1+1) = \frac{9}{10}$$

$$I(3+2) = \frac{3}{5}$$

$$I(2+2+1) = \frac{4}{5}$$

$$I(1+1+1+1+1) = 1$$

The meaning of $I(d)$ is the value of probability to establish the fact of inconsistency by the way of comparison two randomly chosen replicas.

Example (7) demonstrates that the proposed metric is equal to 0 for the absolutely consistent data unit (the case with 5 partitions) and is equal to 1 for the absolutely inconsistent data unit (the case 1+1+1+1+1 partitions) in the subset N_d .

Now we are interested to calculate the time that can be taken for consistency convergence. We want to prove the following:

Proposition. Let we have a distributed datastore where all links are available and reliable (network partitions do not happen in a datastore and nodes are stable and respond in approximately equal time); the interval between writing operations is t_w . If and only if such input conditions are met, then t_w is less than the diameter of network graph ensures eventual consistency of the datastore. (7)

Proof. Let us denote as T_c time for consistency convergence (time that is needed for the whole system to become consistent). Let we have

the trivial network where all links have link cost 1. Thus, as the input we have the connected graph G with set of nodes N and set of edges E . Let us assume now that weight of each edge $e \in E$ satisfies the equality

$$w(e) = 1. \quad (8)$$

Let us take the nodes n_1 and n_2 that are at the largest distance each from other. So we can count that the time of delivering replica between n_1 and n_2 is the shortest path from n_1 to n_2 . Extrapolating this to all the system and taking into account that in the distributed datastore nodes are broadcasting each to other in parallel, we obtain the upper boundary of T_c is the maximum of shortest paths in the worst case. It is well-known that such maximum is diameter of the graph satisfies the definition of graph diameter. (see [13]). So, then we can conclude:

$$T_c = \text{diameter}(G) \quad (9)$$

Let us complicate the system introducing the different link cost for links in distributed datastore that means that now our graph G is weighted and $w(e) \in \mathbb{N}$ for all $e \in E$.

Thus, the diameter is the path $P = [e_1, \dots, e_n]$ where e_i has own weight and

$$T_c = \sum_{i=1}^n w_i, \quad (10)$$

where w_i is the weight of edge e_i of the path P . T_c is the number of time slots that a datastore requires to become fully consistent. This means that after T_c time points, all replicas become consistent. This also means that a datastore is again available to accept writing requests, so that datastore will be able to store all the replicas passed before, and no accidental updating happen in the meantime.

Case Study

The study in the previous section had been checked by the following experimentation: we implemented a code that allows to test the accuracy of the inconsistency metric. Probability intervals for different partitions are demonstrating that the formula is correct – values obtained are around values obtained theoretically. To be more intuitive we took the same number of nodes and same partitions. It is obviously that we do not have exact matching, because the experiment is based on number of iterations where two nodes are taken from a given set of nodes randomly, but all we need is that value should vary slightly around theoretical value. Look in the figures below:

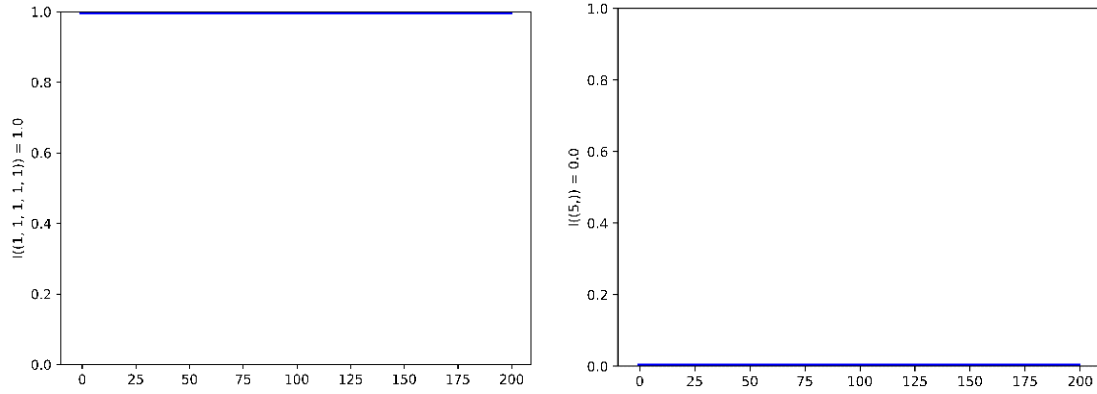


Fig. 1. Datastore is fully inconsistent and datastore is fully consistent

Firstly, it can be seen that for one consistent partition $I(d)$ is equal to 0 and when the system is fully inconsistent $I(d)$ is equal to 1 (see in fig. 1).

Let us compare now the situation when we have two consistent partitions: the set which contains 2 and 3 nodes that consistent in the own subset, and the set with 4 and 1-length consistent subsets (see results in fig. 2).

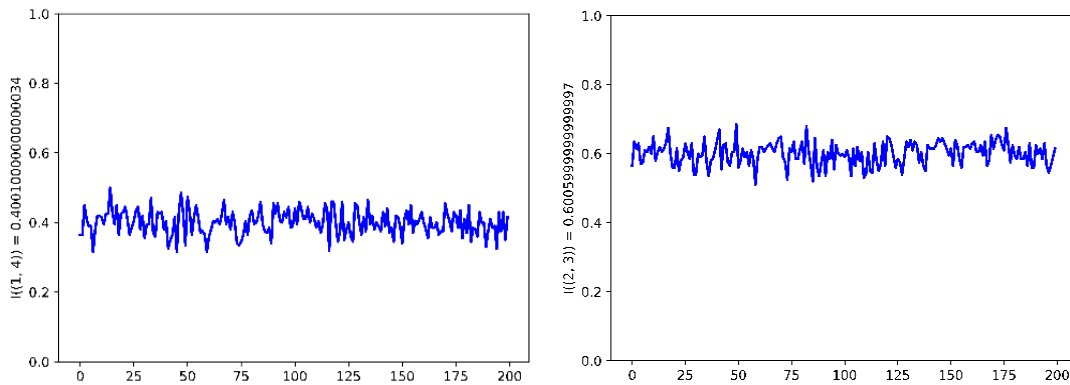


Fig. 2. The datastore has two consistent partitions: (1,4) and (2,3)

Then we can easily see that:

$$I(3,2) = 1 - \frac{3 \cdot 2}{5 \cdot 4} - \frac{2 \cdot 1}{5 \cdot 4} = \frac{3}{5}, \quad (11)$$

and

$$I(4,1) = 1 - \frac{4 \cdot 3}{5 \cdot 4} - \frac{1 \cdot 0}{5 \cdot 4} = \frac{2}{5}. \quad (12)$$

Following this procedure for three consistent partitions (presented in fig. 3) in N_d :

$$I(3,1,1) = 1 - \frac{3 \cdot 2}{5 \cdot 4} - \frac{1 \cdot 0}{5 \cdot 4} - \frac{1 \cdot 0}{5 \cdot 4} = \frac{7}{10} \quad (13)$$

and

$$I(2,2,1) = 1 - \frac{2 \cdot 1}{5 \cdot 4} - \frac{2 \cdot 1}{5 \cdot 4} - \frac{1 \cdot 0}{5 \cdot 4} = \frac{4}{5}. \quad (14)$$

And the final one:

$$I(2,1,1,1) = 1 - \frac{2 \cdot 1}{5 \cdot 4} - 3 \cdot \frac{1 \cdot 0}{5 \cdot 4} = \frac{9}{10}. \quad (15)$$

See results in fig. 4.

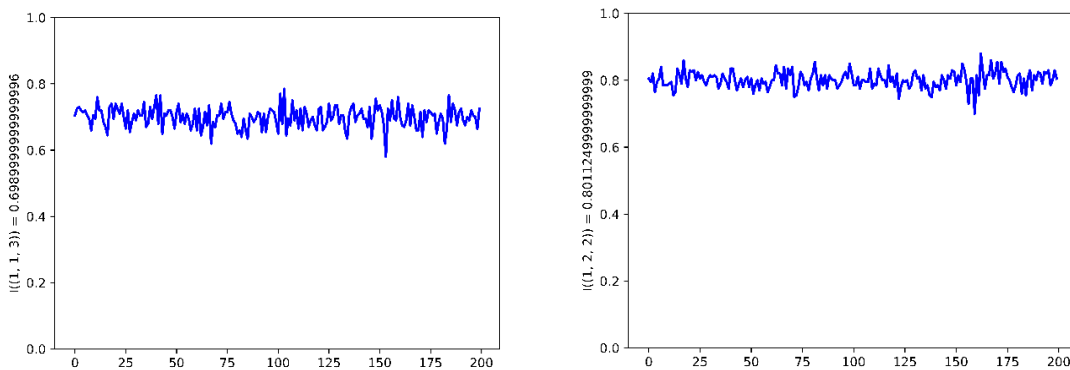


Fig. 3. The datastore has three consistent partitions: (1,1,3) and (1,2,2)

So, we had easily shown on a simple subset, that our inconsistency metric value corresponds to theoretical one. Now we present the graphic that demonstrates the verity of that claim about that consistency convergence time T_c for graph G will be no greater than diameter of G .

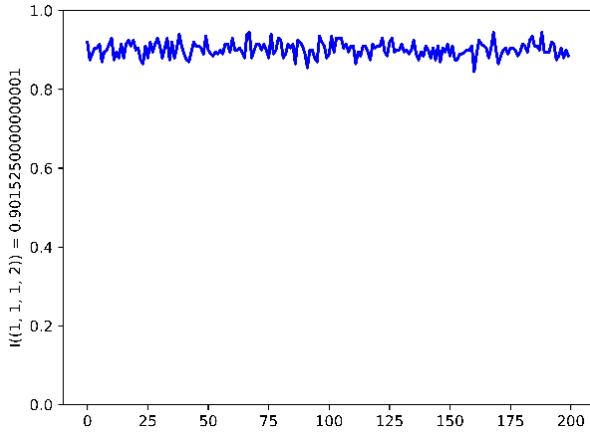


Fig. 4. The datastore has four consistent partitions (1,1,1,4)

To be more intuitive, we carried out the set of experiments on our simulation model: having simulated distributed datastore, we easily could run the imitation of one message broadcasting through the datastore and

calculate the number of time slots it is taking in the real time. We have done it for graph with each edge of link cost of 1. Below there are graphics for 100, 200, 1000 experiments respectively (see in fig. 5). We draw graphics in the following manner: obtain the diameter of graph G (ordinates) and calculated by the simulation T_c (axis). We can easily see that either we have the line demonstrating that $T_c = D(G)$, or points that are showing that $T_c < D(G)$.

So, now the case of an unweighted graph is considered. But the general situation requires to consider weighted one. In this case, weight of an edge means the average time for delivering a message via the corresponding link.

However, algorithms to simulate this case are more complex. Therefore, this general case will be considered in the future, expanding experiments for random regular graph. Now we are able to present some results for random regular graph, that substantiate our proposition (1.8) in the general case (see in fig. 6). We can observe that all points have a location in the graphics such that T_c is less or equal to $D(G)$ for weighted random regular graph.

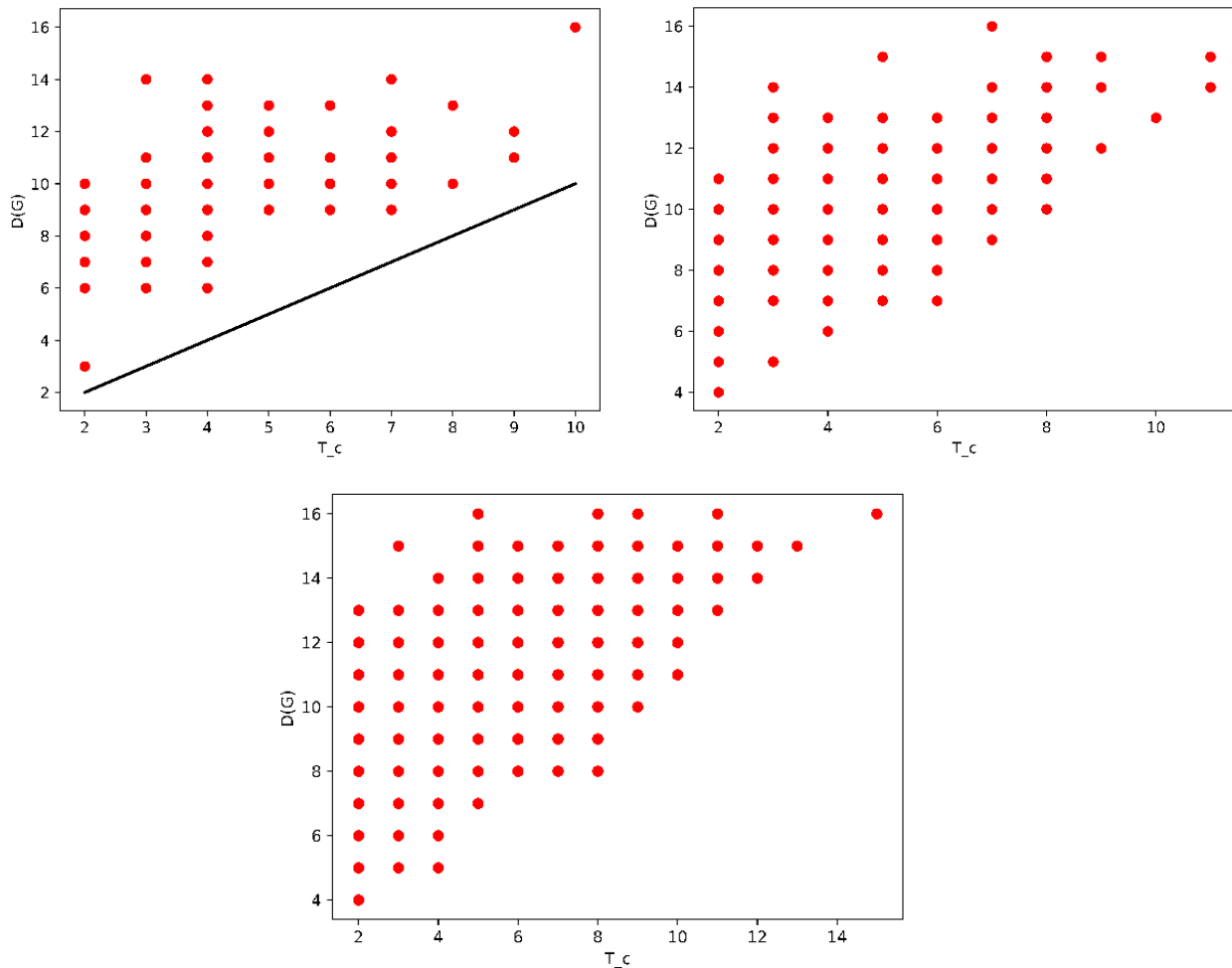


Fig. 5. Graphics for consistency convergence time on non-weighted graph

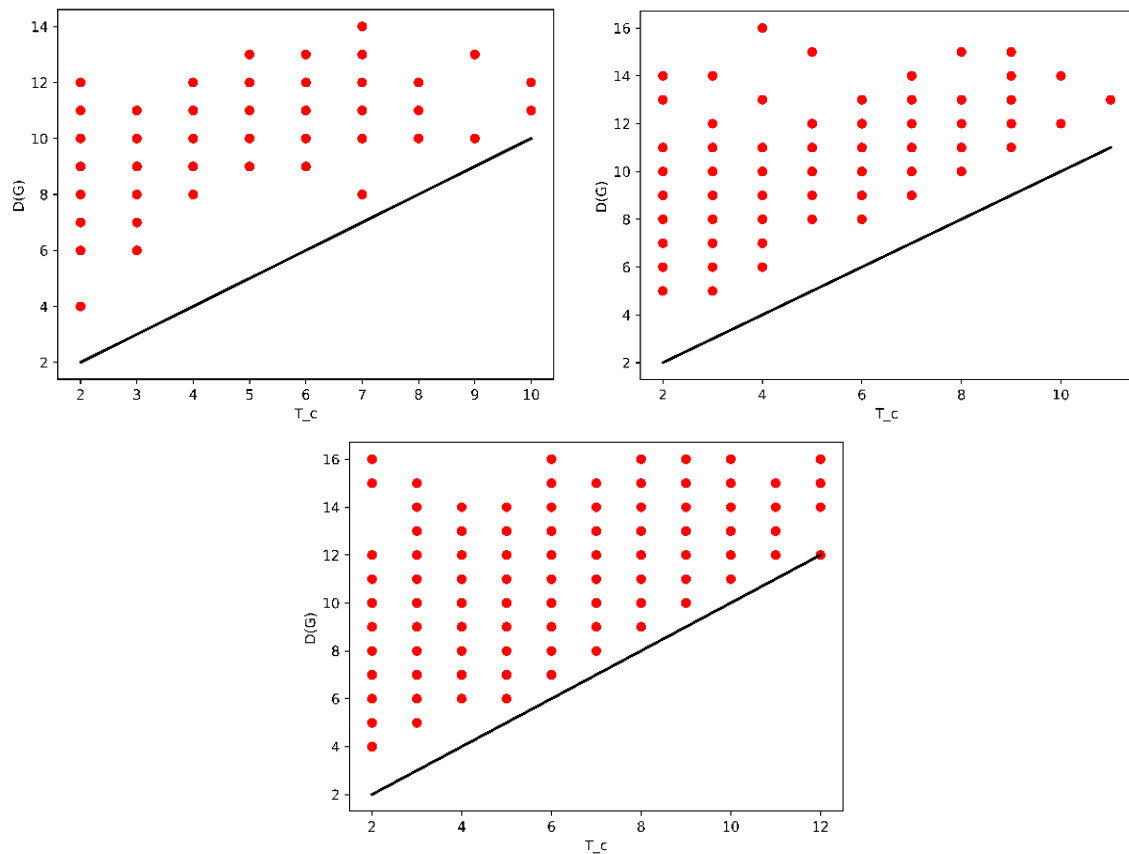


Fig. 6. Graphics for consistency convergence time on weighted graph

Simulation Model to Estimate Inconsistency Ratio of Data. To carry out experiments, we needed to implement the simulation model that will do experiment and calculate all needed values. This model is implemented as a computer program in Python language and available our project page. We assume that it would be useful to present the short class diagram for the simulation model (see fig. 7 below).

Also, we would like to present the state machine diagram for the algorithm that was implemented to carry

out experiments of consistency convergence estimation on a distributed datastore (see fig. 8).

For experiment simulation we had chosen random regular graph. During simulation we could see that for degree great than 2, calculating the time-slots taken for consistency convergence for one iteration, we can take a minimum between paths to neighbors and it will be the correct choice.

Because for regular graph if the path to another neighbor is greater, there will be another path with lesser link cost that will take less time to converge.

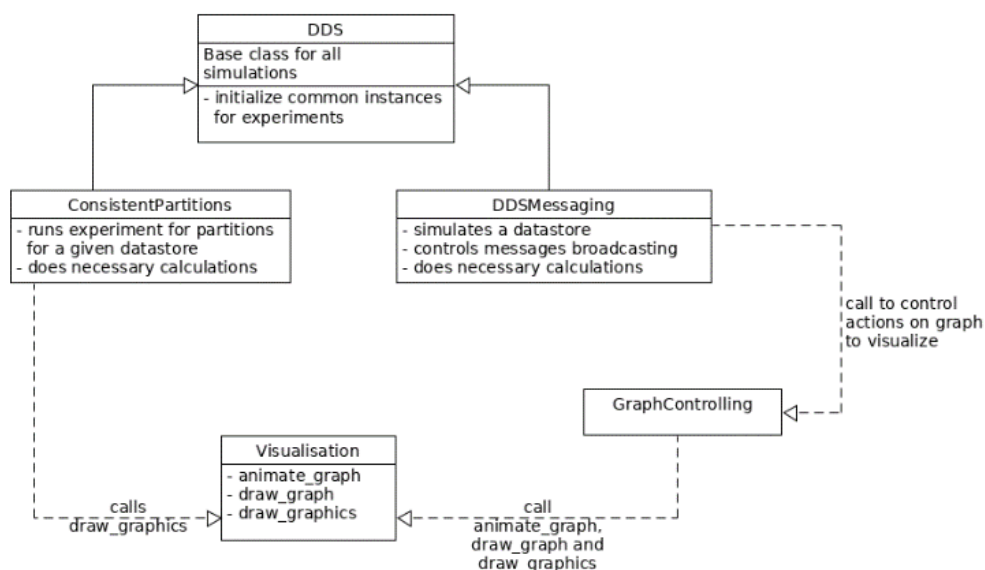


Fig. 7. Class diagram for simulation model of a distributed datastore

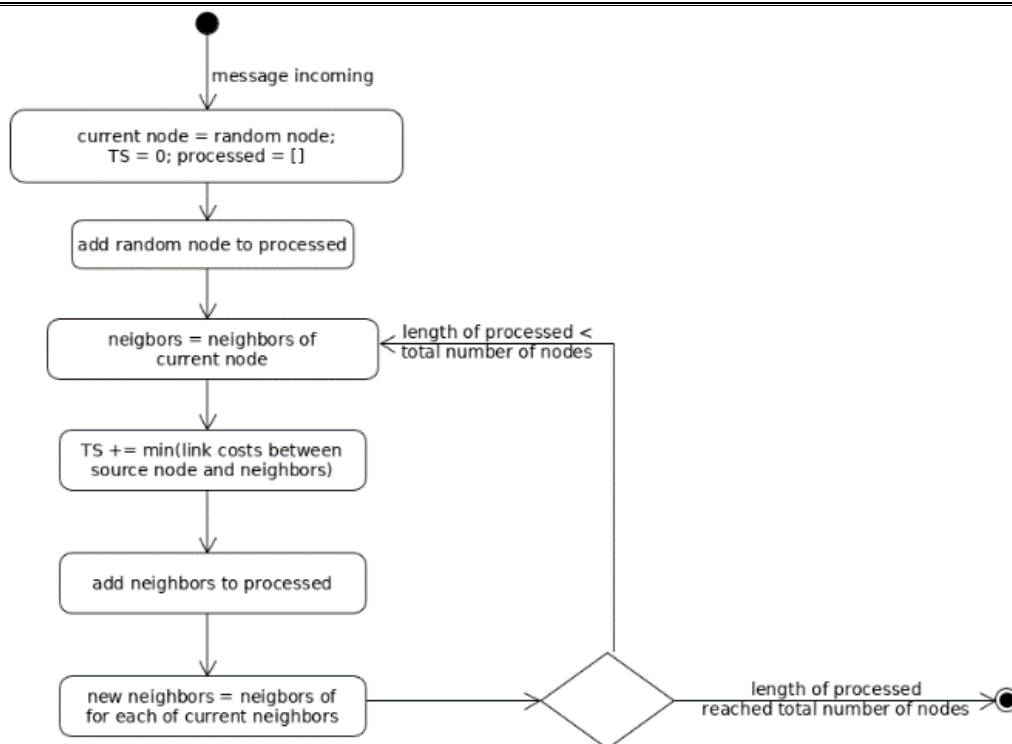


Fig. 8. State machine of simulation of message broadcasting through a datastore

Based on the research of current paper we can make following recommendations for those who build the network topology of the distributed datastore:

- in the case of your datastore is a system with a domination of read operations, it must be sufficient to choose such network topology where frequency of write operations will be no greater than diameter of the graph representing network topology of a distributed datastore;

- if frequency of write operations is greater than the diameter of the graph, it may be useful to evaluate current inconsistency state of the graph;

- if inconsistency state is close to 0 enough for current requirements, it means that there are inconsistent nodes that are far enough to not conflict with new replicas. Thus, developer or administrator of a datastore can choose as source available for writing that node that is in consistent list and far enough for inconsistent ones. But for that developer needs to provide such an algorithm for a datastore so that he will be able to obtain the current list of consistent nodes;

- if still more strict consistency needs to be satisfied and inconsistency state is close enough to 0, a developer or administrator of a datastore can choose as source node for writing the node closest to the source node where previous write operation occurred;

- if replica's history is not important for requirements, it may be possible to solve the problem fixing conflicts. This problem has been investigated in the paper [10].

Also, we would like to notice that the ways of improving routing on some types of networks has already

been investigated in [16], [17]. This may be one of approach that will help to build better network for distributed datastores.

Conclusions

This research is devoted to mathematical model for distributed datastore that is evolved with the metric in the form of stochastic formula that allows to measure the consistency at certain time slot in distributed datastore. This work continues the previous research [11], which is the analysis of CAP-guarantees and first version of mathematical model for distributed datastore guarantees. As the result of this paper, this mathematical model is enhanced with new stochastic formula, based on probability theory basics and number partitions theory. Also, we define the necessary condition for the time that it takes for consistency to converge to perfect value in the conditions of data loss absence. This result has a theoretical and practical proof in the form of set of experiments that were run on big set of nodes. Basing on this theory built we succeeded to make some claims and recommendations for building network topology of a datastore. In the future this should result in integral decision-making algorithm that could be applied as a part of algorithm during design distributed datastore stage.

For the future work we consider to extend the formula to calculate mean time of message delivery in distributed system in the conditions of dataloss and network partition.

References

1. Kuhlkamp, J., Klems, M., Röss, O. (2014), "Benchmarking Scalability and Elasticity of Distributed Database Systems", *PVLDB*, No. 7, P. 1219–1230.

2. Tanenbaum, A. S., Steen, M. V. (2007), *Distributed systems - principles and paradigms*, 2nd Edition, Upper Saddle River, Prentice-hall, 686 p.
3. Banothu, N., Bhukya, S. and Sharma, K. (2016), "Big-data: Acid versus base for database transactions", *2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, Chennai, P. 3704–3709. DOI: 10.1109/ICEEOT.2016.7755401.
4. Brewer, E. A. (2000), "Towards robust distributed systems (abstract)", *PODC '00: Proceedings of the nineteenth annual ACM symposium on Principles of distributed computing July 2000*, DOI: <https://doi.org/10.1145/343477.343502>
5. Gilbert, S., Lynch, N. A. (2002), "Brewer's conjecture and the feasibility of consistent, available, partition-tolerant web services", *SIGACT News*, No. 33, P. 51–59.
6. Brewer, E. A. (2012), "CAP twelve years later: How the "rules" have changed", *Computer*, No. 45, P. 23–29.
7. Bailis, P., Ghodsi, A. (2013), *Eventual Consistency Today: Limitations, Extensions, and Beyond*, *QUEUE*, Vol. 11, Issue 3, P. 9–13, available at : <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/2460276.2462076?download=true>
8. Gilbert, S., Lynch, N. A. (2012), "Perspectives on the CAP Theorem", *Computer*, No. 45, P. 30–36.
9. Calder, B., Wang, J., Ogun, A., Nilakantan, N., Skjolsvold, A., et. al. (2011), "Windows Azure Storage: a highly available cloud storage service with strong consistency", *SOSP '11*, available at : <https://azure.microsoft.com/en-us/blog/sosp-paper-windows-azure-storage-a-highly-available-cloud-storage-service-with-strong-consistency/>.
10. Madria, S. K. (1998), "Handling of Mutual Conflicts in Distributed Databases Using Timestamps", *Comput. J.*, No. 41, P. 376–385.
11. Rukkas, K., Zholtkevych, G. (2015), "Distributed Datastores: Towards Probabilistic Approach for Estimation of Dependability", *ICTERI, Computer Science*, available at : https://pdfs.semanticscholar.org/5eb0/01632c6cd6da2e4ec92adb288939de0f4f9.pdf?_ga=2.235973185.1723289165.1592897490-2045290888.1592897490.
12. Andrews, G. E. (1976), *The theory of partitions*, Cambridge University Press, 255 p.
13. Bondy, J. A., Murty, U. S. (1976), *Graph Theory with Applications*, Elsevier Science Ltd. The Boulevard Langford Lane Kidlington, Oxford OX5 1GB United Kingdom, 270 p.
14. Rukkas, K., Zholtkevych, G. (2020), "Probabilistic model for estimation of cap-guarantees for distributed datastore", *Advanced Information Systems*, No. 4, P. 47–50. DOI: 10.20998/2522-9052.2020.2.09
15. Rukkas, K., Zholtkevych, G. (2020), "Load balancing consistency in a distributed datastore", *Control, Navigation and Communication Systems*, No. 2, P. 95–100. DOI: 10.26906/SUNZ.2020.2.095
16. Lemeshko, O., Yevdokymenko, M., Yeremenko, O. (2019), "Model of data traffic qos fast rerouting in infocommunication networks", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (9), P. 127–134. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.9.127>
17. Yeremenko, O., Yevdokymenko, M., Sleiman, B. (2020), "Advanced performance-based fast rerouting model with path protection and its bandwidth in software-defined network", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (11), P. 163–171. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.11.163>.

Received 22.05.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Жолткевич Галина Григорівна – дослідник, інженер – розробник програмного забезпечення, приватний підприємець, Харків, Україна; email: galynazholtkevych1991@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9772-4691>.

Жолткевич Галина Григорьевна – исследователь, инженер – разработчик программного обеспечения, частный предприниматель, Харьков, Украина.

Zholtkevych Galyna – Researcher, Software Engineer, a Private Entrepreneur, Kharkiv, Ukraine.

МЕТРИКИ ДЛЯ ОБЧИСЛЕННЯ УЗГОДЖЕНОСТІ У РОЗПОДІЛЕНИХ СХОВИЩАХ ДАНИХ

Предметом дослідження статті є метрики для обчислення стану узгодженості у розподіленому сховищі даних як однієї з найважливіших критеріїв надійного розподіленого сховища даних. **Метою** роботи є дослідження можливості розроблення програми, яка буде працювати на ранніх етапах проектування розподіленої мережі та побудувати компоненти для алгоритму прийняття рішень, метою якого є побудування оптимальної топології мережі. Такий алгоритм має задовольняти будь-яку бізнес-модель та її потреби. Для цього наступні **задачі** були вирішені: побудована математична модель для стохастичної метрики оцінювання стану узгодженості, сформовані умови для збіжності часу узгодженості в початкових умовах ідеального середовища розподіленого сховища. Використані **методи**: теорія числових розділень, базові поняття та формули з теорії графів та теорії ймовірності, комп'ютерне моделювання та програма для проведення експериментів. Як **результат**, встановлено, що в умовах середовища без втрат даних значення збіжності стану узгодженості після першого запиту на запис менше або дорівнює діаметру графу, що відображає топологію мережі. Таке значення має таку ж саму одиницю вимірювання, що і "link cost" кожного зв'язку в мережі. Також, пропонується стохастична модель для метрики оцінювання стану узгодженості. Це дасть можливість моніторингу поточного стану узгодженості системи у заданому часовому інтервалі. Це дослідження є базою для формування елементів алгоритму прийняття рішень для побудови топології в розподіленій мережі та елементів алгоритму моніторингу системи. Також, на основі частоти запитів на запис та читання даних, пропонується стратегія розташування вузлів у мережі, що може зменшити час на відповідь системи, порівняно, якщо не використовувати цю стратегію. Роблячи **висновок**, практична роль компонентів алгоритму прийняття рішень – допомога архітектору великої розподіленої мережі сховища на етапі проектування, і як результат, CAP-характеристики будуть задовільнені оптимально для конкретних бізнес-потреб. Математична модель для стохастичної метрики оцінювання

узгодженості розподіленого сховища може бути застосована як і на етапі проектування системи, для тестування задовільного рівня узгодженості, так і на етапі операційної підтримки системи у якості компонента моніторингу.

Ключові слова: розподілені сховища; час на відповідь; CAP-теорема; стохастична метрика узгодженості; методи побудовання розподіленої мережі.

МЕТРИКИ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ СОГЛАСОВАННОСТИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ХРАНИЛИЩАХ ДАННЫХ

Предметом исследования являются метрики для вычисления состояния согласованности в распределенном хранилище данных как одни из важнейших критериев надежного распределенного хранилища. **Цель** работы – исследования возможности разработки программы, которая будет работать на ранних этапах проектирования распределенной сети и построить компоненты для алгоритма принятия решения, который строит оптимальную топологию. Такой алгоритм должен удовлетворять требования любой бизнес-модели. Для этого следующие **задачи** были решены: построена математическая модель для стохастической метрики оценки состояния согласованности, сформированы условия для времени сходимости согласованности в начальных условиях идеального окружения распределенного хранилища. Используются следующие **методы:** теория числовых разделений, базовые понятия теории графов и теории вероятности, компьютерное моделирование и компьютерная программа для проведения экспериментов. Как **результат** установлено, что в условиях окружения без потерь данных значения времени сходимости состояния согласованности после первого запроса на запись меньше или равняется диаметру графа, который отображает топологию сети. Такое значение имеет ту же единицу измерения, что и "link cost" каждой связи в сети. Также, предложена стохастическая модель для метрики оценивания состояния согласованности, что даст возможность мониторинга текущего состояния согласованности в заданном часовом промежутке. Это исследование является базой для формирования элементов алгоритма принятия решений для построения топологии распределенной сети и элементов алгоритма мониторинга системы. Также, на основе частоты запросов на запись и чтение данных, предложена стратегия расположения узлов в сети, что может сократить время на ответ от системы пользователю, в сравнении с ситуацией неиспользования этой стратегии. Делая **выводы**, практическая роль компонентов алгоритма принятия решений – помощь архитектору большой сети распределенной базы данных на этапе проектирования, в следствии чего CAP-характеристики будут оптимально сбалансированы для конкретных бизнес-требований. Математическая модель для стохастической метрики оценивания распределенного хранилища может быть применена как на этапе проектирования системы, а именно, для тестирования удовлетворительного уровня согласованности, так и на этапе операционной поддержки системы в качестве компонента мониторинга.

Ключевые слова: распределенные хранилища; время отклика; CAP-теорема; стохастическая метрика согласованности; методы построения распределенной сети.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Жолткевич Г. Г. Метрики для обчислення узгодженості у розподілених сховищах даних. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 40–48. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.040>.

Zholtkevych, G. (2020), "Metrics for evaluating consistency in distributed datastores", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 40–48. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.040>.

UDC 005.8

DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.049>

O. ZACHKO, D. KOBYLKIN, O. KOVALCHUK, V. MARKOV

MODEL FOR FORMING AN INFORMATION SYSTEM OF PROJECT TEAMS IN A SECURITY-ORIENTED SYSTEM

The **subject** of the study is the personnel management information system. Infrastructure design processes of the framework model of complex socio-technical systems for project management and human resource management programs, formation of a database of members of project BOS teams and their evaluation using the index method to optimize the selection of project team members in a security-oriented system were studied. **Purpose:** to develop a model of an automated personnel management information system for implementation in the projects of security-oriented system using the index method of team members' evaluation. New models should be designed with the features of a complex socio-technical system and a sequence of implementation and adaptation stages in the project environment. This model should not be expensive to implement and take into account the life cycle processes of the organization from the selection of personnel to their management. **Task:** the information system of human resource management in projects of the security-oriented system is modeled. A set of software and hardware, telecommunications and organizational tools needed by a security-oriented organization for the functioning and interaction of communication and information flows has been worked out. Automation of selection and formation of project teams in complex socio-technical organizations is being developed due to the index assessment of candidates. The following **methods** are used: human resource management using automated HRM systems, expert information systems and index numerical indicators. The following **results** were obtained: a model of information expert system was developed and the process of knowledge accumulation due to software was described, an index method was proposed on the example of military formations in security-oriented systems. **Conclusions:** a generalized model-scheme of expert information system for personnel selection in security-oriented systems based on the index method has been developed.

Keywords: information system; security-oriented system; index method; human resource management; database; project teams.

Introduction

Human resource management is an important component for planning projects and programs, achieving the goals of the organization, its strategy, and mission. In the context of digitalization and turbulent changes, project and program management tools are very important. Modern methods of effective organization management are used to combine the main management objects, such as recruiting, team building, training, reporting and analysis, and other important processes in a single information environment. The development of management models in organizations requires new and individual approaches to the implementation and development of information systems in organizations. In a unified organization management system, it is the information system of human resources management that can provide high-quality and effective strategic planning and forecasting in the need to select and form competent teams, possible risks of internal and external project environment. These methods and models should be implemented in mega projects on civil protection of the population for automation and optimization of personnel processes.

In world practice, the most common information systems are: Oracle HCP cloud, SAP, ADP, Personality and others. However, the cost of implementing these systems is high, and the testing and optimization period can be years. In state-level projects, these systems are difficult to implement, they require an individual approach and taking into account the characteristics of all processes.

These methods and models should be implemented in mega projects for civil protection of the population where the number of employees is more than a thousand, in order to automate and optimize personnel processes. Socio-technical teams of complex security-oriented systems (SOS) provide services to support vital social

functions that are important for industry, the economy, the functioning of society, public safety, the well-being of citizens and the environment. The information system includes the whole range of providing the necessary resources from the stakeholders of the state and private institutions and organizations for their preparation, development and support of the "product" of the life cycle, namely the formation of SOS teams and civil defense personnel.

Analysis of research and publications

The scientific works of the following domestic and foreign scientists are devoted to the study of methods and models of implementation of information systems in personnel management: Lysenko D.E. [9], Chumachenko I.V. [3], Bushuyev S.D. [1], Mikhnova A.V. [5], Mikhnov D.K. [5], Leli Yu. G. [6], Gogot M.M. [7], Chuprina M.O. [7], Golovan D.V. [8], Zachko O.B. [12], Makarova M.V. [13], Ruchka T.I. [13], Tesla Yu. M. [4], Biloshitsky A.O. [4], Tesla N. Yu. [4], Okhrimenko V.M. [10], Voronkova T.B. [10] and others.

Lysenko D.E. in his works [9] developed methods and models for selection into project team members, using the theory of precedents as a basis for experience to implement new tasks. The developed structure of the qualimetric model allows to mathematically calculate and display the relationships between the input tasks, the base of precedents and their evaluation, candidates for the role in the project and other actors for the formation of the project team. This model should be considered for recruitment and integration of decision support system (DSS) with the information system of human resources management.

Bushuyev S.D. in his works [1] studied the processes of project knowledge management and developed a conceptual model that allows you to structure data, information and turn them into knowledge. These

developments should be taken into account when developing new models of human resource management information systems in the field of security - oriented system for data presentation in the information environment.

In the monograph of Chumachenko I.V. [3] special attention is paid to multi-projects, which are relevant in a complex socio-technical system where projects are constantly growing and require effective tools for selecting and forming teams in a dynamic environment, as well as interaction between stakeholders, distribution of tasks and project resource management.

The scientific works of Tesla A.V. [4] reflect the formalization of project management tools using an information system based on the goals and strategies of the organization, as well as on the means of project administration. When analyzing software tools for automation of project resource planning, the company operates more efficiently and for implementation in a particular area should analyze the features of the system, which will be improved by the information system.

In his work Gogot M.M. [7] explored the use of modern information technology in the context of human resource management. To achieve success in the organization, HR management must provide real-time management of the ranks of strategy, tactics and operational activities, which requires the development of new information system models for megaprojects.

The article by Golovan D.V. [8] considerable attention focuses on the improvement of automated personnel management systems through the methodical implementation of multifunctional expert systems for career guidance, selection and certification of employees.

In his work Zachko O.B. [12] paid considerable attention to the study of safety principles, security management, as well as the management of information systems in civil defense. A model of the information system should be developed using the data of experience and research.

Presentation of the main material

The choice of a human resources management information system depends on a number of criteria, such as the cost of implementing the system, the strategy and specifics of the organizations, the implementation period, the number of employees, operational features and the need for additional modules, such as recruitment.

Outdated human resource management methods lead to deteriorating performance and efficiency in general, due to the difficulty of coordination, monitoring and control of the accumulated organizational structure, as a result: low feedback speed, inefficient performance of tasks and lack of data analysis to manage and pursue the chosen mission, strategy, achieving goals. Below is a comparative table 1 of human resource management by new and standard methods.

Table 1. Comparative analysis of human resource management between standard and new methods

1	(HR standards): standard methods of human resource management	(HRIS): implementation of a human resources management information system
2	Definition of system and document management requirements	Project management tools are adapted to the goals, mission and strategy of the system in the conceptual core
3	Human resources for the management of the stages of selection, adaptation, training are allocated to individual projects	Management of human resources, recruitment and the main stages of the life cycle of project team members is carried out in a single information environment, which allows you to free up resources, direct them to other tasks, quick feedback and more efficient organization of work compared to manual administrative management HR standards
4	Salary, staff turnover, control and monitoring management is entrusted to individual managers, whose interaction slows down the speed of information transfer	Remuneration management, staff turnover, monitoring and control are interrelated in the information system, which allows you to comprehensively evaluate and analyze the results and effectiveness of management.
5	Risk management is difficult to operate and analyze the potential consequences on the basis of data that do not reflect reality	Thanks to a single module of reporting and analysis of the information space, it is possible to compare the planned indicators with the planned ones, which allows to achieve the goals of projects in complex socio-technical systems.

In complex socio-technical systems, such as civil protection against emergencies, the management of available resources is an important component that influences the success of projects. Inefficient management leads to disastrous consequences, for this purpose it is necessary to analyze the current situation in order to be able to automate and optimize personnel processes through the introduction of an information system. Rational redirection of human resources will allow for more effective coordination with a security-

oriented system. Below here is fig. 1, which analyzes the priority tasks for project implementation and monitoring of the main tasks carried out through standard management methods and HRIS information systems.

The implementation of the information system is possible through five phases:

1. Planning (transition from the usual management methods to the need for an information system);
2. Analysis (current situation – "bottlenecks" for process optimization);

3. Development of an information system based on the selected model;
4. Implementation of HRIS with databases, selection module based on the index method;

5. System maintenance and testing.
HRIS actors need to be identified to develop an information system. The prototype is shown in fig. 2.

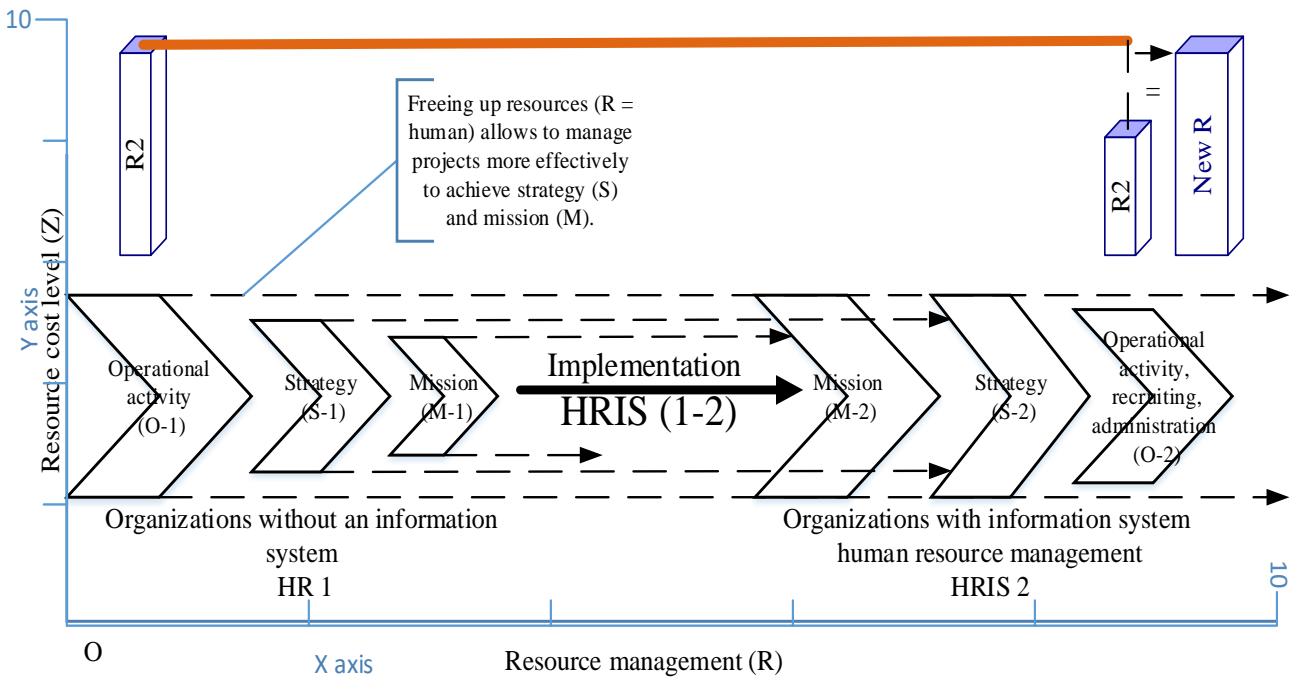


Fig. 1. Model of optimization of human resources management in SOS

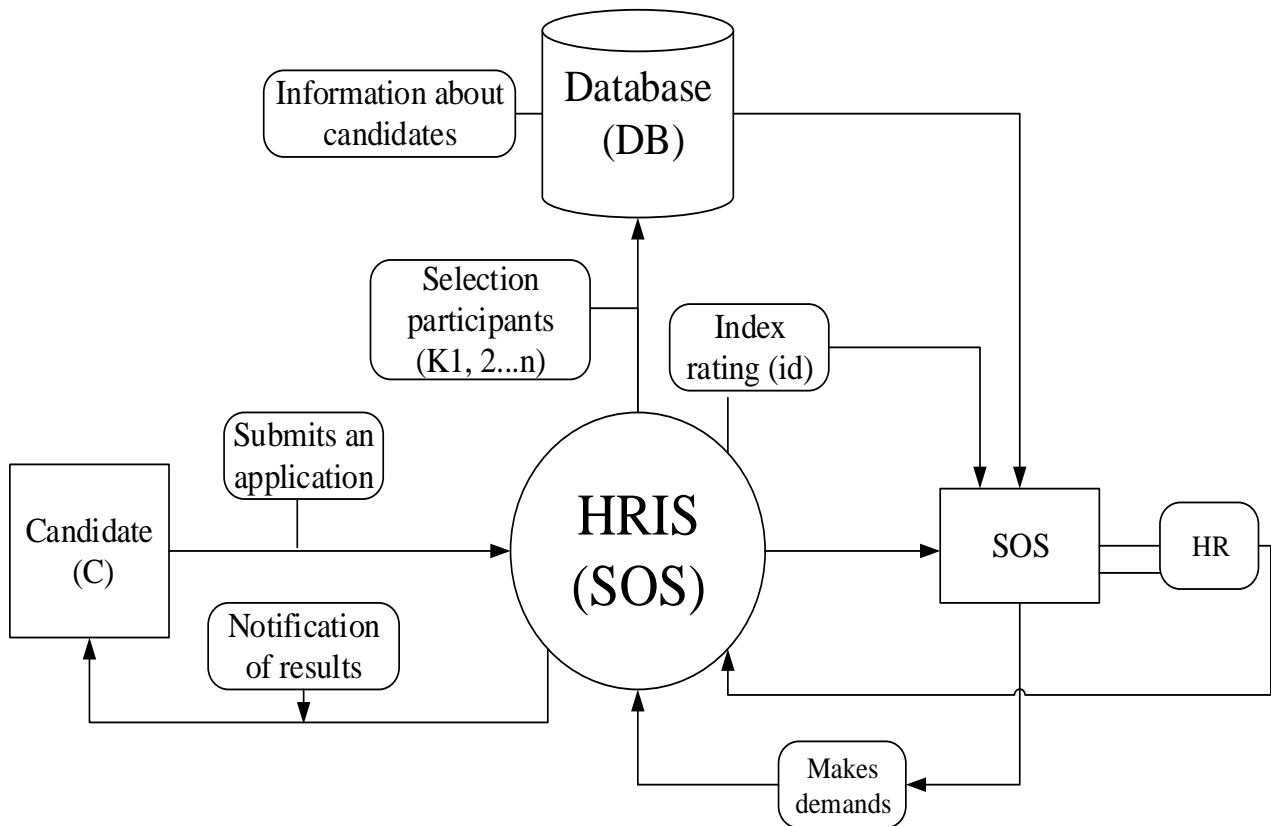


Fig. 2. Model-scheme of interaction of information system users in SOS

The input data should be information about the candidates: name, surname, date of birth and other items

that with the flow of data will form the relationship of databases (fig. 3) for the information system.

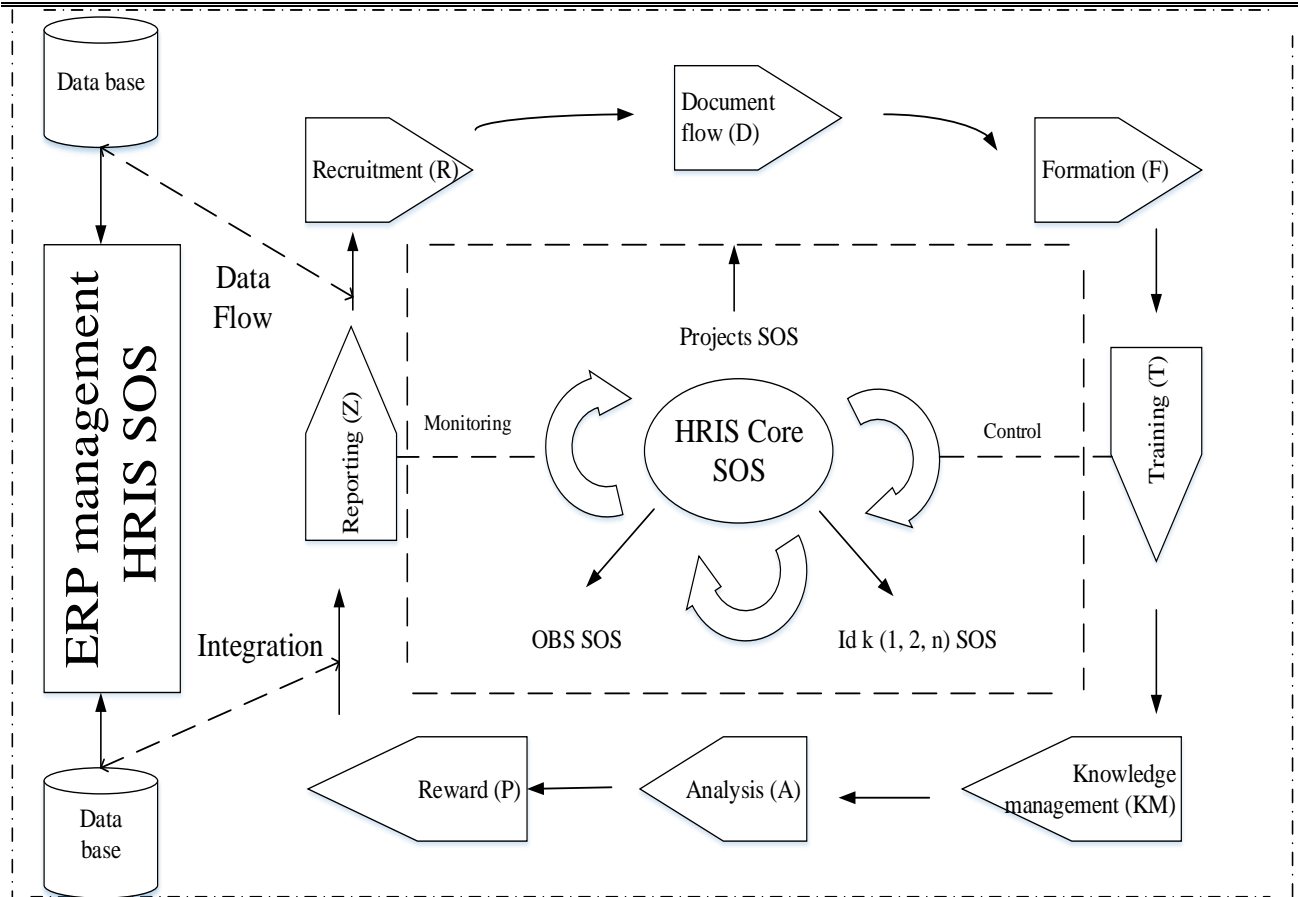


Fig. 3. Model of database integration with information system processes

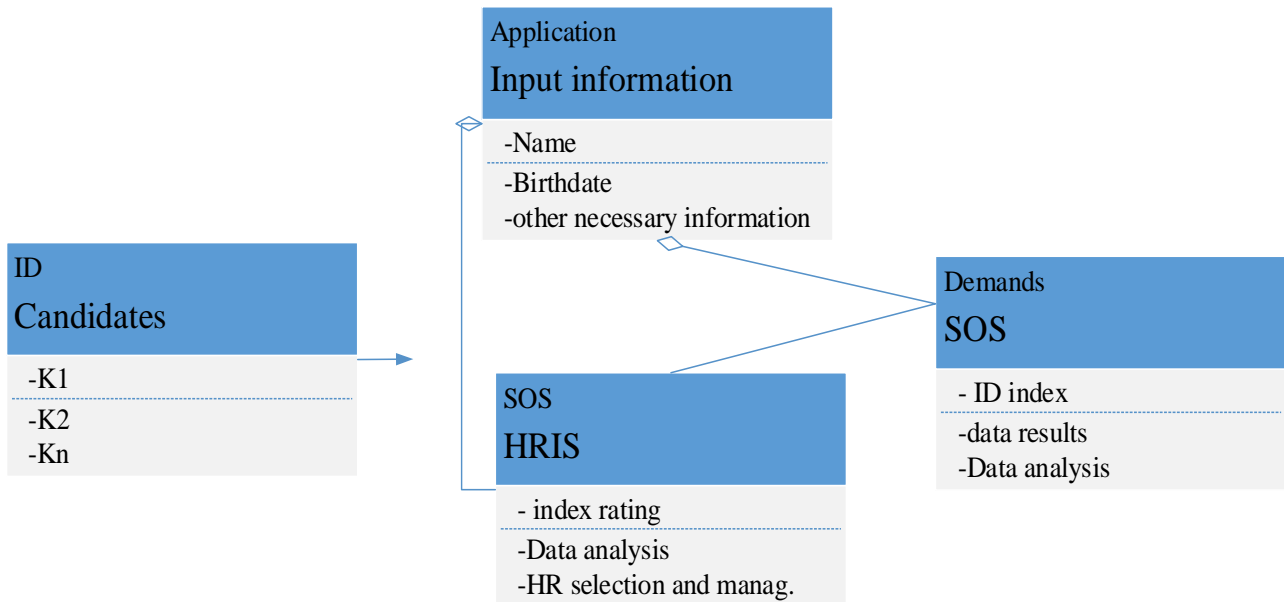


Fig. 4. Database model for integration

The effectiveness of human resource management is represented by formula 1

$$(E) = \text{recruiting (R)} + \text{formation (F)} + \text{training (D)} + \text{management (M)} + \text{control (C)}; \quad (1)$$

$$HR=R+F+D+M+C=5; \quad (2)$$

$$HRIS=MC=2.5 \text{ (process optimization by 50\%)} \quad (3)$$

The integration of the information system should take into account the external and internal design environment of the security-oriented system (fig. 5).

An important factor in the functioning of the information system is its constant adaptation to change through cyclic testing (fig. 6).

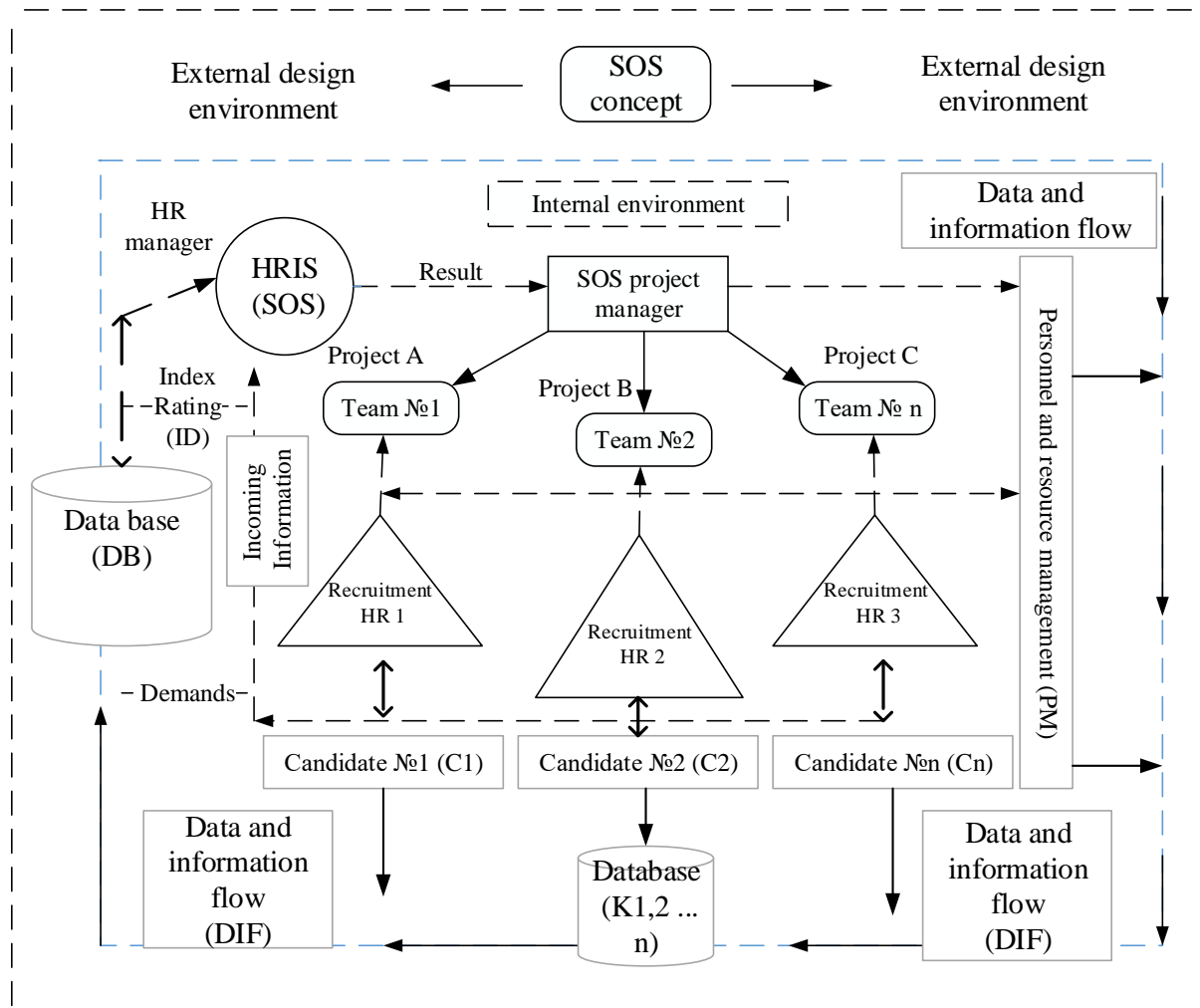


Fig. 5. Model of information system implementation in SOS environment

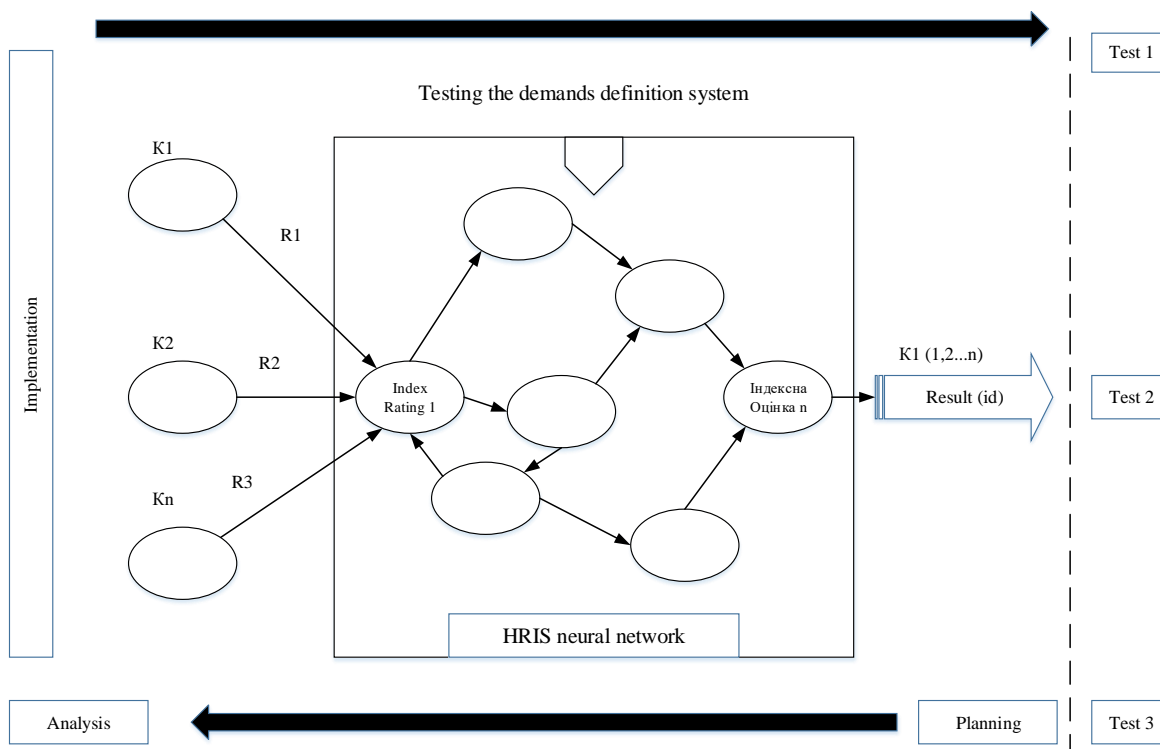


Fig. 6. Information system testing model

Index method

$$W_n = Q_n / Q_o,$$

Thanks to index methods, it is possible to measure the observed indicators and factors for further expert evaluation. Index method (popular and powerful informative toolkit), which is aimed at a general quantitative study of the degree of influence of individual factors on the overall result using relative values. This method should be used for systematic analysis of the performance of individual team members, which is the amount of work performed per unit time (in our case – the results of the competition, which will be taken into account in evaluating participants) with a relative comparison of the portrait of the "ideal candidate", that is:

where W_n is a relative indicator of the rating of the candidate of the competition-selection to the project team of the security-oriented system. The value of performance W_n allows to expertly analyze and compare the evaluation results with the selection criteria, which will be used in the automated program of the optimized selection process and the formation of a project team in a security-oriented system; Q_n is the result of the points scored at the stages of the competition-selection by the n -th participant; Q_o is the relative quantitative value of the "ideal portrait of the candidate" for the successful outcome of the project of selection in the security-oriented system of the serviceman.

Table 2. Index evaluation of candidates for SOS projects

Rating-selection No.	Number (ID) of the candidate for participation in the project "security-oriented system"	Q_n	Q_o	W_n
1	1	<0,9	1	0,1-0,9
2	2	<0,9	1	0,1-0,9
3	3	<0,9	1	0,1-0,9
4	4	<0,9	1	0,1-0,9
...	...	0,6	1	0,1-0,9
n	n	0,4	1	0,1-0,9

Table of initial and calculated data for expert assessment of the rating of candidates in the information system for decision support of DSS.

Conclusions

In this paper, we have analyzed information systems for human resource management and selection criteria for complex socio-technical systems. A model of information system formation for its implementation in security –

oriented systems for automation and optimization of personnel processes for human resources management has been developed. A module for selection of candidates for project teams of security-oriented systems based on the index method for further formation of the project team has been introduced into the information system. A model for testing new information systems, as well as system integration with databases that improve the efficiency of process management at all levels of the life cycle of employees and the organization.

References

1. Bushuyev, S. D. (2012), "Conceptual model of project knowledge management".
2. Bushuyev, S. D. (2010), "Project management: basics of professional knowledge and system of assessment of competence of project managers", Kyiv, IRIDUM, 208 p.
3. Chumachenko, I. V., Dotsenko, N. V., Sabadosh, L. Yu. (2015), "Methods of forming human resources of multiproject teams and programs" ["Metody formuvannya liudskymy resursamy multyproektnykh komand ta prohram"], Monograph, 202 p.
4. Tesla, Yu. M., Biloshitsky, A. A., Tesla, N. Yu. (2010), Information technology of project management on the basis of ERPP (Enterprise resources planning in project) and APE (Administrated projects of the enterprise) systems, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, P. 1–20.
5. Mikhnova, A., Mikhnov, D., Chyrkova, K. (2019), "Method for evaluating the efficiency of upgrading specialized information systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 69–76. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.069>
6. Leli, Yu. G. (2015), "Analysis of existing automated personnel management systems at domestic enterprises", *State and regions. Series, Economics and Entrepreneurship*, No. 2, P. 49–52.
7. Gogot, M. M., Chuprina, M. O. (2017), "The use of information systems in personnel management" ["Vykorystannya informatsiynykh system v upravlinni personalom"], *Current issues of economics and science: Collection of scientific works of the Faculty of Management KPI. I. Sikorsky*, No. 11, P. 3–7.
8. Golovan, D. V. (2013), "Application of modern automated personnel management systems at the enterprise" ["Zastosuvannya suchasnykh avtomatyzovanykh system upravlinnya personalom na pidpryemstvi"], *Economics and management of machine-building enterprises: problems of theory and practice*, No. 1 (21), P. 2–7.
9. Lysenko, D. E. (2009), "Models and methods of forming a project team using precedent theory" ["Modeli ta metody formuvannya komandy proektu z vykorystanniam teorii pretsedentiv"], abstract, Kharkiv, P. 6–15.
10. Okhrimenko, V. M., Voronkova, T. B. (2006), "Information systems and technologies at enterprises" ["Informatsiini systemy i tekhnolohii na pidpryemstvakh"], *Lecture notes (for students and students of FEF and FE specialty "Economics of Enterprise"*, Kharkiv, KNAMG, 185 p.
11. Zachko, O., Kobylykin, D., Kovalchuk, O. (2019), "Models of project teams' formation in a safety-oriented system", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 85–91. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.085>

12. Zachko, O. B. (2019), Safety logical bases of management of information systems and projects in civil protection, Monograph, Lviv, Publisher LSULS, 325 p.
13. Makarova, M. V., Ruchka, T. I. (2014), "Introduction of personnel management information systems in the activity of an insurance company" ["Zaprovadzhennya informatsiynykh system upravlinnya personalom v diyal'nosti strakhovoyi kompaniyi"], *Scientific works of DonNTU. Series: Economic*, No. 4, P. 2–8.
14. Johnson, R. D., Gueetal, H. G. (2011), "Transforming HR Through Technology. The Use of E-HR and HRIS in Organizations", *Research report nonprofit affiliate of the Society for Human Resource Management (SHRM practice guidelines series)*, P. 11–36, available at : www.shrm.org/foundation
15. Dorel Dusmanescu, Aleksandra Bradic-Martinovic (2011), "The Role of Labour Markets and Human Capital in the Unstable Environment. The role of information systems in human resource management", *Research monograph*, Chapter 2, P. 25–45.
16. Daniel Mueller, Stefan Strohmeier, Christian Gasper (2010), "HRIS Design Characteristics: Towards a General Research Framework", *Proceedings of the Third European Academic Workshop on electronic Human Resource Management, Bamberg, Germany, May 20-21, 2010*, Vol. 570, P. 250–267.
17. Marie Christine M. Banaria, Erica Joi W. Ang, Wardylene P. Majan, Giuseppe Ng. (2018), "Developing a Human Resource Information System through Hybrid Software Engineering Model", *University of Asia and the Pacific, Conference: Make SENs Research Colloquium, April 2018*, P. 2–7, available at : <https://www.researchgate.net/publication/327061977>
18. Barkha Gupta (2013), *Journal of Business and Management (IOSR-JBM)*, Vol. 13, Issue 6, P. 41–46
19. Md Golam Rabiul Alam, Abdul Kadar Muhammad Masum, Loo-See Beh, Choong Seon Hong (2016), "Critical Factors Influencing Decision to Adopt Human Resource Information System (HRIS) in Hospitals", *PLoS ONE*, No. 11 (8). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160366>
20. Hilikka Poutanen, Vesa Puhakka (2007), Developing the Initial Framework of HRIS", *Proceedings of the 1st International Workshop on Human Resource Information Systems*, P. 45–54. DOI: 10.5220/0002415200450054
21. Sanjay Mohapatra (2009), "Framework for HRIS Implementation in Non-IT Sector", *Journal of Convergence Information Technology*, Vol. 4, No. 4.
22. Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) (2017), *Sixth Edition. Project Management Institute. Publications.*
23. *P2M A Guidebook of Project & Program Management for Enterprise Innovation* (2015), available at : <http://www.pmaj.or.jp/ENG/>

Received 28.05.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Зачко Олег Богданович – доктор технічних наук, професор, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, професор кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту, Львів, Україна; email: zachko@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3208-9826>.

Зачко Олег Богданович – доктор технических наук, профессор, Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности, профессор кафедры права и менеджмента в сфере гражданской защиты, Львов, Украина.

Zachko Oleh – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Lviv State University of Life Safety, Professor of the Department of Law and Management in the Field of Civil Protection, Lviv, Ukraine.

Кобилкін Дмитро Сергійович – кандидат технічних наук, доцент, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, доцент кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт, Львів, Україна; email: dmytrokobylkin@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2848-3572>.

Кобылкин Дмитрий Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности, доцент кафедры пожарной тактики и аварийно-спасательных работ, Львов, Украина.

Kobylkin Dmytro – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Lviv State University of Life Safety, Associate Professor of the Department of Fire Tactics and Rescue Operations, Lviv, Ukraine.

Ковальчук Олег Ігорович – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ад'юнкт кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту, Львів, Україна; email: Justdoitolejka@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6584-0746>.

Ковальчук Олег Ігорович – Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности, адъюнкт кафедры права и менеджмента в сфере гражданской защиты, Львов, Украина.

Kovalchuk Oleh – Lviv State University of Life Safety, Adjunct of the Department of Law and Management in the field of civil protection, Lviv, Ukraine.

Марков В'ячеслав Валерійович – кандидат юридичних наук, старший науковий співробітник, Харківський національний університет внутрішніх справ, декан, Харків, Україна; email: cyber_hnuvs@i.ua; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2024-657X>.

Марков Вячеслав Валерьевич – кандидат юридических наук, старший научный сотрудник, Харьковский национальный университет внутренних дел, декан, Харьков, Украина.

Markov Viacheslav – PhD (Juridical Sciences), Senior Researcher, National University of Internal Affairs, Dean, Kharkiv, Ukraine.

МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПРОЄКТНИХ КОМАНД В БЕЗПЕКО-ОРІЄНТОВАНІЙ СИСТЕМІ

Предметом дослідження є інформаційна система управління персоналом. Процеси проектування інфраструктури моделі фреймворку складних соціотехнічних систем з управління проєктами та програмами менеджменту людських ресурсів, формування бази даних членів проєктних БОС команд та їх оцінки використовуючи індексний метод для оптимізації процесів відбору членів проєктних команд в безпеко-орієнтованій системі. **Мета** роботи: розроблення моделі автоматизованої інформаційної системи управління персоналом для впровадження в проєктах безпеко-орієнтованої системи з використанням індексного методу оцінки членів команд. Нові моделі слід проектувати з особливостями складної соціотехнічної системи та послідовністю етапів впровадження і адаптації в проєктному середовищі. Дана модель повинна бути не дорогою для впровадження і враховувати процеси життєвого циклу організації починаючи з відбору персоналу до їх управління. **Завдання:** моделюється інформаційна система управління людським ресурсом в проєктах безпеко-орієнтованої системи. Комплекс програмно-технічних, телекомунікативних та організаційних засобів, необхідних безпеко-орієнтованій організації для функціонування й взаємодії комунікативно-інформаційних потоків. Розробляється автоматизація процесів відбору та формування проєктних команд в складних соціотехнічних організаціях завдяки індексній оцінці кандидатів. Використовуються такі **методи:** управління людськими ресурсами з використанням автоматизованих HRM систем, експертні інформаційні системи та індексні числові показники. Отримано наступні **результати:** розроблено модель інформаційної експертної системи та описано процес накопичення знань завдяки програмному забезпеченню, запропоновано індексний метод на прикладі військових формувань у безпеко-орієнтованих системах. **Висновки:** розроблено узагальнену модель-схему експертної інформаційної системи для відбору кадрів у безпеко-орієнтованій системі на основі індексного методу.

Ключові слова: інформаційна система; безпеко-орієнтована система; індексний метод; управління людськими ресурсами; база даних; проєктні команди.

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОЕКТНЫХ КОМАНД В БЕЗОПАСНОСТИ-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ

Предметом исследования является информационная система управления персоналом. Процессы проектирования инфраструктуры модели фреймворка сложных социотехнических систем по управлению проектами и программами менеджмента человеческих ресурсов, формирование базы данных членов проектных БОС команд и их оценки используя индексный метод для оптимизации процессов отбора членов проектных команд в безопасности-ориентированной системе. **Цель** работы: разработка модели автоматизированной информационной системы управления персоналом для внедрения в проектах безопасность-ориентированной системы с использованием индексного метода оценки членов команд. Новые модели следует проектировать с особенностями сложной социотехнической системы и последовательностью этапов внедрения и адаптации в проектной среде. Данная модель должна быть не дорогой для внедрения и учитывать процессы жизненного цикла организации начиная с отбора персонала к их управлению. **Задачи:** моделируется информационная система управления человеческим ресурсом в проектах безопасность-ориентированной системы. Комплекс программно-технических, телекоммуникативной и организационных средств, необходимых безопасность-ориентированной организации для функционирования и взаимодействия коммуникативно-информационных потоков. Используются такие **методы:** управление человеческими ресурсами с использованием автоматизированных HRM систем, экспертные информационные системы и индексные числовые показатели. Получены следующие результаты: разработана модель информационной экспертной системы и описан процесс накопления знаний благодаря программному обеспечению, предложено индексный метод на примере военных формирований в безопасности-ориентированных системах. **Выводы:** разработана обобщенная модель-схема экспертной информационной системы для отбора кадров в безопасности ориентированные системы на основе индексного метода.

Ключевые слова: информационная система; безопасность-ориентированная система; индексный метод; управления человеческими ресурсами; база данных; проектные команды.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Зачко О. Б., Кобылкін Д. С., Ковальчук О. І., Марков В. В. Модель формування інформаційної системи проєктних команд в безпеко-орієнтованій системі. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 49–56. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.049>.

Zachko, O., Kobylkin, D., Kovalchuk, O., Markov, V. (2020), "Model for forming an information system of project teams in a security-oriented system", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 49–56. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.049>.

M. MOZHAIEV, O. MELASHCHENKO, V. ROH, M. USATENKO

MEANS OF IMPROVING THE QUALITY OF SERVICE OF THE COMPUTER NETWORK OF THE FORENSIC INFORMATION SYSTEM

The **relevance** of research. In modern forensic practice, computer networks (CN) are an integral part of computer-technical examination, therefore, ensuring their normal functioning becomes a vitally important task. In this regard, the theory of the construction, modification and operation of digital telecommunication systems raises a fairly general problem of digital signal processing, network synchronization and its stability. A solution to this problem was devoted to research, which analyzed the characteristics of the stability of the network and proposed methods for measuring the physical parameters that determine it. Many of the studies conducted were based on the use of frequency measurements in communication channels of computer networks for transmitting information. Acousto-optic spectrum analyzers (AOSAs) are widely used in forensic information system networks improving the QoS of forensic computer networks. The **subject** of the research: resolution of acousto-optical spectrum analyzers. The **purpose** of the research to improve the quality of diagnostics of parameters of computer information transmission networks based on the use of the developed signal processing technique in acousto-optic spectrum analyzers, which allows increasing the resolution of AOSA by increasing the frequency resolution of two non-simultaneous long-duration radio pulses. The **results** of the research. The research presents analysis of the influence of the frequency parameters of the computer network on the implementation of the relevant requirements for quality of service. Studies have been carried out on possible ways to increase the resolution of AOAC in frequency. The nonlinear characteristics of AOSA were studied, which made it possible to modernize methods for increasing the frequency resolution. The classical method of processing radar signals is used, which allows determining the delay time of arrival of a sufficiently long pulse with an accuracy significantly exceeding the pulse size. When analyzing the operation of AOSA, it is taken into account that the signal photoelectron flux in the acousto-optical spectrum analyzer is known to be described by the Poisson distribution. But one of the main properties of random variables distributed according to Poisson's law is the lack of cross-correlation of the components of the Poisson stream. This assumption can significantly increase the frequency resolution of AOSA. **Conclusions.** The research ascertains analytical relationship for the dispersion of the signal frequency measurement. The research proposes a technique for processing signals in AOSA, allowing to increase the resolution of AOSA by increasing the frequency resolution of two non-simultaneous radio pulses of long duration.

Keywords: computer system; telecommunication network; acousto-optical spectrum analyzer; quality of service (QoS) indicators of computer networks.

Relevance of the research

Currently, decision support information systems and control information systems are used in various areas of human society: industry, business, science and education, finance and infrastructure projects, construction and law enforcement. Such information systems also occupy an important place in the system of forensic examinations, the operation of which can significantly improve the quality of the examinations performed, reduce the influence of the human factor on the adoption of expert decisions, and significantly reduce the time required for the examination.

A forensic activity of various forms and contents is impossible without the involvement of information resources, by which the legislator understands individual documents and individual arrays of documents, documents and arrays of documents in information systems (libraries, archives, funds, data banks, other information systems). Information support of forensic examination should be a process that is defined by the legislator as the process of collecting, processing, accumulating, storing, searching and disseminating information. Thus, the information support of forensics is necessary for solving forensic problems.

For the exchange of information in information systems of forensic science, both local computer networks are used, for example, in the implementation of forensic registration, and the global Internet. Many forensic institutions, both state and non-state, have their own sites where you can get very useful information.

One of the most important subsystems of this system is the telecommunication information transmission system. The telecommunication system is designed to reliably transfer the data and information necessary in the study of primary examination materials, and also plays an important role in the decision-making process on examination issues. Therefore, the telecommunication system has very stringent requirements, and it must meet the relevant restrictions. Only the fulfillment of these conditions will allow the entire information system to solve the tasks assigned to it.

In modern forensic practice, computer networks (CN) are an integral part of computer-technical expertise, therefore, ensuring their normal functioning becomes an extremely important task. This forces users to question the effectiveness of information control, protection and transmission systems.

Computer-technical and telecommunication forensics have features that are difficult to document by means of the classical preservation of official information. This situation is due to the rapid growth in the volume and variety of storage devices in the world market that can be used to store digital information by various users. Hundreds of thousands of possible types of research objects can be counted only in the expert specialty "Research in computer hardware and software products", most of which will require an individual approach, because each of the objects is unique in terms of manufacturing and use. Each of these research objects has individual features that must be considered when conducting expert research. So, two versions of the same

software product can have different individual features and, accordingly, create different artifacts. Increasingly, forensic experts need to get super-fast access to information – compiled and verified. The expert spends considerable time searching for print and electronic sources of information, which significantly increases the time for performing examinations.

Based on the foregoing, specialists in the sector of computer-technical and telecommunication research of the Kharkov Research Institute of Forensics named after Em. Prof. M.S. Bokarius developed the forensic "Automated system for the accumulation of empirical data on the practice of computer-technical expertise". The developed system requires a dynamic, fast-filling, easy-to-operate and easily accessible system, capable of storing the above information in large volumes and organizing access to it. Given the nature of the information, the access time to it should be minimal, which can be done using high-speed Internet.

Formulation of the problem

The widespread use of digital systems and information transfer technologies, in addition to a significant number of new opportunities that open up using new communication principles, has created a large number of problems caused by the peculiarities of digital signal transmission. This also applies to the activities of the expert community, which should monitor the current state of communication channels, the possibility of unauthorized access to them, as well as information transmitted through these channels. In this regard, the theory of the construction, modification and operation of digital telecommunication systems raises a fairly general problem of digital signal processing, network synchronization and its stability.

Numerous studies have been devoted to solving this complex and multifaceted problem, which analyzed the characteristics of the stability of the functioning of the network and proposed methods for measuring the physical parameters that determine it. Many of the studies conducted were based on the use of frequency measurements in communication channels for the analysis of processes in computer data transmission networks. Indeed, increasing the accuracy of measuring the frequency of the transmitter and receiver in the communication channel will reduce information loss and increase the speed and reliability of data transmission, which will significantly increase the quality of service (QoS) of computer networks.

Currently, there are several approaches to the method of measuring the frequency of the studied signal. Despite the fact that today, acousto-optical methods compete with digital technology, the pace of development of which allows one to efficiently solve a number of information processing problems, there are problems in which digital devices are inferior to acousto-optical. Digital technology, unlike an acousto-optical device, is not able to provide a wide instantaneous band of analysis of radio signals with an acceptable frequency resolution.

Due to the high value of the simultaneously analyzed frequency band, the resolution in frequency and signal arrival time, acousto-optical analyzers are widely used in electronic warfare systems, radar systems, for spectral and correlation signal analysis and other information processing tasks that require high speed of mathematical transformations.

Acousto-optical spectrum analyzers (AOSA) can also be used in information transmission networks, including in the networks of the forensic information system. The use of these devices will improve the QoS performance of computer networks of the forensic system. But in view of the rapid increase in the number of users of the radio-frequency space and the limited frequency resource, according to [1], the question arises of modernizing the existing systems of spectral analysis. And a special place among the spectral analysis technique is given to acousto-optical spectrum analyzers. Existing AOSAs have a fairly high frequency resolution, but still they have not reached their theoretical limits.

Using the advantages of non-search spectral analysis and expanding the band of simultaneously analyzed frequencies in acousto-optical spectrum analyzers necessitates a deeper analysis of their resolution.

Thus, improving the quality of QoS indicators of computer networks of a forensic system by increasing the resolution of an acousto-optical spectrum analyzer is an urgent research task.

Literature analysis

The study of factors affecting the QoS of computer networks has received much attention [4-21]. Studies of the influence of the bandwidth of data transmission channels were carried out in [4-6]. Analysis [7, 8] of the influence of the architecture of computer systems and computer networks was carried out in [4, 5, 7, 8]. The papers [9-14] are devoted to the analysis of packet queues and the development of an integrated approach for diagnosing QoS of computer systems and networks. In addition, there is a separate question about the relationship of QoS indicators and the fulfillment of the requirements for the transactions of a computer system [15–20]. In [21], the basic parameters of the basic telecommunication network that affect the quality of transaction execution of a computer system are identified. In particular, it was shown that when choosing special platforms with centralized control (convergent and hyperconverged), the synchronization of a computer system plays an important role. To ensure the required level of synchronization, it is necessary to control the stability of the functioning of the generators of a computer system. In [23], a method was developed for the on-line calculation of the jitter of a telecommunication network based on a method for increasing the resolution of acousto-optical spectrum analyzers, which allows dynamic reconfiguration of network parameters. In [28], a method was developed for diagnosing synchronization disturbances in the telecommunication network of a computer system of critical application by

increasing the resolution of an acousto-optical spectrum analyzer.

The **aim** of the article is to improve the quality of diagnostics of parameters of computer information transmission networks based on the use of the developed signal processing technique in acousto-optic spectrum analyzers, which can increase the resolution of AOSA by increasing the frequency resolution of two non-simultaneous long-duration radio pulses.

Main part

Quite relevant is the question of improving the tactical and technical characteristics of radio frequency analysis tools. One of the promising classes of radio frequency monitoring tools are acousto-optic spectrum analyzers.

A fairly large number of papers have been devoted to optimizing the operation of acousto-optical spectrum analyzers.

So, in [29], the possibility of increasing the accuracy of measuring the average frequency of the signal spectrum in acousto-optic spectrum analyzers with a spatially non-invariant hardware function is analyzed.

The conditions for the formation of an optimal estimate of the parameters of optical signals during their acousto-optical conversion are considered in [30].

In [31], the problem of finding additional signal processing to compensate for both a nonlinear dependence of the acousto-optic conversion efficiency and a decrease in the amplitude of the spectral components is considered.

The possibility of reducing the time for obtaining a spectrum estimate is considered in [32]. The authors proposed methods for the formation of quadrature components, which can reduce the time to obtain an estimate of the spectrum in interference acousto-optic spectrum analyzers, and also, if necessary, simplify their implementation.

Among the advantages of acousto-optical devices in comparison with purely electronic analogues, the authors of [33] distinguish such as simplicity, smaller dimensions, power consumption and cost. Moreover, their disadvantages include a relatively low dynamic range associated with the nonlinearity of AO interaction.

Basic relationships and formulations

We assume that two pulses of the same duration τ_i , the first in the time interval t_1 and t_2 , and the second in the interval t_3 and t_4 , arrive at the radio engineering complex, which includes an acousto-optical spectrum analyzer, and $\tau_i \gg \frac{D_{Lz}}{V_{zv}}$, i.e. pulses of long duration, with filling frequencies ω_1 and ω_2 , such that $\omega_1 - \omega_2 \ll \omega_{1,2}$ (fig. 1).

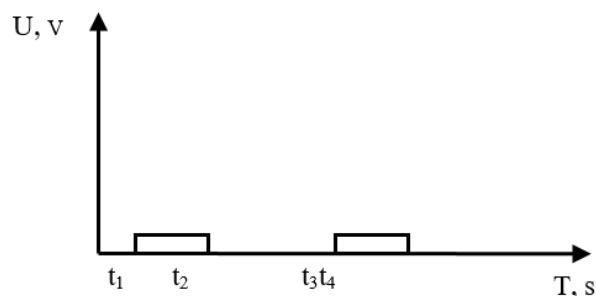


Fig. 1. Input signal (two long pulses with close carrier frequencies)

At the output of the acousto-optic spectrum analyzer, the spectra of the analyzed pulses will have the form shown in fig. 2 (solid lines show the spectra of each pulse individually, and dashed lines show the resulting spectrum). It is clear that the accuracy of the frequency measurement will be determined by a value $\delta\omega_{mes}$ that depends on the parameters of the acousto-optical spectrum analyzer. This dependence can be estimated as

$$\delta\omega_{mes} = 2 \frac{\pi}{a},$$

where a is the parameter characterizing the

diffraction characteristics of the spectrum analyzer. Thus, it is clear that two pulses arriving at different time intervals with close values in frequency $\omega_1 - \omega_2 < \delta\omega_{mes}$ cannot be distinguished based on the Rayleigh criterion.

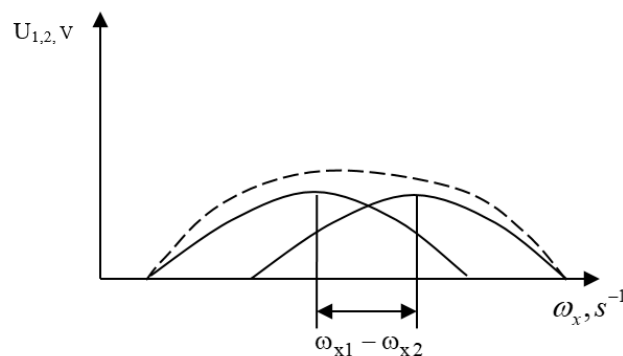


Fig. 2. The output signals of the pulses with a small detuning frequency

But, as noted above, such pulses often need to be distinguished, i.e., to measure the frequency with an accuracy significantly higher than the accuracy of measurements by traditional methods.

To solve this problem, we use the methodology for processing radar signals [34], which in radar allows us to determine the delay time of the arrival of a sufficiently long pulse with an accuracy significantly exceeding the pulse size. It is based on the fact that when integrating a pulse signal over a strobe of alternating sign and further summing, it is possible to obtain the value of the mathematical expectation of the time of arrival of the signal with dispersion, significantly shorter than the pulse duration.

In this paper, this approach will be extended to the measurement of the spatial spectrum in acousto-optical spectrum analyzers.

Fig. 3 shows the simplest case when the strobe has the form of two step functions: positive and negative. The axes ω_x, s^{-1} and T, s are essentially identical, since the count of the flow of photoelectrons is, generally speaking, a function of time. The structural diagram of the device in which the proposed technique is implemented is shown in fig. 4.

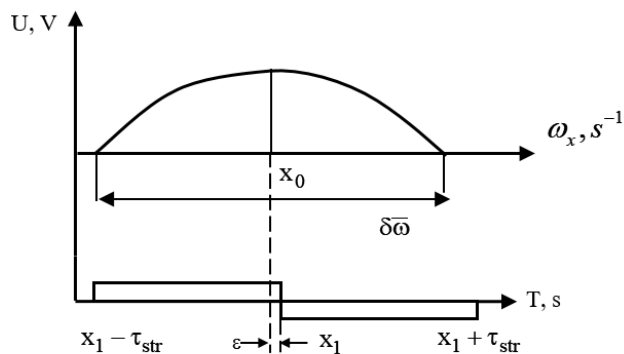


Fig. 3. Gating of spectrum distribution by two step pulses

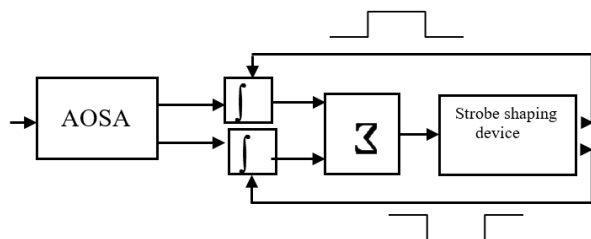


Fig. 4. Block diagram of a spectral information processing device for increasing the resolution of an acousto-optic spectrum analyzer

As can be seen, in figs. 3 and 4, the processing of the radar signal reduces to integrating the signal over a strobe of variable sign and then the integral over the entire strobe can be replaced by the sum of two integrals

$$I = I_1 + I_2,$$

where the integrals I_1 and I_2 can be represented as:

$$I_1 = \int_{x_1 - \tau_{str}}^{x_1} \text{rect}\left(x_1 - \frac{\tau_{str}}{2}\right) \hat{n}(x) dx; \quad (1)$$

$$I_2 = - \int_{x_1}^{x_1 + \tau_{str}} \text{rect}\left(x_1 + \frac{\tau_{str}}{2}\right) \hat{n}(x) dx, \quad (2)$$

where $\text{rect}(x)$ is a rectangular impulse function; $\hat{n}(x) = n_s(x) + n_n(x)$ is the density of the flux distribution of photoelectrons; n_s is the distribution density of the signal photoelectron flux; n_n is the distribution density of the interference photoelectron flux.

For average photoelectron flux, the following relation is valid:

$$\overline{\hat{n}(x)} = N_s + N_i, \quad (3)$$

where N_s and N_i – the average values of the count rate for the frequency of signal and interference photoelectrons, respectively.

As it is known [35], the distribution density of the signal photoelectron flux in acousto-optic spectrum analyzers obeys this distribution law:

$$n_s(x) \cong N_{s0} \frac{\sin^2 a(x-x_0)}{[a(x-x_0)]^2}, \quad (4)$$

and the average value of interfering photoelectrons is constant over the entire frequency measurement interval.

Integrals I_1 and I_2 in turn can be represented as the sum of two integrals each, respectively:

$I_1 = A_1 + B_1$; $I_2 = A_2 + B_2$, where A_i are integrals describing the behavior of the signal component of the photoelectron flux, and B_i – interfering:

$$A_i = \int_{\tau_{str}} n_n(x) dx, \quad (5)$$

$$B_i = \int_{\tau_{str}} n_n(x) dx, \quad (6)$$

where the designation $\int_{\tau_{str}} n_n(x) dx$ corresponds to the integration of the photoelectron flux over the strobe.

Then we can compose an expression for the function that describes the spectrum processing as $|I_2 - I_1| = (x_1 - x_0)N_{s0}$. We introduce the value of the deviation x_1 from x_0 as ε . The processing algorithm can be represented as

$$A_1 - A_2 + B_1 - B_2 = 2\varepsilon N_{s0}. \quad (7)$$

Let the expression ε go to zero, then $x_1 \rightarrow x_0$, i.e. the boundary of the strobe will correspond to the mathematical expectation of the spectral line. Then the value of the average deviation ε in accordance with (7) will take the form

$$\varepsilon = \frac{\overline{A_1 - A_2 + B_1 - B_2}}{2N_{s0}} = 0. \quad (8)$$

Let us analyze the dispersion of the deviation x_1 from x_0 at the conditions of the proposed processing of spectral information. It's well known that $D[\varepsilon] = D|I_2 - I_1| = D[I_1] + D[I_2]$ or, given the ratio (6, 7):

$$D[\varepsilon] = D\left[\frac{A_1}{2N_{s0}}\right] + D\left[\frac{A_2}{2N_{s0}}\right] + D\left[\frac{B_1}{2N_{s0}}\right] + D\left[\frac{B_2}{2N_{s0}}\right]. \quad (9)$$

If we assume that the form of the spatial spectrum is symmetric, then to simplify the analysis, we can assume that $D[A_1] = D[A_2]$ and $D[B_1] = D[B_2]$.

Then the expression for dispersion ε can be rewritten as

$$D[\varepsilon] = 2D\left[\frac{A_1}{2N_{s0}}\right] + 2D\left[\frac{B_1}{2N_{s0}}\right]. \quad (10)$$

To find the dispersion of the quantity ε , we analyze each of the terms of expression (10). Given that constant coefficients can be taken out from under the sign of dispersion, raising them to the second power, we represent the first term in the form (10):

$$D\left[\frac{A_1}{2N_{s0}}\right] = \frac{1}{4N_{s0}^2} D[A_1] = \frac{1}{4N_{s0}^2} D \int_{x_1-\tau_{str}}^{x_1} n_s(x) dx. \quad (11)$$

The expression (10) includes the dispersion of the integral of the flow signal photoelectrons for the gate. For further analysis of expression (11) it should be noted that the flow of signal photoelectrons in acoustooptic spectrum analyzer, as is known, is described by the Poisson distribution. But one of the main properties of random variables distributed according to the Poisson law is the lack of correlation with compound Poisson stream, i.e. $n_s(x)$, each value of the implementation is included in the integral (11) can be considered independent from the previous and subsequent. Given the above, the integral can be represented by an infinite sum of mutually independent components of the flow signal photoelectrons. Due to the fact that the dispersion of the sum, though infinite, is equal to the sum of the dispersions, then the dispersion can be made under the integral sign

$$D\left[\frac{A_1}{2N_{s0}}\right] = \frac{1}{4N_{s0}^2} \int_{x_1-\tau_{str}}^{x_1} D[n_s(x)] dx. \quad (12)$$

We substitute expression (4) in (12) and obtain the expression

$$D\left[\frac{A_1}{2N_{s0}}\right] = \frac{1}{4N_{s0}^2} \int_{x_1-\tau_{str}}^{x_1} D\left[n_s(x) \frac{\sin^2 a(x-x_0)}{[a(x-x_0)]^2}\right] dx. \quad (13)$$

The ratio $\frac{\sin x}{x}$ in expression (13) is constant, i.e. not changing from implementation to implementation and therefore it can also be taken out of the sign of dispersion

$$D\left[\frac{A_1}{2N_{s0}}\right] = \frac{1}{4N_{s0}^2} \int_{x_1-\tau_{str}}^{x_1} \frac{\sin^4 a(x-x_0)}{[a(x-x_0)]^4} D[n(x)] dx. \quad (14)$$

Since the Poisson distribution is characterized by the equality of mathematical expectation and dispersion, the expression for dispersion (14) can be finally represented in the form:

$$D\left[\frac{A_1}{2N_{s0}}\right] = \frac{1}{4N_{s0}^2} \int_{x_1-\tau_{str}}^{x_1} \frac{\sin^4 [a(x-x_0)]}{[a(x-x_0)]^4} N_{s0} dx, \quad (15)$$

The resulting integral is easily reduced to a table one, and as a result we get

$$D\left[\frac{A_1}{2N_{s0}}\right] = \frac{\pi}{3aN_{s0}}. \quad (16)$$

Using the relation between a and $\delta\omega_{mes}$, expression (16) can be represented as

$$D\left[\frac{A_1}{2N_{s0}}\right] = \frac{\delta\omega_{mes}}{6N_{s0}}. \quad (17)$$

When multiplying the numerator and denominator in the expression (17) and taking into account the equality of the dispersions along the symmetric gate for the dispersion of the signal component, we obtain the corresponding expression

$$D\left[\frac{A}{2N_{s0}}\right] = \frac{\delta\omega_{mes}^2}{3W_s}, \quad (18)$$

where W_s is a measured optical signal energy (W_s is a dimensionless quantity, since in our case the energy of an optical signal means the total number of photons).

After similar reasoning, we can obtain the expression for the dispersion ε due to the interference component of the photoelectron flux:

$$D\left[\frac{B}{2N_{s0}}\right] = \frac{N_n}{N_{s0}} \cdot \frac{\delta\omega_{mes}^2}{W_s}. \quad (19)$$

Thus, the dispersion of the signal frequency measurement takes the form

$$D[\varepsilon] = \frac{\delta\omega_{mes}^2}{W_s} \left(\frac{1}{3} + \frac{N_n}{N_s} \right). \quad (20)$$

It can be seen from (20) that the dispersion of the signal frequency measurement is proportional to the width of the measured spectrum and inversely proportional to the signal energy. But at the same time, it can be seen from (20) that even in the absence of an interfering component, the dispersion of the signal frequency measurement will be nonzero due to the quantum nature of the processes occurring in the acousto-optic spectrum analyzer. Obviously, by increasing the energy of the optical flow, one can achieve the ratio: $D[\varepsilon] \ll \delta\omega_{mes}^2$, which will allow a much more accurate measurement of the frequency of a radio pulse of long duration.

Thus, as a result of using the proposed signal processing technique in acousto-optic spectrum analyzers, their resolution can be significantly improved compared to methods based on the use of the Rayleigh criterion.

Conclusions

The article analyzes the main reasons that affect the quality of service (QoS) indicators of computer networks of the forensic system. Features of using AOSA for testing communication channels of a computer network of a ship forensic information system are considered.

The article also proposes a technique for processing signals in an acousto-optic spectrum analyzer. This

technique makes it possible to increase the resolution of AOSA due to the fact that when integrating a pulse signal over a variable-sign strobe and further summing it is possible to obtain the value of the mathematical expectation of the arrival time of a signal with dispersion much shorter than the pulse duration. In the proposed case, this technique will be extended to the measurement of the spatial spectrum in acousto-optical spectrum analyzers. Taking into account the fact that the signal photoelectron flux in the acousto-optical spectrum analyzer is described by the Poisson distribution, the accuracy of the frequency measurement is determined by the ratio $D[\varepsilon] \ll \delta\omega_{mes}^2$, which can significantly increase the frequency measurement accuracy in the CN

information transmission channel, which in turn provides a significant increase in the QoS of computer networks of the judicial system expertise

Existing hardware limitations of the resolution of acousto-optical spectrum analyzers based on the Rayleigh criterion are not limiting. Using a variety of signal processing techniques, it is possible to significantly increase the frequency resolution of acousto-optical spectrum analyzers.

Further research should be directed to the development of optimal algorithms for measuring the frequency of an optical signal in acousto-optical spectrum analyzers.

References

1. Strelkov, A., Strelkova, T., Zhilin, E., Marchenko, V. (2005), "Spatial resolution of optical signals of an acousto-optical transducer in the analysis of spectra of radio signals at close frequencies" ["Prostranstvennoe razreshenie opticheskikh signalov akustoopticheskogo preobrazovatelya pri analize spektrov radiosignalov na blizkikh chastotah"], *Information Processing Systems*, No. 5, P. 144–151, available at : http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2005_5_25
2. Merlac, V., Smatkov, S., Kuchuk, N., Nechausov, A. (2018), "Resources Distribution Method of University e-learning on the Hyperconvergent platform", *Conf. Proc. of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Service and Technologies, DESSERT'2018, Ukraine, Kyiv, May 24-27, 2018*, P. 136–140. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409114>
3. Kuchuk, N., Artiukh, R. and Nechausov, A. (2017), "Method of building the semantic network of distributed search in elearning", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (2), P. 62–69. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.062>
4. Kuchuk, G. (2007), "Traffic management of multiservice distributed telecommunication network" ["Upravlinnya trafikom mul'tyservisnoyi rozpodilenoymi telekomunikatsionoyi merezhi"], *Control, navigation and communication systems*, Kyiv : TsNII NiU, Issue 2, P. 18–27.
5. Svyrydov, A., Kovalenko, A., Kuchuk, H. (2018), "The pass-through capacity redevelopment method of net critical section based on improvement on/off models of traffic", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 2, P. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
6. Kuchuk, G., Ruban, I., Davikoza, O. (2013), "Conceptual approach to synthesis of information and telecommunication network structure" ["Kontseptual'nyy pidkhdid do syntezu struktury informatsiyno-telekomunikatsionoyi merezhi"], *Systems of information processing: collection of scientific works*, No. 7 (114), P. 106–112.
7. Lemeshko, O., Yevdokymenko, M., Yeremenko, O. (2019), "Model of data traffic QoS fast rerouting in infocommunication networks", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (9), P. 127–134. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.9.127>
8. Kosenko, V. (2017), "Mathematical model of optimal distribution of applied problems of safety-critical systems over the nodes of the information and telecommunication network", *Advanced Information Systems*, Vol. 1, No. 2, P. 4–9. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.01>
9. Kovalenko, A., Kuchuk, G. (2018), "Methods of synthesis of information and the technical structure of structural systems governs a critical situation" ["Metody sinteza informacii i tekhnicheskoy struktury strukturnykh sistem upravlyayet kriticheskoy situacii"], *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 1, P. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
10. Zykov, I., Kuchuk, N., Shmatkov, S. (2018), "Architecture synthesis of the computer system of transaction control e-learning", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 3, P. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>
11. Gelenbe, E., Pujolle, G. (2010), *Analysis and synthesis of computer systems* (2nd Edition), Advances in Computer Science and Engineering : Texts, Vol. 4, 309 p.
12. Kuchuk, G., Kovalenko, A., Lukov-Chuiko, N. (2017), "A method for minimizing the average packet delay in virtual cloud support network connections" ["Metod minimizatsiyi seredn'oyi zatrymky paketiv u virtual'nykh z'yednannykh merezhi pidtrymky khmarnoho servisu"], *Control, navigation and communication systems*, No. 2 (42), P. 117–120.
13. Kuchuk, G., Kharchenko, V., Kovalenko, A., Ruchkov, E. (2016), "Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems", *East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655>
14. Mozhaev, O., Kuchuk, H., Kuchuk, N., Mozhaev, M., Lohvynenco, M. (2017), "Multiservice network security metric", *IEEE Advanced information and communication technologies-2017, Proc. of the 2th Int. Conf. Lviv, 2017*, P. 133–136.
15. Kosenko, V. (2017), "Principles and structure of the methodology of risk-adaptive management of parameters of information and telecommunication networks of critical application systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (1), P. 46–52. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.046>
16. Kuchuk, G., Kovalenko, A., Mozhaev, A. (2010), "An Approach to Development of Complex Metric for Multiservice Network Security Assessment", *Statistical Methods of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010. Kyiv : NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP*, P. 158–160.
17. Kliuiev, O., Mozhaev, M., Urovetskiy, O., Mozhaev, O., Simakova-Yefremian, E. (2019), "Method of forensic research on image for finding touch up on the basis of noise entropy", *2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT 2019, Proceedings*.

19. Gavrylenko, S. (2019), "Synthesis of identification measurements in the computer system of critical purpose", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (8), P. 36–43. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.8.036>
20. Filimonchuk, T., Volk, M., Risukhin, M., Olshanska, T., Kazmina, D. (2019), "The modified information technology for the distribution of resource tasks for cloud computing systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (7), P. 121–129. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.7.121>
21. Davydovskiy, Y., Reva, O., Artiukh, O., Kosenko, V. (2019), "Simulation of computer network load parameters over a given period of time", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (9), P. 72–80. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.9.072>
22. Kuchuk, G., Kovalenko, A., Komari, I., Svyrydov, A., Kharchenko, V. (2019), "Improving big data centers energy efficiency: Traffic based model and method", *Studies in Systems, Decision and Control, Springer Nature Switzerland AG*, Vol. 171, P. 161–183. DOI: http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8
23. Mozhaiev, M., Kuchuk, N., Usatenko M. (2019), "The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform", *Innovate Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 134–140. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.134>
24. American National Standard for Telecommunications (1994), "Synchronization Interface Standards for Digital Networks", ANSI Vol. 1, P. 101.
25. ITU-T Recommendation G.811, Timing requirements at the output of primary reference clocks suitable for pliesochronous operation of international digital links."
26. ITU-T Recommendation G.824, The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 1544 kbit/s hierarchies.
27. Strelkov, A., Stadnik, A., Korotkov, V. (2001), "Features of the operation of an incoherent acousto-optical spectrum analyzer at a finite recording time", *Radio engineering*, Vol. 122, P. 162–168.
28. Rudnytsky, V., Mozhaiev, M. and Kuchuk, N. (2020), "Method for the diagnostics of synchronization disturbances in the telecommunications network of a critical used computer system", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No. 1 (11), P. 172–180. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.11.172>.
29. Klyuchikov, I. (2012), "Measurement of the average frequency of signals in acousto-optic spectrum analyzers with a spatially invariant hardware function" ["Izmerenie srednej chastoty signalov v akustoopticheskikh spektroanalizatorah s prostranstvenno-invariantnoj apparatnoj funkciej"], *Instrument making*, No. 12, available at : http://openbooks.ifmo.ru/en/article/5956/izmerenie_sredney_chastoty_signalov_v_akustoopticheskikh_spektroanalizatorah_s_prostranstvenno-neinvariantnoy_apparatnoy_funkciey.html
30. Strelkov, A., Zhilin, E., Marchenko, V., Lytyuga, A. (2006), "Optimization of the process of measuring the frequency of a radio signal taking into account the type of hardware function of an acousto-optic spectrum analyzer" ["Optimizaciya processa izmereniya chastoty radiosignala s uchedom vida apparatnoj funkcii akustoopticheskogo analizatora spektra"], *Information Processing Systems*, No. 6, P. 175–183, available at : http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2006_6_28
31. Ryabkin, Yu., Karnaukh, V. (2006), "Quasi-optimal processing of short radio pulses in an acousto-optical spectrum analyzer" ["Kvazi optimalnaya obrabotka korotkih radioimpulsov v akustoopticheskom spektroanalizatore"], *Automation. Automation. Electrotechnical complexes and systems*, No. 2, P. 113–116, available at : http://nbuv.gov.ua/UJRN/aaeks_2006_2_18
32. Aronov, L., Ushakov, V. (2019), "Method for the formation of quadrature spectrum components in a homodyne acousto-optic spectrum analyzer" ["Metod formirovaniya kvadraturnykh komponent spektra v gomodinnom akustoopticheskom spektroanalizatore"], *Proceedings of Russian universities. Radio Electronics*, No. 2, available at : <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-formirovaniya-kvadraturnykh-komponent-spektra-v-gomodinnom-akustoopticheskom-spektroanalizatore> .
33. Danilov, V. (2000), "Acousto-optic spectrum analyzer. Technology and design in electronic equipment" ["Akustoopticheskij analizator spektra"], No. 5–6, P. 25–28, available at : <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/70957>
34. Levin, B. *Theoretical foundations of statistical radio engineering [Teoreticheskie osnovy statisticheskoy radiotekhniki]*, Book 2, Moscow, Soviet radio, 392 p.
35. Parygin, V., Balakovskiy, V. (1987), "Optical information processing" ["Opticheskaya obrabotka informacii"], Moscow, Publishing House of Moscow State University, 142 p.

Received 17.05.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Можасв Михайло Олександрович – кандидат технічних наук, Харківський науково-дослідний інститут судових експертиз ім. засл. проф. М. С. Бокаріуса, завідувач лабораторії комп'ютерно-технічних, телекомунікаційних досліджень та досліджень відео-, звукозапису, Харків, Україна; email: mikhail.mozhayev@hniise.gov.ua; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1566-9260>.

Можасв Михаил Александрович – кандидат технических наук, Харьковский научно-исследовательский институт судебных экспертиз им. засл. проф. Н. С. Бокариуса, заведующий лабораторией компьютерно-технических, телекоммуникационных исследований и исследований видео-, звукозаписи, Харьков, Украина.

Mozhaiev Mykhailo – PhD (Engineering Sciences), Kharkiv SRI Examinations named Dist. prof. N. S. Bokarius, Head of Laboratory on Speech and Audio Computer Engineering and Telecommunication, Kharkiv, Ukraine.

Мелашенко Оксана Петрівна – Харківський національний університет внутрішніх справ, старший викладач кафедри інформаційних технологій та кібербезпеки, Харків, Україна; email: o.p.melashenko@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4550-6879>.

Мелашенко Оксана Петровна – Харьковский национальный университет внутренних дел, старший преподаватель кафедры информационных технологий и кибербезопасности, Харьков, Украина.

Melashchenko Oksana – National University of Internal Affairs, Senior Lecturer of the Department of Information Technologies and Cybersecurity, Kharkiv, Ukraine.

Рог Вікторія Євгенівна – Харківський національний університет внутрішніх справ, старший викладач кафедри інформаційних технологій та кібербезпеки, Харків, Україна; email: vitochkarog@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7443-5125>.

Рог Виктория Евгеньевна – Харьковский национальный университет внутренних дел, старший преподаватель кафедры информационных технологий и кибербезопасности, Харьков, Украина.

Roh Viktoria – National University of Internal Affairs, Senior Lecturer of the Department of Information Technologies and Cybersecurity, Kharkiv, Ukraine.

Усатенко Максим Віталійович – Національний юридичний університет імені Ярослава Мудрого, студент інституту підготовки кадрів для органів юстиції України, Харків, Україна; email: usatenko@hniise.gov.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8480-6666>.

Усатенко Максим Витальевич – Национальный юридический университет имени Ярослава Мудрого, студент института подготовки кадров для органов юстиции Украины, Харьков, Украина.

Usatenko Maksym – Yaroslav Mudryi National Law University, Student of Institute of Training for Justice Bodies of Ukraine, Kharkiv, Ukraine.

ЗАСОБИ ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ СУДОВОЇ ЕКСПЕРТИЗИ

Актуальність дослідження. У сучасній судово-експертній практиці комп'ютерні мережі (КМ) є невід'ємною частиною комп'ютерно-технічної експертизи, тому забезпечення їх нормального функціонування стає надзвичайно важливою задачею. У цьому зв'язку в теорії побудови, модифікації й експлуатації цифрових телекомунікаційних систем виникає досить загальна проблема по цифровій обробці сигналів, синхронізації мережі і її стабільності. Розв'язку даної проблеми були присвячені дослідження, у яких аналізувалися характеристики стабільності функціонування мережі й пропонувалися методи виміру фізичних параметрів, що визначають її. Багато із проведених досліджень ґрунтувалися на використанні частотних вимірів у каналах зв'язку комп'ютерних мереж передачі інформації. Акустооптичні аналізатори спектра (АОАС) широко застосовуються в мережах інформаційної системи судової експертизи, що дозволяє підвищити показники QoS комп'ютерних мереж системи судової експертизи. **Предмет** дослідження: роздільна здатність акустооптичних аналізаторів спектра. **Метою** статті є підвищення якості діагностики параметрів комп'ютерних мереж передачі інформації на базі використання розробленої методики обробки сигналів в акустооптичних аналізаторах спектра, яка дозволяє підвищити роздільну здатність АОАС за рахунок підвищення роздільної здатності по частоті двох неодноразових радіоімпульсів великої тривалості. **Результати** дослідження. Проведений аналіз впливу частотних параметрів комп'ютерної мережі на забезпечення виконання відповідних вимог по якості обслуговування. Проведені дослідження можливих шляхів підвищення роздільної здатності АОАС по частоті. Вивчені нелінійні характеристики АОАС, що дозволяють проводити модернізацію методів підвищення роздільної здатності по частоті. Використана класична методика обробки радіолокаційних сигналів, що дозволяє визначити час запізнювання приходу досить довгого імпульсу з точністю, що значно перевищує розміри імпульсу. При аналізі роботи АОАС враховується, що потік сигнальних фотоелектронів в акустооптичному аналізаторі спектра, як відомо, описується розподілом Пуассона. Але однією з основних властивостей випадкових величин, розподілених за законом Пуассона, є відсутність взаємної кореляції складових Пуассонівського потоку. Це допущення дозволяє суттєво підвищити роздільну здатність АОАС по частоті. **Висновки.** Наведено аналітичні співвідношення для дисперсії виміру частоти сигналу. Запропонована методика обробки сигналів в АОАС, яка дозволяє підвищити роздільну здатність АОАС за рахунок підвищення роздільної здатності по частоті двох неодноразових радіоімпульсів великої тривалості.

Ключові слова: комп'ютерна система; телекомунікаційна мережа; акустооптичний аналізатор спектра; показники якості обслуговування (QoS) комп'ютерних мереж.

СРЕДСТВА УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СУДЕБНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

Актуальность исследования. В современной судебно-экспертной практике компьютерные сети (КС) являются неотъемлемой частью компьютерно-технической экспертизы, поэтому обеспечение их нормального функционирования становится чрезвычайно важной задачей. В этой связи в теории построения, модификации и эксплуатации цифровых телекоммуникационных систем возникает достаточно общая проблема по цифровой обработке сигналов, синхронизации сети и ее стабильности. Решению данной проблемы были посвящены исследования, в которых анализировались характеристики стабильности функционирования сети и предлагались методы измерения физических параметров, определяющих ее. Многие из проведенных исследований основывались на использовании частотных измерений в каналах связи компьютерных сетей передачи информации. Акустооптические анализаторы спектра (АОАС) широко применяются в сетях информационной системы судебной экспертизы, что позволяет повысить показатели QoS компьютерных сетей системы судебной экспертизы. **Предмет** исследования: разрешающая способность акустооптических анализаторов спектра. **Целью** статьи является повышение качества диагностики параметров компьютерных сетей передачи информации на базе использования разработанной методики обработки сигналов в акустооптических анализаторах спектра, которая позволяет повысить разрешающую способность АОАС за счет повышения разрешения по частоте двух одновременных радиоимпульсов большой длительности. **Результаты** исследования. Проведен анализ влияния частотных параметров компьютерной сети на обеспечение выполнения соответствующих требований по качеству обслуживания. Проведены исследования возможных путей повышения разрешающей способности АОАС по частоте. Изучены нелинейные

характеристики АОАС, позволяющие проводить модернизацию методов повышения разрешающей способности по частоте. Использована классическая методика обработки радиолокационных сигналов, позволяющая определять время запаздывания прихода достаточно длинного импульса с точностью, значительно превышающей размеры импульса. При анализе работы АОАС учитывается, что поток сигнальных фотоэлектронов в акустооптическом анализаторе спектра, как известно, описывается распределением Пуассона. Но одним из основных свойств случайных величин, распределенных по закону Пуассона, является отсутствие взаимной корреляции составных Пуассоновского потока. Это допущение позволяет существенно повысить разрешающую способность АОАС по частоте. **Выводы.** Приведены аналитические соотношения для дисперсии измерения частоты сигнала. Предложена методика обработки сигналов в АОАС, которая позволяет повысить разрешающую способность АОАС за счет повышения разрешения по частоте двух неодновременных радиоимпульсов большой длительности.

Ключевые слова: компьютерная система; телекоммуникационная сеть; акустооптический анализатор спектра; показатели качества обслуживания (QoS) компьютерных сетей.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Можаяев М. О., Мелашенко О. П., Рог В. С., Усатенко М. В. Засоби поліпшення якості обслуговування комп'ютерної мережі інформаційної системи судової експертизи. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 57–65. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.057>.

Mozhaiev, M., Melashchenko, O., Roh, V., Usatenko, M. (2020), "Means of improving the quality of service of the computer network of the forensic information system", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 57–65. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.057>.

Л. О. ФІЛІПКОВСЬКА, М. М. НОС

УПРАВЛІННЯ ВАРТІСТЮ ІННОВАЦІЙНОГО ПРОЄКТУ У ПРОМИСЛОВІЙ СФЕРІ

Предметом дослідження є умови та процедури щодо управління вартістю інноваційного проєкту. **Мета** роботи – формування підходів до управління вартістю інноваційного проєкту на промисловому підприємстві на основі комплексного підходу. Для досягнення мети вирішуються такі **задачі**: аналіз процесів визначення вартості інноваційного проєкту, проведення огляду методів оцінювання вартості інноваційного проєкту та виділення їх недоліків і переваг, розроблення алгоритму вибору методу для оцінювання вартості проєкту, створення моделі управління вартістю інноваційного проєкту. Серед запропонованих у літературі **методів** прийнято до уваги: параметричне оцінювання, оцінювання реальних опціонів, оцінювання "знизу вгору" та "зверху вниз" і метод співставних оцінок (за аналогами). Отримано наступні **результати**: проаналізовано процес оцінювання вартості інноваційного проєкту та виділено фактори, які впливають на визначення вартості, запропоновано алгоритм вибору методу та модель для оцінювання вартості проєкту. Проведено опис структури управління вартістю інноваційного проєкту, яка складається з логічної послідовності стадій: оцінка вартості, її деталізація, планування і бюджетування вартості, контроль вартості проєкту, завершальна оцінка проєкту. Запропоновано схему оцінювання вартості проєкту на основі поєднання вхідних даних, інструментів та методів оцінювання вартості проєкту і вихідних даних. Розроблено графічну модель процесного механізму управління вартістю проєкту. Виокремлено показники, що використовують як вхідну інформацію для визначення вартості проєкту. Виділено методи, за допомогою яких оцінюють вартість проєкту і, як наслідок, отримують інформацію (дані) завершального етапу. Проведено аналіз методів, які використовують для визначення вартості проєкту і на основі аналізу розроблено алгоритм вибору методу, який забезпечує раціональне виважування вартості проєкту. Запропоновано схему процесного підходу до управління вартістю проєкту та на основі проаналізованих моделей побудовано власну модель оцінювання вартості інноваційного проєкту. **Висновки**: в статті підсумовано результати дослідження і визначено, що в подальшому перспективною задачею є апробація запропонованих підходів, а також розвиток когнітивного підходу до управління вартістю інноваційних проєктів.

Ключові слова: управління; вартість; метод оцінювання; інноваційний проєкт; життєвий цикл; промислове підприємство.

Вступ

Впровадження інновацій у господарську діяльність промислових підприємств сприяє зростанню продуктивності праці, економії ресурсів, скороченню витрат на виробництво промислової продукції та, як наслідок, зниженню собівартості продукції, підвищенню економічної ефективності діяльності у довгостроковій перспективі.

Значна кількість наукових і виробничих підприємств України здійснюють свою основну діяльність через управління проєктами та усвідомлюють користь від застосування сучасних технологій. Обсяг реалізованої інноваційної продукції за 2018 р. склав 24 861 млн. грн., що більше на 7146,9 млн. грн. у порівнянні з 2017 р. [1]. Для успішної реалізації складних наукомістких проєктів необхідні зусилля підприємств, витрати часу, ресурсів і фінансових коштів. Зауважено, що такі проєкти рідко

завершують в заплановані терміни та в межах запланованих витрат.

У 2018 р. на Україні з 4733 промислових підприємств зафіксовано 777 інноваційно активних одиниць. З останніх витрачали кошти: 218 підприємств на внутрішні НДР, 66 – на зовнішні НДР, 320 – на придбання машин, обладнання та програмного забезпечення, 40 – на придбання інших зовнішніх знань, 138 – на інше. Витрати на інновації за напрямками інноваційної діяльності за регіонами у 2018 році склали 12 180,1 млн. грн., у тому числі за рахунок власних коштів 10742,0 млн. грн., а за рахунок державного бюджету – 639,1 млн. грн та кредитів – 473,9 млн. грн.

Простежено області України, що мають найбільшу кількість промислових підприємств за напрямками інноваційної діяльності. На рис. 1 зображено інформацію щодо п'яти регіонів та міста Київ у 2018 р.

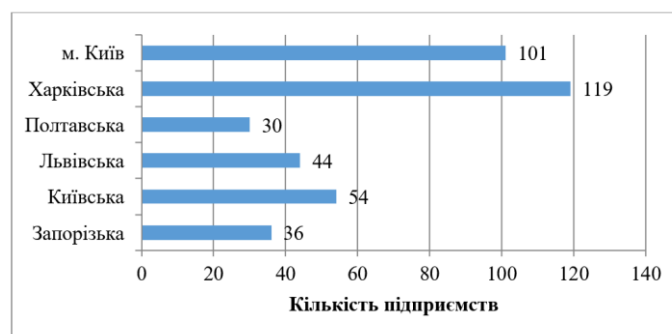


Рис. 1. Кількість промислових підприємств за напрямками інноваційної діяльності за регіонами України

Критерієм успішної інноваційної діяльності є частка інноваційної продукції, що потрапляє на ринок [2]. Вона наразі становить в Україні небагато – 5–6 %. Також зниження темпів експорту товарів, збільшення імпорту споживчих товарів, зовнішній та внутрішній дисбаланс в національній економіці, проблеми валютного ринку, відсутність механізмів комерціалізації науково-технічних розробок, проведення фінансування інноваційної діяльності здебільше за рахунок власних коштів підприємств є проявом відсутності системної інноваційної політики держави.

З іншої сторони, інноваційна діяльність є наслідком пошуку більш прибуткових сфер вкладення капіталу за умов падіння середньої норми прибутку [3]. Є й інші чинники, які сприяють розвиненню інноваційного процесу: орієнтація керівників на довгострокову перспективу, розвинена система збуту і маркетингу, безперервний пошук нових ринкових пропозицій, інтелектуальний потенціал виробничих підприємств. Зовнішніми факторами вливу є скорочення життєвого циклу наявної продукції, виникнення нових потреб покупців, зміна пріоритетів споживачів, підвищення рівня конкуренції.

В сучасних умовах виникає задача ефективного і якісного управління інноваційними проектами, зокрема, задача управління вартістю інноваційного проекту, тобто планування бюджету та визначення вартісної оцінки проекту протягом всього його життєвого циклу.

Тому тема дослідження представленої роботи набуває особливої актуальності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Нині сучасні традиційні методи з подолання кризи [4], призводять до недостатнього притоку інвестицій в існуючий сектор, та в повній мірі не забезпечують потреби корпоративного зростання і стають менш привабливими для великої кількості підприємств.

Все це впливає на збільшення ролі венчурного фінансування в становленні української інноваційної економіки.

Існує специфіка оцінювання інноваційних проектів, а саме:

- інноваційні проекти можуть мати стратегічне значення для підприємства, але можуть бути не прибутковими;
- наслідки виявлятимуться довгостроковими і суперечливими;
- існують досить високі ризики;
- необхідна гнучкість при прийнятті рішень.

До ключових проблем інвестування в інноваційні проекти можна віднести таке: високі технічні і комерційні ризики, тривалий період реалізації, високі затрати на науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи. Як правило, ці проблеми призводять до високої необхідної норми прибутковості і від'ємної чистої поточної вартості.

Показник вартості являється значущим в процесі планування та безпосередньо реалізації інноваційного проекту.

В сучасних умовах зростає роль управління проектами на всіх підприємствах в незалежності від форми власності і видів господарської діяльності. Найбільший внесок у дослідження питань управління проектами внесли такі вітчизняні та зарубіжні науковці: Ю. Брегген, Н. М. Внукова, М. А. Гольцберг, А. Дамодаран, А. О. Спіфанов, В. М. Карцев, О. М. Кібік, О. М. Котлубай, Н. К. Лебідь, О. Г. Мендрул, С. В. Нікулін, Є. М. Сич, О. М. Степанов, Є. В. Шаталюк.

Після проведеного аналізу визначено, що сьогодні існує достатня кількість методів для оцінювання вартості інноваційних проектів. Вибір методу залежить від вимог до фінансового результату інноваційної діяльності. Він утворюється від додаткового доходу, перевищення фактичного доходу в результаті більш ефективного виходу на ринок, скорочення операційних витрат, прибутку організації, а також від обсягу інформації, що необхідна для визначення вартості проекту та ін.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Таким чином, в умовах недостатньої інформації про вартість ресурсів, фінансових вкладень, про успішність впровадження інновацій актуальною задачею є оцінювання вартості інноваційного проекту. До невирішених проблем управління вартістю інноваційного проекту у промисловій сфері відносяться: розроблення критеріїв кількісної оцінки ефективності таких проектів [4], методів підвищення ефективності їх фінансового забезпечення з урахуванням взаємного впливу грошових потоків базового і проектного виробництва, способів збільшення обсягів власного фінансування, а також раціоналізації структури капіталу, що залучається і його використання по тимчасових інтервалах проекту, моделей і методів оцінки обсягів фінансування на основі знань щодо раціональної структури виробничої системи, що забезпечує реалізацію програми випуску за потребами ринку.

В попередніх роботах авторів [5] було досліджено загальні підходи до управління вартістю інноваційних проектів.

Метою даної статті є формування підходів щодо управління вартістю інноваційних проектів промислових підприємств. Основними **задачами** для вирішення є такі:

- проаналізувати процес оцінювання вартості інноваційного проекту;
- провести огляд методів оцінювання вартості інноваційних проектів, їх недоліки і переваги;
- розробити алгоритм вибору метода для оцінювання вартості проекту;
- створити модель управління вартістю інноваційного проекту.

Результати дослідження та їх обговорення

Виходячи із сутності поняття методології та відповідно до об'єкту пізнання [6], а саме: управління вартістю інноваційного проекту – позначимо досліджувані залежності між властивостями об'єкта пізнання, а також зовнішніми та внутрішніми умовами його існування.

На даний час причинами посиленої уваги до розроблення та впровадження інновацій є таке:

- інновації в сучасних умовах господарювання сприяють створенню нових робочих місць, ефективному розвитку процесів суспільного відтворення на всіх рівнях управління економікою;
- проведення науково-технічних заходів, пов'язаних з впровадженням інновацій і здійсненням проектів, передбачає забезпечення кінцевого економічного ефекту, який відбивається в підвищенні ефективності господарської діяльності підприємства.

Розроблення та застосування інновацій є головною задачею інноваційного проектування.

Як визначено в попередніх працях [5], інноваційний проект – це комплекс робіт і ресурсів, які пов'язані часом і простором, керовані з метою удосконалення точності оцінок вартості та спрямовані на досягнення кінцевого результату – впровадження інновацій у практичну діяльність [7].

Інноваційні проекти у промисловій сфері мають такі особливості:

- підвищені ризики промислових проектів в порівнянні з іншими проектами суб'єктів господарювання;

- процеси фінансування та реалізації промислового проекту розділені на етапи;

- актуалізація розробки інноваційного промислового проекту відбувається при наявності двох основних умов: реалізація інноваційної ідеї створення компанії або досить тривале за часом функціонування компанії на певному ринку.

Управління інноваційним проектом – це процес прийняття і реалізації управлінських рішень, спрямованих на реалізацію інноваційної ідеї й тому пов'язаних з визначенням відповідних цілей, плануванням заходів і контролем за ходом їх виконання.

Один з підходів до управління інноваційним проектом [8] розглядає три обмеження: фінанси, час та людські ресурси. Ці обмеження безпосередньо пов'язані з додержанням прийнятого бюджету. Наприклад, щоб скоротити час (терміни), збільшують кількість зайнятих людей для вирішення задачі. Це призводить до збільшення вартості (бюджету). Щоб ця задача вирішувалась швидше, але зростання бюджету можна було б уникнути, зменшують витрати на рівну величину в іншому сегменті проекту [9].

Для додержання в рамках прийнятого бюджету існують відповідні складові процесу управління вартістю проекту.

Управління вартістю інноваційного проекту можна розглядати з трьох позицій:

1. Управління – це система функцій, що реалізуються поділом процесу управління на роботи й операції.

2. Управління вартістю інноваційного проекту являє собою певну послідовність взаємозалежних етапів задля прийняття управлінських рішень.

3. Управління характеризується організаційною структурою, що включає склад і взаємозв'язки органів управління, а також технологію управління.

Конкретизуємо запропоновану концепцію управління вартістю інноваційного проекту.

В цілому виділяють сім стадій життєвого циклу інноваційного проекту [2], які відображено на рис. 2.

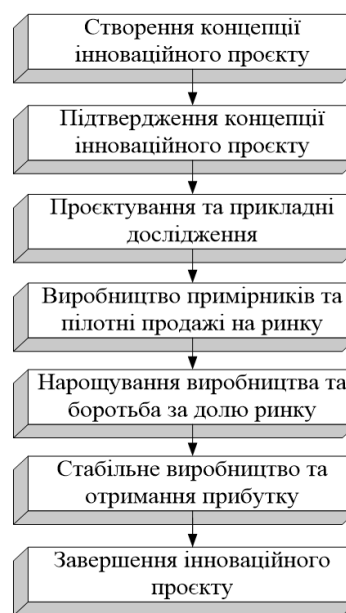


Рис. 2. Стадії життєвого циклу інноваційного проекту у промисловій сфері

В сучасних кризових умовах функціонування промислових підприємств управління вартістю проекту діє як обмеження в інноваційному проектуванні [10]. Виходячи з того, що вартість проекту визначається сукупністю вартостей його ресурсів, відповідне управління вартістю інноваційного проекту містить такі процеси:

- вартісне оцінювання;

- бюджетування проекту (ресурсне планування), тобто встановлення цільових показників витрат на реалізацію проекту;

- контроль вартості проекту, постійне оцінювання витрат, порівняння з плановими витратами, вироблення заходів коригувального і попереджувального характеру.

Управління вартістю проекту ґрунтується на бухгалтерській системі обліку активів, зобов'язань, системі заборгованості, руху матеріалів, сплати податків, нарахування амортизації, очікуваних й реальних прибутків, закупівлі й продажу, обліку витрат інноваційного проекту [11, 12].

Розглянувши стадії життєвого циклу інноваційних проектів, представимо схематично структуру управління вартістю (рис. 3).



Рис. 3. Структура управління вартістю інноваційних проєктів

Таким чином для вирішення поставлених задач в процесі управління вартістю інноваційного проєкту виконується крім основної функції з оцінювання вартості проєкту й інші, а саме: управління часом, персоналом, забезпеченням ресурсів, ризиками комерційної пропозиції (наприклад: невідповідність комерційної пропозиції ринкової стратегії промислового підприємства, відсутність постачальників необхідних ресурсів і комплектуючих).

На початкових етапах проєкту оцінка вартості є недостатньо точною, а на завершальних етапах – навпаки. Тобто, вартість інноваційного проєкту є більш достовірною, чим ближче проєкт прямує до завершення.

На рис. 4 представлено схему зв'язку вхідних та результатних даних при визначенні вартості інноваційного проєкту [13].

Для конкретного інноваційного проєкту з урахуванням конкретного інноваційного продукту вхідні та результатні дані уточнюються.

Також при створенні інноваційного проєкту й визначенні його вартості враховують професійні міжнародні й національні кваліфікаційні стандарти для керівників і фахівців з управління інноваційними проєктами [14, 15].

Внаслідок змінення парадигми управління інноваційною діяльністю від функціонального до процесного підходу [14] запропоновано модель процесного механізму управління вартістю проєкту, яка представлена на рис. 5.

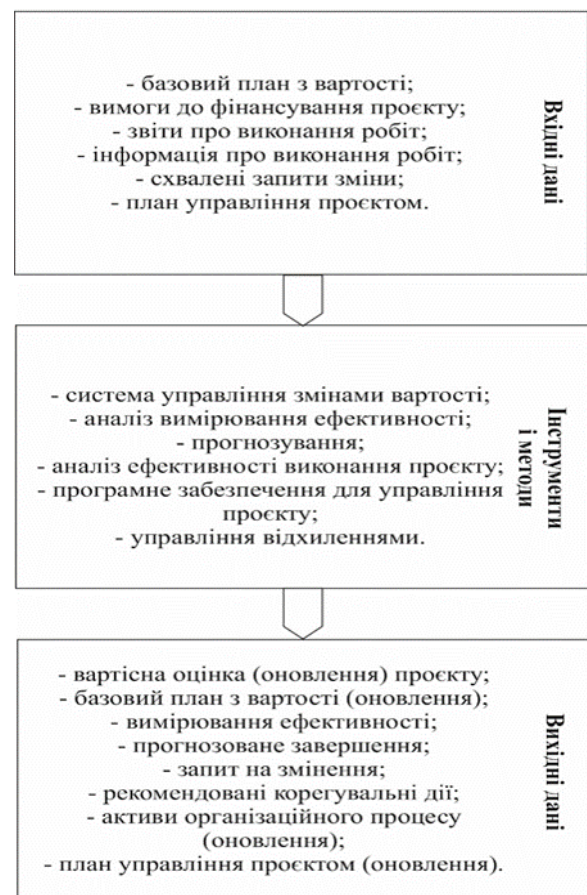


Рис. 4. Схема оцінювання вартості проєкту



Рис. 5. Модель процесного механізму управління вартістю проекту

Процесний підхід розглядає проектування комплексно. Модель процесного механізму управління охоплює основні функції управління та забезпечує інтеграцію учасників і концентрацію ресурсів, а їх регламентація передбачає дотримання термінів і можливість координації дій в процесі управління вартістю інноваційного проекту.

На практиці використовують такі основні методи для оцінювання вартості інноваційних проектів [16]:

1. Метод параметричної оцінки. При оцінюванні вартості використовується статистична залежність між вартістю операції та іншими параметрами проекту. Ця залежність отримана на основі статистичного аналізу даних.

2. Метод оцінки реальних опціонів дає можливість інвестору (власнику базового активу проекту) шляхом введення у виробництво успішних розробок через певний період часу отримати дохід від інноваційного проекту. Тобто, за методом реального опціону інвестор має право купувати або продавати актив, але це не є обов'язковим.

3. Метод оцінки "знизу вгору" – це спосіб оцінювання великого обсягу робіт за допомогою додавання оцінок, які отримано для меншої кількості складових. Цей метод вважають одним із найточніших.

4. Метод оцінки "зверху вниз" протилежний оцінюванню "знизу вгору". Цей метод використовують при недостатній кількості інформації про ресурси і матеріали, які необхідні для реалізації робіт.

5. Метод співставних оцінок (оцінка за аналогами). При оцінюванні вартості проекту використовують дані з раніше виконаних аналогічних проектів.

6. Метод чистої поточної вартості NPV – метод оцінювання майбутньої вартості проекту з урахуванням інфляції, винагороди та ризику.

Переваги і недоліки перелічених методів представлено у табл. 1.

Із перелічених загальноприйнятих методів оцінювання вартості інноваційних проектів обирають метод, який відповідає уже існуючим можливостям, пов'язаним з використанням вартісної оцінки проекту, та забезпечує найбільш точну оцінку. Для вибору методу запропоновано схему-алгоритм (рис. 6), що включає перші п'ять методів, які забезпечать комплексний підхід до визначення вартості інноваційного проекту в залежності від початкових (вхідних) даних.

Таблиця 1. Переваги та недоліки методів для оцінювання вартості проектів

№	Метод	Переваги	Недоліки
1	Метод параметричної оцінки	Швидкий підрахунок	Невисока точність оцінки (але вище, ніж у випадку з методом співставних оцінок)
2	Метод оцінки реальних опціонів	1. Прийняття оптимальних рішень в майбутньому. 2. Врахування можливості призупинення фінансування невдалих проектів	Некритичне застосування методології теорії опціонів може негативно впливати на бізнес компанії та її конкурентну позицію. Зайва гнучкість в рішеннях веде до частого перегляду планів та втрати стратегічного орієнту

Закінчення таблиці 1.

№	Метод	Переваги	Недоліки
3	Метод оцінки "знизу вгору"	Найвищий рівень точності оцінювання; розбивка на дрібні складові процесу проєктування дозволить	Висока тривалість часу щодо розрахунків в порівнянні з іншими методами оцінювання вартості проєкту
4	Метод оцінки "зверху вниз"	Розбивка на дрібні складові процесу проєктування	Висока тривалість часу щодо розрахунків в порівнянні з іншими методами оцінювання вартості проєкту
5	Метод співставних оцінок (оцінка за аналогами)	1. Швидкий підрахунок. 2. Не потрібно багато документації, легкість використання. 3. Високий ступінь обґрунтованості оцінки вартості на основі застосування фактичних ринкових даних	1. Мала точність оцінювання в порівнянні з іншими методами. 2. Необхідність наявності публічних компаній-аналогів на ринку з достатньою історією розвитку.
6	Метод поточної чистої вартості NPV	1. Порівняння величини майбутніх надходжень з величиною поточних витрат. 2. Врахування тимчасової вартості грошей. 3. Обґрунтування прийняття фінансового рішення тільки при невід'ємних значеннях показника NPV. 4. Здійснення розрахунків для різних типів грошового потоку, порівняння проєктів різної тривалості, структури й природи	Чутливість до змін ставки дисконтування; відповідність ставки дисконтування тривалості періоду аналізу та часу отримання відповідного елемента грошового потоку.

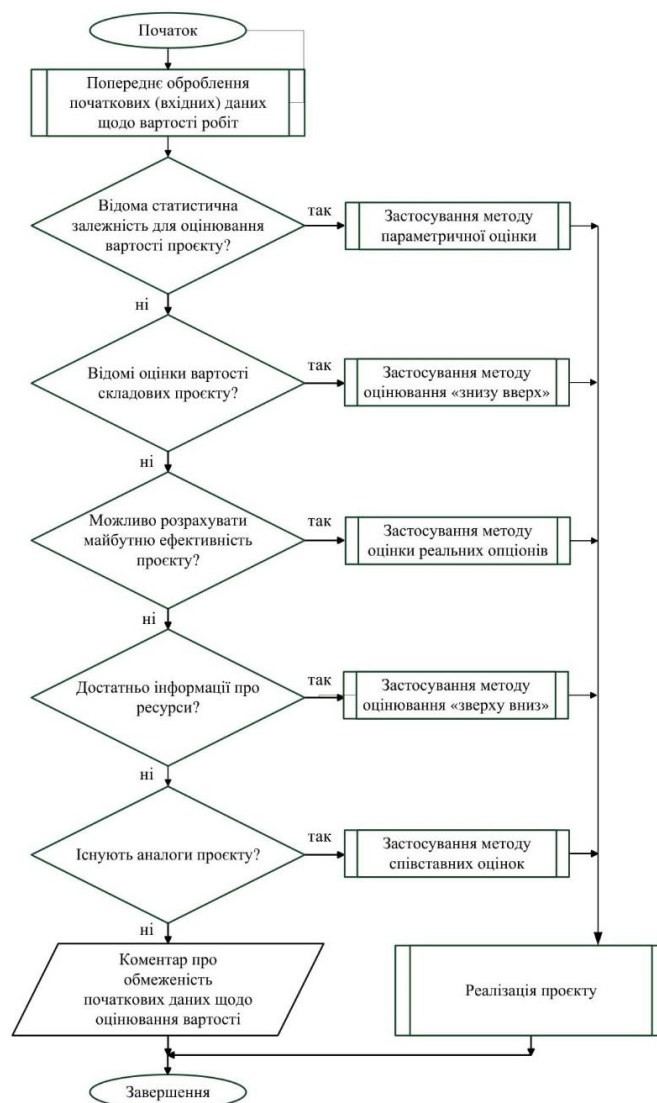


Рис. 6. Алгоритм вибору методу для оцінювання вартості проєкту

Узагальнивши методи оцінювання вартості інноваційних проєктів, запропонуємо модель управління вартістю інноваційного проєкту. З цією метою будівання моделі буде зроблено на основі системного підходу в управлінні проєктами.

У сучасному вітчизняному управлінні проєктами системний підхід розвивався в наукових школах О. В. Сидорчука, С. Д. Бушуєва, О. В. Полковникова, М. Ф. Дубовика, Г. А. Мохонька, А. В. Юденко [17].

Під об'єктом управління будемо розуміти інноваційний проєкт. Його стан визначається відповідним процесом в управлінні вартістю. Модель управління вартістю інноваційного проєкту з урахуванням взаємодії об'єкта управління (інноваційного проєкту) і навколишнього середовища може бути представлена таким чином:

$$M_U = \{M_{OE}, A, M_D, M_{MO}, M_{ME}, M_n\}, \quad (1)$$

де M_{OE} – модель взаємодії об'єкта й середовища; A – правило вибору процесів змінення об'єкта; M_D – набір моделей оцінювання вартості об'єкта відповідно до правила A ; M_{MO} і M_{ME} – моделі виміру стану об'єкта та навколишнього середовища згідно з правилом A ; M_n – модель "спостерігача" (інженера-когнітолога, експерта, дослідника).

В модель (1) включені наступні складові: M_{OE} – вербальна модель, яка описує взаємодію процесів управління проєктом з умовами існування у зовнішньому середовищі; A – компонента набору

правил адаптивних змін управління проєктом в залежності від змін і рухливості зовнішнього середовища; M_D – компонента набору моделей оцінювання вартості проєкту, відповідно до набору правил A ; M_{MO} – вербальна модель опису стану процесу управління проєктом, що підпорядковується набору правил A , а також M_{ME} – вербальна модель опису навколишнього середовища; M_n – вербальна модель набору правил поведінки особи, що приймає рішення (інженера-когнітолога, експерта, дослідника). В подальшому будуть розроблені відповідності між компонентами моделі, а також розроблені правила її використання.

Висновки

В статті сформовано підходи до управління вартістю інноваційних проєктів промислових підприємств. Проаналізовано процес оцінювання вартості інноваційного проєкту, проведено огляд методів оцінювання вартості інноваційного проєкту і виділено їх переваги та недоліки. Розроблено алгоритм вибору методу для оцінювання вартості проєкту.

В подальшому перспективною задачею є апробація запропонованих підходів, а також розвиток когнітивного підходу до управління вартістю інноваційних проєктів.

Список літератури

1. Наукова та інноваційна діяльність України 2018. Статистичний збірник. Київ : Державна служба статистики України, 2019. 108 с. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2019/zb/09/zb_nauka_2018.pdf (дата звернення: 23.02.2020).
2. Лозовський О. М., Іванцова І. В. Інноваційний проєкт як пріоритетний напрям розвитку сучасного підприємства. *Молодий вчений*. 2018. № 2 (54). С. 723–726.
3. Тесленко П. О. Прийняття рішень в умовах вартісних обмежень проєкту. *Управління розвитком складних систем*. 2012. № 9. С. 40–43.
4. Чайка І. В. Проблеми та шляхи покращення фінансування інноваційних програм і проєктів в Україні. *Сталий розвиток економіки*. 2013. № 1. С. 234–237.
5. Філіпковська Л. О., Нос М. М. Дослідження підходів до управління вартістю інноваційних проєктів. *Управління проєктами та розвиток виробництва*, 2018. № 4 (68). С. 5–15.
6. Управление проєктами. Основы проектного управления: Учебник / Кол. авт.; под ред. проф. М.Л. Разу. М. : КНОРУС, 2006. 768с.
7. Микитюк П. П., Крисько Ж. Л., Овсянюк-Бердадіна О. Ф., Скочилас С. М. Інноваційний розвиток підприємства. Навчальний посібник. Тернопіль : ПП "Принтер Інформ", 2015. 224 с.
8. Бутко М. П., Мурашко М. І., Олійченко І. М. Проєктний менеджмент: регіональний зріз. Навчальний посібник. К. : Центр учбової літератури, 2016. 416 с.
9. Григор'єва О. Є. Проблеми ризиків, що виникають під час реалізації інноваційних проєктів, та методи їхнього кількісного вимірювання. *Науковий вісник Національного університету "Львівська політехніка". Проблеми економіки та управління*. 2008. № 628. С. 64–71.
10. Авдеева Л. А., Мусабинова К. М. Совершенствование процессов планирования и управления стоимостью проектов в проектных организациях. *Нефтегазовое дело*. 2016. Т. 15. № 2. С. 125–132.
11. Browning, T. R. (2019), "Planning, Tracking, and Reducing a Complex Project's Value at Risk", *Project Management Journal*, No. 50 (1), P. 71–85. DOI: <https://doi.org/10.1177/8756972818810967>.
12. Пойда-Носик Н. Н., Черленяк І. І. Управління інноваційними проєктами: навч. посібник. Ужгород : Вид-во УжНУ "Говерла", 2017. 360 с.
13. Богданова О. Н. Управління інноваційними проєктами. Теорія і практика управління: нові підходи. М. : Університетський гуманітарний ліцей, 2003 р. С. 112–118.
14. Руководство к своду знаний по управлению проєктами, 5-е издание/ Project Management Institute (PMI). Project Management Institute, Inc., 2012. 614 с.

15. Gunawan, I., Nguyen, T., Hallo, L. (2019), "A Review of Methods, Tools and Techniques Used for Risk Management in Transport Infrastructure Projects", *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, No. 8607553, P. 641–645. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607553>
16. Ворона П. В. Методологічні особливості управління інноваційними проектами. *Витоки педагогічної майстерності*. 2017. №20. С. 49–54.
17. Юденко А. В., Мохонько Г. А. Створення системи управління проектами підприємства на основі ціннісного підходу. *Актуальні проблеми економіки та управління : збірник наукових праць молодих вчених*. 2019. № 13. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/29379> (дата звернення: 17.01.2020).

References

1. Scientific and Innovative Activity of Ukraine 2018 [Naukova ta innovatsiyna diyal'nist' Ukrainy 2018], Statystychnyy zbirnyk, Kyiv, Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy Publ., 2019, P. 108, available at : http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2019/zb/09/zb_nauka_2018.pdf (last accessed 23.02.2020).
2. Lozovsky, A. N., Ivantsova, I. V. (2018), "Innovation project as priority directions of development of a modern enterprise" ["Innovatsiynyi proekt yak priorityetnyi napriam rozvytku suchasnoho pidpriemstva"], *Young Scientist*, No. 2 (54), P. 723–726.
3. Teslenko, P. (2012), "Principles of rishen in the wonders of the warthood of the project" ["Priynyattya rishen' v umovakh vartisnikh obmezhen' proektu"], *Management of the folding systems folding system*, No. 9, P. 40–43.
4. Chayka, I. (2013), "Problems and ways to improve financing of innovation programs and projects in Ukraine" ["Problemy ta shliakhy pokrashchennia finansuvannia innovatsiinykh proham i proektiv v Ukraini"], *Sustainable development of the economy*, No. 1, P. 234–237.
5. Filipkovska, L. O., Nos, M. M. (2018), "Doslidzhennya pidkhodiv do upravlinnya vartysty innovatsiinykh proektiv" ["Study of the cost management approaches of innovation projects"], *Upravlinnya proektamy ta rozvytok vyrobnystva*, No. 4 (68), P. 5–15.
6. *Project management. Project Management Basics [Upravlenie proektami. Osnovy proektnogo upravleniya]* : Uchebnik; pod red. prof. Razu, M. L., Moscow, KNORUS Publ., 2006, 768 p.
7. Mykytiuk, P., Krysko, Z., Ovsianiuk-Berdadina, O., Skochylas, S. (2015), *Innovative development of the enterprise [Innovatsiynyi rozvytok pidpriemstva]*, Tutorial, "Printer Inform", Ternopil, 224 p.
8. Butko, M. P., Murashko, M. I., Oliychenko, I. M. et al. (2016), Project management: regional section [Proektnyy menedzhment: rehional'nyy zriz] : Navchal'nyy posibnyk, Kyiv, Tsentr uchbovoyi literatury, 416 p.
9. Hryhorieva, O. (2008), "Problems of risks arising during the implementation of innovative projects, and methods of their quantitative measurement" ["Problemy ryzykiv, shcho vynykaiut pid chas realizatsii innovatsiinykh proektiv, ta metody yikhnoho killisnoho vymiriuvannia"], *Scientific herald of lviv polytechnic national university. Problems of economics and management*, No. 628, P. 64–71.
10. Avdeyeva, L. A., Musabirova, K. M. (2016), "Cost planning and management processes' improvement in the project companies" ["Sovershenstvovanie protsessov planirovaniya i upravleniya stoinost'yu proektiv v proektnykh organizatsiyakh"], *Oil and gas business*, Vol. 15, No. 2, P. 125–132.
11. Browning, T. R. (2019), "Planning, Tracking, and Reducing a Complex Project's Value at Risk", *Project Management Journal*, No. 50 (1), P. 71–85. DOI: <https://doi.org/10.1177/8756972818810967>
12. Poyda-Nosyk, N. N., Cherlenyak, I. I. (2017), *Management of innovative projects [Upravlinnya innovatsiynymy proektamy]* : navchal'nyy posibnyk, Uzhhorod, Vydydavnytstvo UzhNU "Hoverla" Publ., 360 p.
13. Bohdanova, O. N. (2003), Management of innovative projects [Upravlinnya innovatsiynymy proektamy], *Teoriya y praktyka upravlinnya : novi pidkhody*, Mykolayiv, Universytet-s'kyu humanitarnyy litsey Publ., P. 112–118.
14. *Guide to the project management knowledge mix 5th edition [Rukovodstvo k svodu znaniy po upravleniyu proektami, 5-e izdanie]*, Project Management Institute (PMI), Project Management Institute, Inc. Publ., 2012, 614 p.
15. Gunawan, I., Nguyen, T., Hallo, L. (2019), "A Review of Methods, Tools and Techniques Used for Risk Management in Transport Infrastructure Projects", *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, No. 8607553, P. 641–645. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607553>
16. Vorona, P. V. (2017), "Methodological features of innovative project management" ["Metodolohichni osoblyvosti upravlinnya innovatsiynymy proektamy"], *Vytyky pedahohichnoyi maysternosti Publ.*, No 20, P. 49–54.
17. Yudenko, A. V., Mokhon'ko, H. A. (2019), "Creation of enterprise project management system based on value approach" ["Stvorennya systemy upravlinnya proektamy pidpriemstva na osnovi tsinnisnoho pidkhodu"], *Aktual'ni problemy ekonomiky ta upravlinnya : zbirnyk naukovykh prats' molodykh vchenykh*, No. 13, available at : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/29379> (last accessed 17.01.2020).

Надійшла (Received) 11.05.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Філіпковська Лариса Олексіївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", доцент кафедри економіки та маркетингу, Харків, Україна; email: l.filipkovska@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8532-5274>.

Филипковская Лариса Алексеевна – кандидат технических наук, доцент, Национальный аэрокосмический университет имени Н. Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт", доцент кафедры экономики и маркетинга, Харьков, Украина.

Filipkovska Larysa – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, National Aerospace University named after M. Y. Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute", Associate Professor of the Department of Economy and Marketing, Kharkiv, Ukraine.

Нос Марина Миколаївна – Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", аспірант кафедри економіки та маркетингу, Харків, Україна; email: marina.nos1701@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8407-440X>.

Нос Марина Николаевна – Национальный аэрокосмический университет имени Н. Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт", аспирант кафедры экономики и маркетинга, Харьков, Украина.

Nos Marina – National Aerospace University named after M. Y. Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute", Post-Graduate Student of the Department of Economy and Marketing, Kharkiv, Ukraine.

УПРАВЛЕНИЕ СТОИМОСТЬЮ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА В ПРОМЫШЛЕННОЙ СФЕРЕ

Предметом исследования являются условия и процедуры по управлению стоимостью инновационного проекта. **Цель** работы – формирование подходов к управлению стоимостью инновационного проекту на промышленном предприятии на основе комплексного подхода. Для достижения цели решаются следующие **задачи**: анализ процессов определения стоимости инновационного проекта, проведение обзора методов оценки стоимости инновационного проекта и выделения их недостатков и преимуществ, разработка алгоритма выбора метода для оценки стоимости проекта, создание модели управления стоимостью инновационного проекта. Среди предложенных в литературе **методов** принято во внимание: параметрическое оценивание, оценка реальных опционов, оценка "снизу вверх" и "сверху вниз" и метод сопоставимых оценок (по аналогам). Получены следующие **результаты**: проанализирован процесс оценки стоимости инновационного проекта и выделены факторы, влияющие на определение стоимости, предложен алгоритм выбора метода и модель для оценки стоимости проекта. Проведено описание структуры управления стоимостью инновационного проекта, которая состоит из логической последовательности стадий: оценка стоимости, ее детализация, планирования и бюджетирования стоимости, контроль стоимости проекта, завершающая оценка проекта. Предложена схема оценки стоимости проекта на основе сочетания входных данных, инструментов и методов оценки стоимости проекта и выходных данных. Разработана графическая модель процессного механизма управления стоимостью проекта. Выделены показатели, которые используют как входную информацию для определения стоимости проекта. Выделены методы, с помощью которых оценивают стоимость проекта и, как следствие, получают информацию (данные) заключительного этапа. Проведен анализ методов, используемых для определения стоимости проекта и на основе анализа разработан алгоритм выбора метода, который обеспечивает рациональное взвешивание стоимости проекта. Предложена схема процессного подхода к управлению стоимостью проекта и на основе проанализированных моделей построено собственную модель оценки стоимости инновационного проекта. **Выводы**: в статье подведены итоги исследования и определено, что в дальнейшем перспективной задачей является апробация предложенных подходов, а также развитие когнитивного подхода к управлению стоимостью инновационных проектов.

Ключевые слова: управление; стоимость; метод оценки; инновационный проект; жизненный цикл; промышленное предприятие.

COST MANAGEMENT OF AN INNOVATIVE PROJECT IN THE INDUSTRIAL SPHERE

The **subject** of the study is the conditions and procedures for managing the cost of an innovative project. The **purpose** of the work is to form approaches to managing the cost of an innovative project at an industrial enterprise on the basis of an integrated approach. To achieve the goal, the following tasks are **solved**: analysis of processes for determining the cost of an innovative project, a review of methods for assessing the value of an innovative project and highlighting their disadvantages and advantages, developing an algorithm for selecting a method for assessing project costs, creating a cost management model for an innovative project. Among the methods proposed in the literature, it is taken into account: parametric evaluation, evaluation of real options, a bottom-up and top-down rating, and a method of comparable ratings (by analogs). The following **results** were obtained: the process of estimating the cost of an innovative project was analyzed and the factors influencing the determination of the cost were identified, the algorithm for choosing the method and the model for estimating the cost of the project were proposed. A description of the cost management structure of an innovative project, which consists of a logical sequence of stages: cost estimation, its detailing, cost planning and budgeting, project cost control, final project evaluation was done. The scheme of project cost estimation on the basis of a combination of input data, tools and methods of project cost estimation and source data is offered. A graphic model of the process cost management mechanism of the project has been developed. Indicators that are used as input to determine the cost of the project are highlighted. The methods that are used to estimate the cost of the project and, as a result, get information (data) of the final stage are identified. An analysis of the methods used to determine the cost of the project and based on the analysis developed an algorithm for selecting a method that provides a rational weighing of the cost of the project was done. The scheme of the process approach to project cost management is offered and on the basis of the analyzed models own model of estimation of cost of the innovative project is proposed. **Conclusions**: the article summarizes the results of the study and determines that in the future a promising task is the approbation of the proposed approaches, as well as the development of a cognitive approach to cost management of innovative projects.

Keywords: management; cost; evaluation method; innovative project; life cycle; industrial enterprise.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Філіпковська Л. О., Нос М. М. Управління вартістю інноваційного проекту у промисловій сфері. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 66–74. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.066>.

Filipkovska, L., Nos, M. (2020), "Cost management of an innovative project in the industrial sphere", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 66–74. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.066>.

О. М. Черняк, В. М. Бурдейна, С. М. Артюх

УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОГЛИНУТОЇ ДОЗИ СПЕЦІАЛЬНИМ ОДЯГОМ, ЩО ОПРОМІНЮЄТЬСЯ ПРИСКОРЕНИМИ ЕЛЕКТРОНАМИ

Предметом дослідження в статті є математична модель поглинутої дози спеціальним одягом. **Мета** роботи – удосконалити математичну модель поглинутої дози спеціальним одягом, що опромінюється прискореними електронами. В статті вирішуються наступні **завдання**: дослідити можливість застосування удосконаленої математичної моделі поглинутої дози спеціальним одягом в залежності від частоти проходження імпульсів пучка прискорених електронів, швидкості конвеєра і геометричних параметрів об'єкта, для розрахунку технологічних режимів процесу радіаційної стерилізації. Використовуються **методи**: математичної фізики. Отримано наступні **результати**: зазначено про важливість догляду за спеціальним одягом робітників; визначені певні недоліки сучасних методів дезінфекції і обґрунтовано необхідність дезінфекції спеціального одягу прискореними електронами за допомогою спеціальних прискорювачів електронів; встановлено, що основний критерій радіаційної дезінфекції є поглинута доза та обґрунтовано необхідність визначення максимально допустимого значення дози за допомогою математичної моделі. Удосконалена математична модель поглинутої дози спеціальним одягом дає можливість розрахувати режими опромінення різних матеріалів спеціального одягу, які відрізняються розміром, формою і фізичними властивостями, що дозволить розробити систему нормативних режимів технології радіаційно-фізичної дезінфекції робочого одягу та забезпечити законодавчі та нормативні вимоги гігієни праці. Розраховано нормативні режими процесу дезінфекції спеціального одягу у вигляді залежності поглинутої дози в залежності від частоти проходження імпульсів пучка та швидкості конвеєра. **Висновки**: удосконалено математичну модель поглинутої дози спеціальним одягом в залежності від частоти проходження імпульсів пучка прискорених електронів швидкості конвеєра і геометричних параметрів об'єкта, та застосовано для розрахунку нормативних технологічних режимів процесу дезінфекції спеціального одягу.

Ключові слова: математична модель; поглинута доза; прискорені електрони; спеціальний одяг; дезінфекція.

Вступ

Науково-технічний розвиток супроводжується безперервним удосконаленням техніки і технології, використанням нових матеріалів та джерел енергії, що призводить до виникнення нових показників небезпеки, які обумовлюють всезростаюче значення проблеми забезпечення безпеки праці. У системі заходів з безпеки праці засоби індивідуального захисту і, зокрема, спеціальний одяг займають одне з основних місць, оскільки їх застосовують в тих випадках, коли іншими заходами неможливо забезпечити безпеку праці. На сьогоднішній день, однією з проблем експлуатації спеціального одягу робітників є втрата захисних і гігієнічних властивостей до закінчення нормативного терміну носіння, що є наслідком техногенних катастроф, впливу шкідливих виробничих факторів, кліматичних умов, недотриманням режиму носіння і правил догляду за виробами.

Відповідно до статті 163 Кодексу законів про працю України та статті 8 Закону України "Про охорону праці" [1] на роботах із шкідливими і небезпечними умовами праці, а також роботах, пов'язаних із забрудненням або, що виконуються в несприятливих метеорологічних умовах, працівникам видаються безоплатно за установленими нормами спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту. Згідно з пунктом 17 "Мінімальних вимог безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками засобів індивідуального захисту на робочому місці" очищення, прання, обезпилювання, дегазація, дезактивація, дезінфекція, знешкодження мають здійснюватись роботодавцем в

неробочий час (у вихідні дні) або під час міжзмічних перерв [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз законодавчих і нормативних вимог показав, що сучасні гармонізовані українські нормативні документи не регламентують чітких вимог основних показників якості спеціального одягу, які в свою чергу повинні бути гарантом безпеки праці на виробництві [3, 4]. Проведений аналіз гігієнічних властивостей спеціального одягу, показав, що від впливу шкідливих та небезпечних чинників тканини одягу змінює свої властивості внаслідок зносу і забруднення. Одяг крім механічного та хімічного забруднення, піддається забрудненню мікроорганізмами і паразитами. Тканини одягу, забруднені пилом, виділеннями з носоглотки, випарами, можуть містити патогенні збудники - мікобактерію туберкульозу, мікроорганізми тифо-паратифозної групи, стрептококи, стафілококи. Через забруднений одяг можуть передаватися черевний тиф, дизентерія та інші інфекції. Небезпека такої передачі визначається тривалістю виживання мікроорганізмів на тканині. З огляду на епідемічну небезпеку та забезпечення гігієни праці спеціальний одяг необхідно дезінфікувати [5, 6].

Проведено аналіз існуючих методів дезінфекції спеціального одягу, який показав, що загальновідомі методи дезінфекції можуть викликати зношеність і усадку тканин, крім того, для деяких широко використовуваних видів спеціального одягу деякі методи дезінфекції взагалі неприйнятні, так як погіршується якість спеціального одягу. Тому в

останні десятиліття все більшого поширення набуває дезінфекція іонізуючим випромінюванням [7, 8].

Аналіз робіт, які присвячені використанню радіаційних технологій, показав, що в порівнянні з традиційними термічними або хімічними технологіями, у радіаційних технологіях значні переваги, такі як збільшення продуктивності обробки, зменшення енергоспоживання, економія сировини і матеріалу, зменшення забруднення навколишнього середовища, відповідність екологічним нормам, прецизійний контроль процесу і продукції, що обробляється, отримання продукції вищої якості, низькі експлуатаційні витрати, високі економічні показники. У той же час питання, пов'язані з радіаційною дезінфекцією спеціального одягу, а особливо одягу який має утеплювачі недостатньо вивчені і розроблені [9-11].

Пропонується застосовувати метод дезінфекції одягу, заснований на застосуванні іонізуючого випромінювання. Сутність способу полягає в тому, що спеціальний одяг піддається обробці прискореними електронами [12]. Для радіаційного модифікування матеріалів, радіаційної полімеризації, стерилізації медичних виробів, обробки харчових продуктів, в радіаційно-фізичних технологіях, а також в екології для очищення стічних вод, викидних газів і обробки твердих відходів широко застосовуються електронні прискорювачі [13, 14].

Одним з основних критеріїв радіаційної обробки є поглинута доза. Доза в будь-якій точці ящика залежить від енергії електронів, середнього струму, ширини розгортки, швидкості конвеєра, товщини і щільності об'єкта, а також самого матеріалу, який знаходиться між вікном виведення пучка, і цією точкою. На дозу також може впливати наявність неоднорідностей в оброблюваному матеріалі внаслідок розсіювання електронів на межах розділу [15]. Встановлення максимально допустимого значення поглинутої дози є обов'язковою, тому що при перевищенні допустимого значення можна зруйнувати матеріал спеціального одягу. Якщо, матеріалу дати завищену дозу, то він буде розповзатися, якщо ще більшу, то буде розсіпатися. Якщо дати малу дозу, то матеріал не буде повністю дезінфікований. Поглинута доза визначається експериментальним шляхом, але така процедура витратна за часом та ресурсами і не завжди є можливість її проведення. У таких випадках для розрахунку поглинутої дози може застосовуватися математична модель.

Метою роботи є удосконалити математичну модель поглинутої дози спеціальним одягом, що опромінюється прискореними електронами.

Вирішення завдання

Для ефективного застосування обчислювальних методів використовують знання фізики процесу проходження прискорених електронів через речовину. Тому, для розрахунку поглинутої дози D_e речовиною

при проходженні прискорених електронів використовується наступна формула:

$$D_e = 1,6^{13} \Phi \frac{S_{col}}{\rho}, \quad (1)$$

де Φ – флюенс електронів (число частинок, які перетинають поверхню одиничної площі – $\Phi = N/S$), см^{-2} ; $\frac{S_{col}}{\rho}$ – гальмівна здатність речовини, $\text{MeV} \cdot \text{см}^2/\text{г}$.

Проведемо розрахунок ослаблення пучка прискорених електронів при проходженні через повітряний прошарок між джерелом електронів (прискорювачем) і об'єктом, що опромінюється. Нехай прискорювач електронів випромінює монохроматичне пучок прискорених електронів. Число взаємодій (розсіювання і поглинання) в нескінченно тонкому шарі речовини поглинача dx пропорційне концентрації атомів в речовині поглинача n , інтенсивності падаючого пучка N :

$$-dN = \mu' N dx, \quad (2)$$

де μ' – лінійний коефіцієнт ослаблення, см^{-1} .

Після інтегрування виразу (2) отримуємо закон ослаблення прискорених електронів в речовині поглинача (повітря):

$$N = N_0 e^{-\mu' x}, \quad (3)$$

де x – товщина поглинача, см .

Лінійний коефіцієнт ослаблення μ' залежить від максимальної енергії випромінювання E_{\max} і властивостей речовини – поглинача. При визначенні енергії β -частинок в першому наближенні μ' залежить від числа електронів n_e в одиниці об'єму речовини – поглинача. Останню величину, n_e , легко визначити за допомогою параметрів Z і A , числа Авогадро N_A і щільності речовини ρ , використовуючи співвідношення:

$$n_e = N_A \rho \frac{Z}{A}. \quad (4)$$

Вважаючи лінійний коефіцієнт ослаблення μ' пропорційним числу електронів n_e .

$$\mu' = K \cdot n_e, \quad (5)$$

де K – коефіцієнт пропорційності, отримуємо співвідношення:

$$\mu' = K N_A \rho \frac{Z}{A}. \quad (6)$$

Оскільки відношення Z/A для різних речовин – поглиначів змінюються в досить вузьких межах (0,5 – 0,4), практичніше користуватися замість лінійного коефіцієнта ослаблення μ' масовим коефіцієнтом ослаблення: $\mu = \mu'/\rho$ ($\text{см}^2/\text{г}$), який може бути знайдений в [16]. Таким чином ми можемо знайти μ' для даної речовини з табличних даних.

Так як опромінення матеріалу спеціального робочого одягу в наших умовах проводиться на

конвеєрі, то нам треба врахувати швидкість конвеєра, тобто необхідно враховувати час опромінення. Розглянемо зміни, які відбуваються за проміжок часу t . Так як, за визначенням флюенс дорівнює числу частинок, які перетинають поверхню площею S :

$$\Phi = \frac{N}{S}, \quad (7)$$

то за час t конвеєр пройде шлях, що дорівнює добутку швидкості конвеєра на час t , а площа S буде дорівнює добутку пройденого шляху на довжину обробленої ділянки об'єкта (довжина ящика, наповненого матеріалом спеціального робочого одягу) 1:

$$S = v \cdot t \cdot l. \quad (8)$$

І кінцева формула поглинутої дози рухомого об'єкта, що опромінюється приймає наступний вигляд:

$$D_e = 1,6 \cdot 10^{-13} N_0 \frac{e^{-\mu'x}}{v \cdot t \cdot l} \cdot \frac{S_{col}}{\rho}. \quad (9)$$

Відповідно до даних наведеними в [17], в НДК "Прискорювач" ННЦ ХФТІ випускне вікно має розміри 2x30 см. Для оцінки діаметр пучка приймемо рівним 1 см. Частота проходження імпульсів пучка - 12,5 - 300 Гц (для розрахунків цю величину приймемо рівній 100 Гц), частота сканування пучка - 3 Гц. Потужність пучка - 10 кВт, енергія - 10 МеВ. Струм пучка складе - 1 мА, що відповідає $N_0 = 6,24 \cdot 10^{15}$ електронів в імпульсі. Ширина верхнього спеціального одягу (в середньому) дорівнює 50 см, довжина - 70 см. Відстань між випускним вікном і об'єктом, що опромінюється - близько 1 м.

Також, будемо вважати, що матеріал спеціального одягу - целюлоза, так як бавовна складається з целюлози на 99,5%, її хімічна формула $[C_6H_{10}O_5]_n$ і щільність $1,5 \text{ г/см}^3$. Гальмівна здатність целюлози представлена на рис. 1.

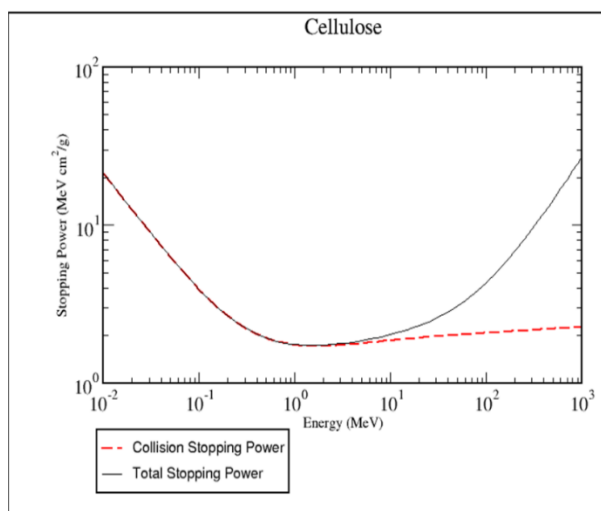


Рис. 1. Гальмівна здатність целюлози в залежності від енергії пучка електронів

Так як щільність повітря вкрай мала в порівнянні з опромінюваним об'єктом і становить $0,00129 \text{ г/см}^3$, і

на підставі рис. 2 для шару повітря в 1 м величина в розмірності осі ординат дорівнюватиме $0,129 \text{ г/см}^2$ величину $e^{-\mu'x}$ у формулі (9) приймемо рівної 0,9. І для заданої енергії 10 МеВ гальмівна здатність целюлози дорівнює $1,859 \text{ МеВ см}^2/\text{г}$.

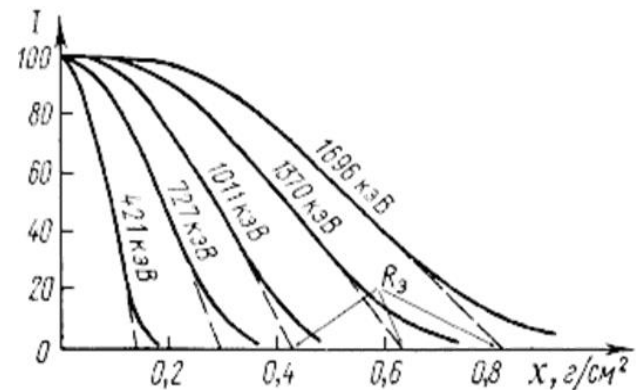


Рис. 2. Ослаблення інтенсивності пучка електронів в залежності від товщини повітря

Беручи до уваги перераховані вище параметри розрахуємо порядок обчислення параметрів, що залишилися у формулі (9), а саме $v \cdot t \cdot l$. За одну секунду пучок сканується три рази при цьому випускається 100 імпульсів пучків електронів і за цей час конвеєр проходить v сантиметрів. Площа пучка становить $0,7854 \text{ см}^2$. За 1 секунду загальна довжина опроміненого виробу складе 300 см. Приймемо швидкість конвеєра дорівнює 1 см/с . За 1 с прискорювач зробить 100 імпульсів електронів і беручи до уваги, що діаметр пучка - 1 см і ширина поверхні, що обробляється - 50 см, то на кожен сантиметр доведеться по 2 імпульси, таким чином N_0 у формулі (9) подвоюється. Узагальнюючи вищенаведені викладки формула (9) набуває такого вигляду з урахуванням частоти проходження імпульсів пучка, швидкості конвеєра і довжини об'єкта, який обробляється (крайовими ефектами нехтуємо і припускаємо, що обробляється об'єкт не довше ширини конвеєра):

$$D_e = 1,6 \cdot 10^{-13} \eta \cdot N_0 \frac{v \cdot d}{v \cdot l} \cdot \frac{S_{col}}{\rho}, \quad (10)$$

де η - коефіцієнт ослаблення при проходженні пучка прискорених електронів; N_0 - кількість електронів в імпульсі; v - частота проходження імпульсів пучка, Гц; d - діаметр пучка, см; v - швидкість конвеєра, см/с; l - ширина об'єкта, що обробляється, см; $\frac{S_{col}}{\rho}$ - гальмівна здатність речовини, $\text{МеВ} \cdot \text{см}^2/\text{г}$.

Використовуючи математичну модель можна розрахувати нормативні режими процесу дезінфекції спеціального одягу у вигляді частоти проходження імпульсів пучка та швидкості конвеєра. В якості прикладу приведено нормативні режими дезінфекції спеціального одягу у вигляді частоти проходження імпульсів пучка та швидкості конвеєра 0,5, 1 та 2 см/с для швейної вати на рис. 3.

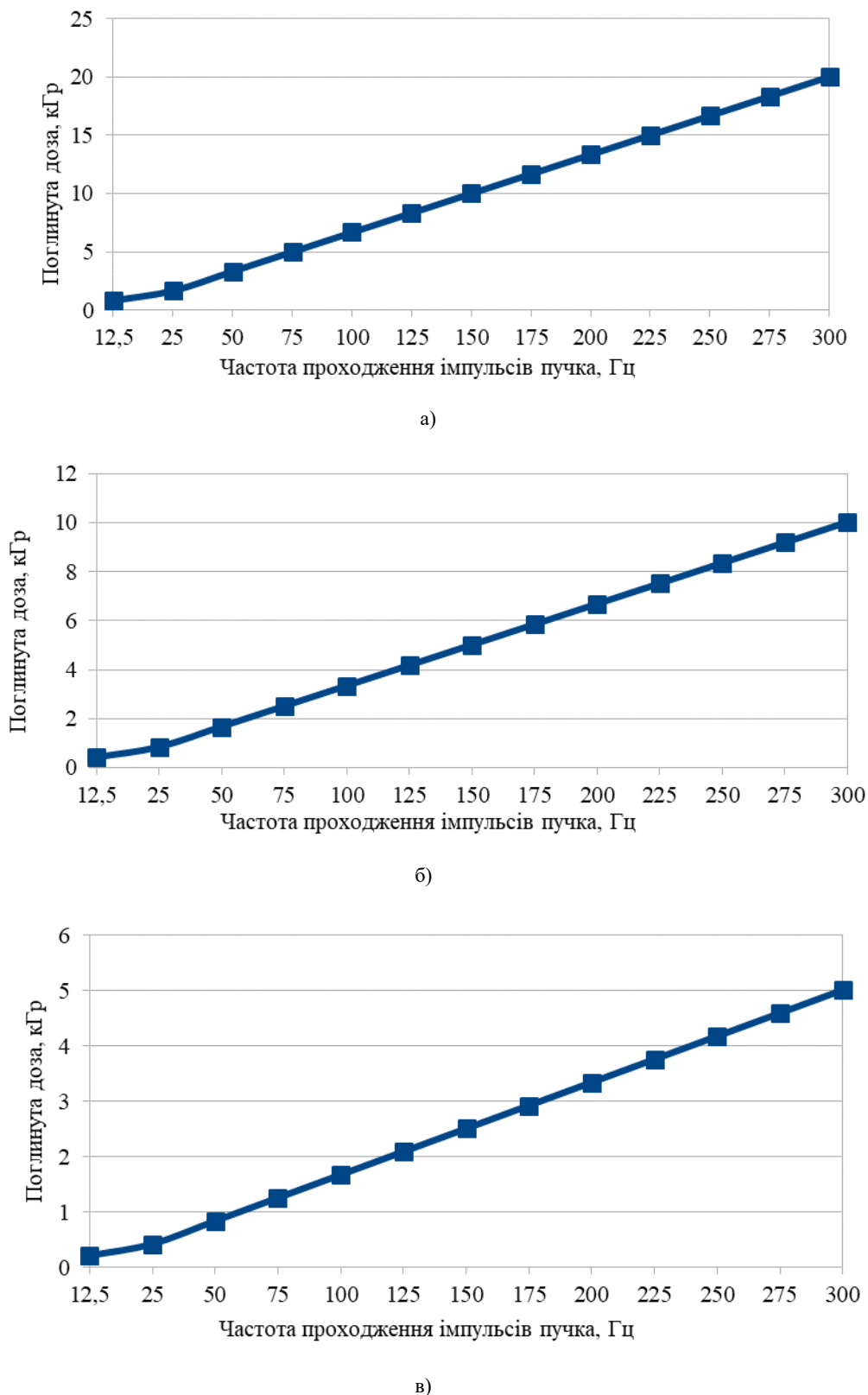


Рис. 3. Залежність поглинутої дози спеціальним одягом в залежності від частоти проходження імпульсів пучка для швидкості конвеєра: а) - 0,5 см/с; б) - 1 см/с; в) – 2 см/с

Висновки

Запропоновано удосконалену математичну модель поглинутої дози спеціальним одягом в залежності від частоти проходження імпульсів пучка

прискорених електронів швидкості конвеєра і геометричних параметрів об'єкта, для розрахунку технологічних режимів процесу радіаційної стерилізації. Удосконалена математична модель поглинутої дози спеціальним одягом дає можливість

розрахувати режими опромінення різних матеріалів спеціального одягу, які відрізняються розміром, формою і фізичними властивостями, що дозволить розробити систему нормативних режимів технології радіаційно-фізичної дезінфекції робочого одягу та

забезпечити законодавчі та нормативні вимоги гігієни праці. Відхилення показників розрахованої поглинутої дози з експериментально вимірююю не перевищує 7%.

Список літератури

1. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 р. №2695-XII. Законодавство України: веб сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 29.05.2020).
2. Про затвердження Мінімальних вимог безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками засобів індивідуального захисту на робочому місці. Законодавство України: веб сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1494-18> (дата звернення: 29.05.2020).
3. Технічний регламент засобів індивідуального захисту: Постанова Кабінету Міністрів України від 27.08.2008 р. № 761: веб сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2008-%D0%BF> (дата звернення: 29.05.2020).
4. Про затвердження Переліку національних стандартів, добровільне застосування яких може сприйматися як доказ відповідності засобів захисту вимогам Технічного регламенту засобів індивідуального захисту. Наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України від 10 грудня 2013 року № 1462: веб сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va462731-13> (дата звернення: 29.05.2020).
5. Третьякова Л. Д., Остапенко Н. В. Оцінювання ризику у використанні захисного одягу. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2016. № 32. С. 57–66.
6. Ромась М. Д., Цибульська О. В. Щодо визначення потреби в засобах індивідуального захисту для працівників на виробництві. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2015. № 29. С. 88–102.
7. Fernández L., Gutiérrez D., Martínez B., Rodríguez A. Effective Methods for Disinfection and Sterilization. *Antibiotic Drug Resistance*. 2019. P. 567–587. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119282549.ch22>
8. Gutarowska B., Pietrzak K., Machnowski W., Milczarek J. M. Historical textiles – a review of microbial deterioration analysis and disinfection methods. *Textile Research Journal*. 2016. № 87 (19). P. 2388–2406. DOI: 10.1177/0040517516669076
9. Ehlermann D. A. E. The early history of food irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*. 2016. № 129, P. 10–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.07.024>
10. Chmielewski A. G., Al-Sheikhly M., Berejka A. J., Cleland M. R. Recent developments in the application of electron accelerators for polymer processing. *Radiation Physics and Chemistry*. 2014. № 94, P. 147–150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2013.06.024>
11. Грицан Л. Д., Помацалюк Р. И., Уваров В. Л. Стерилизация лекарственных средств на ускорителе электронов ЛУ-10 НИЦ ХФТИ. *Вопросы атомной науки и техники*. 2017. № 6 (112). С. 157–161.
12. Черняк О. М. Метод обробки радіаційними технологіями спеціального одягу для забезпечення гігієни праці. *Вісник НТУ "ХПІ", Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2018. № 16 (1292). С. 84–89. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2018.16.12>
13. Черняев А. П., Варзарь С. М. Ускорители в современном мире. *Ядерная физика*. 2014. Т. 77. № 10. С. 1266–1278.
14. Довбня А. Н., Мазилев А. В. Ускоритель электронов: дозиметрия и радиационные риски: монография. Харьков, 2014. 380 с.
15. Титов Д. В., Ноздрачева Е. Л., Шевченко В. А. Метод измерения поглощенной дозы при обработке продукции на линейном ускорителе электронов. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія : Електроенергетика та перетворювальна техніка. Прилади та методи контролю та визначення складу речовин*. 2014. № 19. С. 58–64.
16. Berger M. J., Coursey J., Zucker M., Chang J. Stopping-power and range tables for electrons, protons, and helium ions: NIST Standard Reference Database 124: веб сайт. URL: <https://www.nist.gov/pml/stopping-power-range-tables-electrons-protons-and-helium-ions> (дата звернення: 29.05.2020).
17. Борискин В. Н., Ванжа С. А., Верещака В. Н. Развитие радиационных технологий и испытаний в НИК "Ускоритель" НИЦ ХФТИ. *Вопросы атомной науки и техники*. 2008. № 5. С. 150–154.

References

1. On labor protection: Law of Ukraine of 14.10.1992. No 2695-XII, ["Pro okhoronu praci: Zakon Ukrajinjy vid 14.10.1992. No 2695-XII"], available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (last accessed: 29.05.2020).
2. "On approving the minimum safety and health workers using personal protective equipment at the workplace", ["Pro zatverdzhennja minimal'nykh vymogh bezpeky i okhorony zdorov'ja pry vykorystanni pracivnykamy zasobiv indyvidual'nogho zakhystu na robochomu misi"], available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1494-18> (last accessed: 29.05.2020).
3. "Technical regulations personal protective equipment: Cabinet of Ministers of Ukraine of 27.08.2008 No 761", ["Tekhnichnyj rehhlament zasobiv indyvidual'nogho zakhystu: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrajinjy vid 27.08.2008 No 761"], available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2008-%D0%BF> (last accessed: 29.05.2020).
4. "On approving the list of national standards voluntary application of which can be seen as proof of means of protection requirements of the Technical Regulations PPE. Order of the Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine dated December 10, 2013 No 1462", ["Pro zatverdzhennja Pereliku nacional'nykh standartiv, dobrovil'jne zastosuvannja jakykh mozhe spryjmatysja jak dokaz vidpovidnosti zasobiv zakhystu vymogham Tekhnichnogho rehhlamentu zasobiv indyvidual'nogho zakhystu. Nakaz Ministerstva ekonomichnogho rozvytku i torghivli Ukrajinjy vid 10 ghurdnja 2013 roku No 1462"], available at: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va462731-13> (last accessed: 29.05.2020).
5. Tretyakova L. D., Ostapenko, N. V. (2016) "Risk assessment in the use of protective clothing", ["Ocinjuvannja ryzyku u vykorystanni zakhysnogho odjaghu"], *Labor protection problems in Ukraine*, No. 32, P. 57–66.

6. Romas, M. D., Tsibulska, O. V. (2015), "Regarding the determination of the need for personal protective equipment for workers in the workplace", ["Shhodo vyznachennja potreby v zasobakh individualnogo zakhystu dlja pracivnykiv na vyrobnyctvi"], *Labor protection problems in Ukraine*, No. 29, P. 88–102.
7. Fernández, L., Gutiérrez, D., Martínez, B., Rodríguez, A. (2019), "Effective Methods for Disinfection and Sterilization", *Antibiotic Drug Resistance*, P. 567–587. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119282549.ch22>
8. Gutarowska, B., Pietrzak, K., Machnowski, W., & Milczarek, J. M. (2016), "Historical textiles – a review of microbial deterioration analysis and disinfection methods", *Textile Research Journal*, No. 87 (19), P. 2388–2406. DOI: <https://doi.org/10.1177/0040517516669076>
9. Ehlermann, D. A. E. (2016), "The early history of food irradiation", *Radiation Physics and Chemistry*, No. 129, P. 10–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.07.024>
10. Chmielewski, A. G., Al-Sheikhly, M., Berejka, A. J., Cleland, M. R. (2014), "Recent developments in the application of electron accelerators for polymer processing", *Radiation Physics and Chemistry*, No. 94, P. 147–150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2013.06.024>
11. Gritsan, L. D., Pomatsalyuk, R. I., Uvarov, V. L. (2017), "Sterilization of pharmaceuticals at a LU-10 electron accelerator of NSC KIPT", ["Sterilizatsiya lekarstvennykh sredstv na uskoritele elektronov LU-10 NNTs KhFTI"], *Problems of atomic science and technology*, No. 6 (112), P. 157–161.
12. Cherniak, O. (2018), "The method of processing the special clothes of radiation technology to provide occupational health" ["Metod obrobky radiacijnykh tekhnologijamy specialnogo odjaghu dlja zabezpechennja ghigijeny praci"], *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*, No. 16 (1292), P. 84–89. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2018.16.12>
13. Chernyayev, A. P., Varzar, S. M. (2014), "Accelerators in the modern world" ["Uskoriteli v sovremennom mire"], *Nuclear physics*, Vol. 77. No. 10, P. 1266–1278.
14. Dovbnya, A. N., Mazilov, A. V. (2014), Electron accelerator: dosimetry and radiation risks: monograph, [Uskoritel' elektronov: dozimetriya i radiatsionnye riski: monografiya], Mis'kdruk, Kharkov, 380 p.
15. Titov, D. V., Nozdracheva, E. L., Shevchenko, V. A. (2014), "Method for measurement of absorbed dose in the processing of products on the linear electron accelerator", ["Metod izmerenija pogloshhennoj dozy pri obrabotke produktsii na linejnom uskoritele jelektronov"], *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Electricity and converting equipment. Instruments and methods for monitoring and determining the composition of substances*, No. 19, P. 58–64.
16. Berger M. J., Coursey J., Zucker M., Chang J. "Stopping-power and range tables for electrons, protons, and helium ions: NIST Standard Reference Database 124", available at: <https://www.nist.gov/pml/stopping-power-range-tables-electrons-protons-and-helium-ions> (last accessed: 29.05.2020).
17. Boriskin, V. N., Vanzha, S. A., Vereshhaka, V. N. (2008), "Development of radiation technologies and tests at SRC "Accelerator" NSC KIPT", ["Razvitie radiatsionnykh tekhnologiy i ispytaniy v NIK "Uskoritel" NNTs KhFTI"], *Problems of atomic science and technology*, No. 5, P. 150–154.

Надійшла (Received) 12.05.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Черняк Олена Миколаївна – кандидат технічних наук, Українська інженерно-педагогічна академія, асистент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації, Харків, Україна; email: olena-cherniak@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6167-8809>.

Черняк Елена Николаевна – кандидат технических наук, Украинская инженерно-педагогическая академия, ассистент кафедры охраны труда, стандартизации и сертификации, Харьков, Украина.

Cherniak Olena – PhD (Engineering Sciences), Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Assistant of the Department of Labour Safety, Standardization and Certification, Kharkiv, Ukraine.

Бурдейна Вікторія Михайлівна – кандидат технічних наук, Українська інженерно-педагогічна академія, доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації, Харків, Україна; email: zamorskavika@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0026-1900>.

Бурдейная Виктория Михайловна – кандидат технических наук, Украинская инженерно-педагогическая академия, доцент кафедры охраны труда, стандартизации и сертификации, Харьков, Украина.

Burdeina Viktoriia – PhD (Engineering Sciences), Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Docent of the Department of Labour Safety, Standardization and Certification, Kharkiv, Ukraine.

Артюх Світлана Миколаївна – кандидат технічних наук, Українська інженерно-педагогічна академія, доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації, Харків, Україна; email: artyhsn@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0804-6313>.

Артюх Светлана Николаевна – кандидат технических наук, Украинская инженерно-педагогическая академия, доцент кафедры охраны труда, стандартизации и сертификации, Харьков, Украина.

Artiukh Svitlana – PhD (Engineering Sciences), Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Docent of the Department of Labour Safety, Standardization and Certification, Kharkiv, Ukraine.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ, ОБЛУЧАЕМОЙ УСКОРЕННЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ

Предметом исследования в статье является математическая модель поглощенной дозы специальной одежды. Цель работы - усовершенствовать математическую модель поглощенной дозы специальной одежды, облучаемой ускоренными электронами. В статье решаются следующие **задачи**: исследовать возможность применения усовершенствованной математической модели поглощенной дозы специальной одежды в зависимости от частоты прохождения импульсов пучка ускоренных электронов, скорости конвейера и геометрических параметров объекта, для расчета технологических режимов процесса радиационной стерилизации. Используются следующие **методы**: математической физики. Получены следующие **результаты**: отмечено о важности ухода за специальной одеждой рабочих; определены недостатки современных методов дезинфекции и обоснована необходимость дезинфекции специальной одежды ускоренными электронами с помощью специальных ускорителей электронов; установлено, что основным критерием радиационной дезинфекции является поглощенная доза и обоснована необходимость определения максимально допустимого значения дозы с помощью математической модели. Усовершенствованная математическая модель поглощенной дозы специальной одежды даст возможность рассчитать режимы облучения различных материалов специальной одежды, которые отличаются размером, формой и физическими свойствами, что позволит разработать систему нормативных режимов технологии радиационно-физической дезинфекции рабочей одежды и обеспечить законодательные и нормативные требования гигиены труда. Рассчитано нормативные режимы процесса дезинфекции специальной одежды в виде зависимости поглощенной дозы в зависимости от частоты следования импульсов пучка и скорости конвейера. **Выводы**: усовершенствована математическая модель поглощенной дозы специальной одежды в зависимости от частоты прохождения импульсов пучка ускоренных электронов, скорости конвейера и геометрических параметров объекта, и применены для расчета нормативных технологических режимов процесса дезинфекции специальной одежды.

Ключевые слова: математическая модель; поглощенная доза; ускоренные электроны; специальная одежда; дезинфекция.

IMPROVEMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE DOSE ABSORBED BY SPECIAL CLOTHING IRRADIATED WITH ACCELERATED ELECTRONS

The **subject** of the research in the article is a mathematical model of the dose absorbed by special clothing. The **goal** of the work is to improve the mathematical model of the dose absorbed by special clothing irradiated with accelerated electrons. The following **tasks** are solved in the article: to investigate the possibility of using the improved mathematical model of the dose absorbed by special clothing depending on the frequency of the beam pulses of accelerated electrons, conveyor speed and geometrical parameters of the object, to calculate the technological modes radiation sterilization process. The following **methods** are used – mathematical physics. The following **results** have been obtained: the importance of caring for workers' special clothing was noted; the shortcomings of modern disinfection methods were identified and the need for disinfection of special clothing with accelerated electrons using special electron accelerators was justified; it has been established that the main criterion for radiation disinfection is the absorbed dose; the necessity of determining the maximum allowable dose using the mathematical model was justified. An improved mathematical model of the dose absorbed by special clothing makes it possible to calculate the irradiation modes of various materials of special clothing that differ in size, shape and physical properties, which will allow us to develop a system of regulatory regimes for radiation-physical disinfection of work clothes and ensure legislative and regulatory requirements for occupational health. The normative regimes of the process of special clothes disinfection are calculated in the form of the dependence of the absorbed dose depending on the pulse repetition rate and the conveyor speed. **Conclusions**: the mathematical model of the dose absorbed by special clothing was improved depending on the frequency of the pulses of the accelerated electron beam, the conveyor speed and the geometric parameters of the object. It was used to calculate the regulatory technological modes of the process of disinfection of special clothes.

Keywords: mathematical model; absorbed dose; accelerated electrons; special clothing; disinfection.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Черняк О. М., Бурдейна В. М., Артюх С. М. Удосконалення математичної моделі поглинутої дози спеціальним одягом, що опромінюється прискореними електронами. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 75–81. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.075>.

Cherniak, O., Burdeina, V., Artiukh, S. (2020), "Improvement of the mathematical model of the dose absorbed by special clothing irradiated with accelerated electrons", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 75–81. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.075>.

A. SHAKHOV, V. PITERSKA

RISK MANAGEMENT MECHANISMS FOR PROJECT IMPLEMENTATION WITHIN THE FRAMEWORK OF INNOVATIVE PROGRAMS

The **subject** matter of the article is the methods, models and mechanisms of risk-based management of innovative programs. The **goal** of the work is to develop a risk management mechanism for innovation projects implemented as part of the innovative programs implementation taking into account insurance methods. The following **tasks** were solved in the article: analysis of the innovation management model of enterprises and organizations in Ukraine and abroad, the study of modern risk management methods for innovative projects, the development of a risk insurance mechanism for innovative programs taking into account the project management methodology. The following **methods** are used: project and program management methods, systems theory and systems analysis, risk management methods. The following **results** were obtained: the definitions of innovation, innovation activity management, innovation program, innovation project risk were clarified; the main types of risks arising from the implementation of innovation programs were identified; a mechanism of risk-oriented innovation activity management based on the project management methodology taking into account risk insurance methods was proposed. **Conclusions:** The paper analyzes the features of the implementation of innovative activities. It is established that the peculiarity of the implementation of innovative projects is the significant uncertainty of the results. It is indicated that during the initiation and implementation of an innovation program, it is necessary to determine the probability of its successful implementation based on the use of risk management models and methods in accordance with the ISO 31000 standard. The paper shows the appropriateness of applying the insurance method when implementing risk management mechanisms of the innovation program. Moreover, it was prescribed that the level of risk in the development and commercialization of products of innovative projects is directly dependent on the degree of innovation of the innovation, that is, the higher the novelty of the innovative product, the higher the risk level relative to its relevance. The use of insurance mechanisms in managing the risks of the innovation program allows to transfer part of the risks of program participants to insurance companies in the amount of a certain calculated insurance amount. It has been established that insurance of risks of the innovation program does not change the existing risk parameters, but provides protection against possible adverse financial consequences of the implementation of the risk, which is important in the conditions of implementation of products of innovative projects. To reduce the cost of insurance and related expenses of organizations within the framework of the implementation of the innovation program, this tool should be used in combination with other methods of risk management of organizations.

Keywords: project and program management; risk management; innovation program; insurance.

Introduction

In the second half of the 1990s, the governments of almost all Western European countries adopted programs to stimulate and develop innovation aimed at spreading innovation in countries. Efforts have been made in all Western European countries to form structural elements and mechanisms for implementing innovation policy.

The most favorable climate for the development of innovative entrepreneurship was created in the countries of Northern Europe, which allowed them to become leaders in innovative development in the Western European region. The countries of Northern Europe, as well as Great Britain, Germany and France are the most active participants in innovative cooperation through the EU.

In the countries that are leaders in the field of innovation, there is a concentration of the world's largest financial flows, a significant concentration of the most profitable industries of high-tech products with the highest value added in the price of the product. In these countries, the industrial and technological cycle of environmentally friendly and resource-intensive production of innovative products is made outside the state.

In the world literature, innovation is interpreted as the transformation of potential scientific and technological progress into real, embodied in new products and technologies [1].

Stimulating the development of innovation cannot be limited to a one-time stimulation of only one type of

research or development through budget funding (direct funding or taxation).

The level of uncertainty of the results of innovative activities is associated with the difficulty of attracting sources of funding, lack of skills, the complexity of their motivation, organizational aspects of the creation and operation of knowledge-intensive enterprises, features of the production cycle, imperfections [2].

However, high risk is accompanied by a significant degree of compensation that is high profits from the implementation of innovation results.

Research costs are certainly a necessary component of successful development, but due to the increased risk, most companies around the world are quite wary of fundamentally new developments, preferring to go the way of slightly improving existing products and technologies. It should be clearly understood that a certain part of innovation projects inevitably turns out to be unrealized. This is evidenced by the fact that of the total number of projects related to the development and marketing of new products, about 40% of projects related to the production of consumer goods, 20% of projects related to the production of goods industrial purposes and 18% of projects related to the provision of services [3]. At the same time, about 50% of the costs of creating and promoting innovations fall on products that have not found demand, and 30% of innovations that have gained market recognition, are kept there for a very short time [4].

For example, in the United States, about 60% of research and development does not reach the market.

According to US analysts, of the 11,000 innovative products produced by 77 companies, only 56% remained on the market five years later, only 1 in 13 promising innovative projects is put into practice, 46% of the cost of creating and promoting innovation is accounted for by goods that have not been sold [5].

Analysis of recent research and publications

For enterprises involved in innovation, ignoring or insufficient consideration of the risk of innovation can lead to many undesirable economic results, including: the formation of excess stocks of unsold products, reduced profits compared to expectations, reduced investment efficiency, unplanned labor costs, material or financial resources, the emergence of lost profits as a result of delays in the implementation of innovative solutions [6, 7].

Despite the potential danger of consequences and losses caused by the realization of one or another type of risk of innovation, innovation is a catalyst for progress, a source of possible profit [8].

In [9, 10] the risk of innovation is defined as the probability of losses that occur when an entrepreneurial firm invests in the production of innovations that will not be in demand in the market, as well as when investing in the development of new management decisions that will not give the expected result.

In [11-13] innovation risk means the measured probability of loss of profit or loss of value of the portfolio of financial assets, income from a venture (innovation) project, a venture company as a whole when investing in the production of new goods and services, in the development of new equipment and technology, which may not find the expected demand in the market, as well as when investing in the development of management innovations that will not bring the expected effect.

In [14] innovation risk is interpreted as a type of risk that occurs in any activity related to innovation processes, production of new products, goods, services, their operations, commerce, implementation of socio-economic and scientific and technical projects.

Innovation risk factors caused by uncertainty are all risks that arise in the course of innovation, which can be divided into two groups. External factors are related to the state of the external environment in which the implementation of innovative activities, and include risks due to the activities of the state, the environment and the environment. Internal factors are related to the internal environment of the scientific organization, ie due to the peculiarities of the implemented research project: the risks of staffing associated with the staff of the organization, and technical risks associated with the property [15].

Thus, the intensification of innovation activities of domestic enterprises can be ensured only by developing an effective mechanism for managing innovation risks, which minimizes possible losses and maximizes profits through the development and implementation of risk-oriented management system taking into account certain factors.

The project analysis should take into account risk factors, identify as many types of risks as possible and try to minimize the overall risk of innovation.

The purpose of this article is to develop a risk management mechanism for innovative projects that are implemented in the implementation of innovative programs, taking into account the methods of insurance.

Presentation of the main material

One of the reasons for the failure to master many innovative developments is insufficient consideration of the risk factor. Failures related to the introduction of innovative products on the market are 32% caused by underestimation of market requirements, 13% – erroneous sales policy, 14% – high price of goods, 10% – errors in determining the time of entry into the market, 8% – high competition and 23% – technical imperfections of new products [16]. However, there are other statistics: in the first place is the risk due to errors in determining consumer demand (45% of failures), then - associated with product defects (29%), insufficient advertising (25%), overpricing (19%), competition (17%), erroneous determination of time to market (14%) [17].

First, the concepts should be clarified [18].

Innovation is the result of innovative activities in the form of goods, services or technologies that create new value (added value) and contain signs of scientific and technical novelty and the possibility of practical application to obtain a socio-economic effect. Innovative activity is the process of creating new scientific knowledge and transforming it into new types of competitive goods, services or technologies.

Innovation management is a system of organizational-economic and psychological-social models and methods, forms and methods of creating innovations based on the methodology of project, program and portfolio management.

Innovation program is a set of projects combined with a single goal that is to obtain a socio-economic effect from the implementation of the results of innovation (implementation of an innovative product).

An essential feature of innovation is its significant uncertainty. The probability of successful implementation of the program must be taken into account when initiating and executing it. Risk management models and methods in accordance with ISO 31000 should be used to address this issue.

It is the presence of significant risks that forces businesses to be very careful about participating in innovative programs. Risk is the effect of uncertainty on the goal [19, 20].

The level of risk that arises when developing and promoting new products is directly dependent on the degree of novelty of the innovation: the higher the novelty, the higher the uncertainty of how the product will be perceived by the market.

One of the factors of successful existence and further development of an innovation-active enterprise is the ability to manage innovation risks, ie the ability to

anticipate the least costly financial costs necessary and sufficient to reduce the likelihood of risk situations, and in case of their occurrence - the ability to localize negative events. The risk management system of innovations in the enterprise should be built on a single methodological basis, but should have a different degree of detail, depending on the type of innovation.

The need to study the causal links and ways to reduce the consequences of the risks of innovation is due to the presence of many forms of risk of innovation with different consequences that need to be prevented and eliminated in a timely manner.

The main results of qualitative risk analysis of innovation are:

- identification of specific risks of the research project and the reasons that give rise to them;
- analysis and calculation of the cost equivalent of the hypothetical consequences of the possible realization of these risks;
- proposing measures to minimize damage;
- cost assessment of risks.

Additional, but also very significant results of the qualitative analysis include the determination of the boundary values of the possible change of all factors (variables) of the project that are tested for risk.

The risks of innovative programs are proposed to be divided into the following types [21]:

- the risk of investment unattractiveness of the program;
- risk of lack of necessary resources;
- the risk of non-fulfillment of contractual terms between the participants of the innovation program in terms of quality and quality;
- scientific and technical risks;
- risk of deviation in terms of implementation of stages of the innovation program;
- risk of deviation of parameters of design and development developments;
- the risk of non-compliance of personnel with the requirements of the program;
- negative results of the program (uncompetitive innovative product);
- the risk of non-compliance of the technical level of production with the technical level of the innovative product;
- legal collateral risk;
- risk of patent protection (erroneous choice of the territorial nature of patenting, non-receipt or delay of patenting, restrictions in terms of patent protection);
- the risk of expiration of the license or certificate for the manufacture and use of an innovative product;
- the risk of losing already developed technical solutions;
- the risk of competitors having new technologies for developing an innovative product;
- environmental risk;
- marketing risk.

If we consider the risk management system of innovation, the methods of reducing their level can be divided into the following: distribution method, hedging method, limiting method, reservation method,

diversification method, risk transfer, insurance method [22].

In addition to the listed risk management methods, direct impact on managed risk factors is used to reduce the negative consequences or reduce the level of innovation risk, which includes:

- analysis and evaluation of the innovation project;
- verification of candidates for partners in the innovation project;
- planning and forecasting of innovative activity;
- creation of innovative mood of management at all levels of management, neutralization of resistance to changes, stimulation of various initiatives.

The method of risk allocation is to transfer the maximum responsibility for the risk of the participant who can best control it. The distribution of risk between the participants of innovation increases the reliability of achieving results.

The method of diversification provides a reduction in innovation risks through the distribution of research and investment in multidirectional innovation projects that are not directly related to each other. Diversification is the dispersal of innovation risk [22].

The method of limitation involves limiting the maximum amounts of costs, sales, and credits. This method is used by banks to reduce the degree of risk when lending to innovators, and to companies - when selling goods on credit and determining the amount of capital investment in various innovative projects [26].

At the enterprise limitation is realized by establishment of the corresponding internal financial specifications in the course of development of policy of implementation of various aspects of financial activity and does not demand high financial expenses.

The hedging method is an effective way to reduce the risk of adverse changes in price conditions through the conclusion of futures contracts (futures and options). This method is mandatory for the seller and optional for the buyer [22].

The method of redundancy ensures the reliability of the system by forming a reserve, which compensates for the loss due to the failure of one of the elements of the system [22].

The amount of the reserve should be equal to or greater than the amount of possible losses, but the cost of maintaining reserves should not exceed the cost of restoring system failure.

Reservation of funds is advisable in case of losses, which is a consequence of:

- possible refusal of further development of products and termination of the project due to the implementation of a pessimistic scenario of project development;
- excess of total costs allocated according to the project budget;
- exceeding the deadline for completion of the draft directive. Such directive terms of product development can be determined by contracts, orders and other documents. For example, the directive period for the development of small aircraft is determined by three years.

Transfer (transfer) of risk is a method of reducing innovation risk by concluding appropriate contracts that provide for the transfer of responsibility for the risk to someone else.

This method is used in cases where the magnitude of the possible risk is unacceptable for an innovative enterprise.

Insurance as a method of risk reduction involves the creation of a special fund and its use to overcome by paying insurance compensation for various losses, losses caused by adverse events (insured events) [22].

The peculiarity of insurance is the presence of two parties: a special organization (insurer) that accumulates the relevant funds, and legal entities and individuals (insurers) who make the established payments to the fund. Their mutual obligations are regulated by the contract.

Of all the forms of risk management, insurance most fully meets the ideal conditions, as resources to cover the losses of an innovative firm come from insurance companies faster than from any other source.

Thanks to insurance, the state gets the opportunity to relieve itself of the burden of costs on various payments.

The use of insurance as a method of risk sharing of the innovation program allows you to transfer part of the risks of program participants to insurance companies in the amount of a certain sum insured. At the same time, insurance does not change the existing risk parameters, but provides protection against possible adverse financial consequences of the risk, which is very important in the implementation of innovations. To reduce the cost of insurance and the corresponding costs of organizations in the implementation of the innovation program, this tool should be used in combination with other methods of risk management of organizations.

Accordingly, the high risks of innovative projects still remain without sufficient insurance protection, which objectively reduces the opportunities for innovative development.

However, the insurance method of risk minimization has a number of limitations. First of all, it is a high amount of insurance premium established by the insurance organization when concluding an insurance contract, especially when insuring innovation risks.

Another limitation of the use of the insurance method is its unavailability: some risks are not accepted for insurance. Thus, if the probability of a risky event is very high, insurance companies either do not undertake to insure this type of risk, or impose exorbitant payments. Therefore, if the risk cannot be insured, the company should resort to its own sources; use the accumulated reserves and the method of self-insurance.

Insurance is not only a method of reducing innovation risks, but also in itself helps to increase the innovative activity of the economy. To stimulate innovation, you can use such a method as benefits to innovative enterprises for insurance premiums, including mandatory pension, health and social insurance paid to employees of enterprises engaged in innovative activities.

In Ukraine, insurance of scientific activity of higher education institutions does not occur due to the uncertainty of the results of the research project and the

high probability of obtaining a non-competitive innovative product. However, according to international experience, innovation insurance is considered appropriate.

When calculating the insurance rate for the innovation program, we will use the insurance payment, which determines the amount to be paid by the participant of the innovation activity to the insurance company to prevent possible losses in the event of a risk situation and ineffective result.

The gross rate for insurance of the results of the innovation program with the inclusion of innovative projects in the portfolio is determined as follows:

$$U_g = \frac{1}{1-f} * \sum_{i=1}^I U_{Noi}, \quad (1)$$

where U_{Noi} – net tariff rate for i -th project insurance in the portfolio; f – share of load in the gross rate (administrative costs of the insurance company).

The net rate is determined by the formula:

$$U_{Noi} = U_{xti}^{Yes} + U_{xti}^{No}, \quad (2)$$

where U_{xti}^{Yes} – one-time rate for completion of the i -th innovation project for the insured payback period x years with insurance period t years; U_{xti}^{No} – one-time rate in case of failure of the i -th innovation project for the insured payback period of years with an insurance period of t years.

Let's calculate the rate in case of completion of the innovation program:

$$U_{xti}^{Yes} = \frac{N_{t+x}g}{N_x[(1+g)^t - 1]} S_i, \quad (3)$$

where g – rate of return (% per annum); S_i – funds to be received by the participant of the i -th innovation project in case of an insured event (insurance amount) during the implementation of the program; t – insurance period; N_{t+x} – the number of projects in the portfolio with a payback period of $t+x$ years; N_x – the number of projects in the portfolio with a payback period of x years.

The rate in case of a failed (unprofitable) innovation program is determined by the formula:

$$U_{xti}^{No} = \frac{N_{dx}g}{N_x[(1+g)^t - 1]} + \frac{N_{dx}^2 + \dots + N_{d(x+t-1)}^t}{N_x[(1+g)^{t+x} - 1]} S_i, \quad (4)$$

where N_{dx} – the number of unsuccessful innovation projects in the transition from payback period x to payback period $x+1$.

According to the mathematical transformation, the formula for determining the gross tariff rate takes the form:

$$U_{gi} = \frac{1}{1-f} \left(\frac{(N_{t+x} + N_{dx})g}{N_x[(1+g)^t - 1]} + \frac{N_{dx}^2 + \dots + N_{d(x+t-1)}^t}{N_x[(1+g)^{t+x} - 1]} \right) S_i. \quad (5)$$

In this case, a fair statement for I -projects in the portfolio when incurring costs in the amount S with a probability P :

$$\sum_{i=1}^I \left(P_i^{INV} * s_i^{INV} + P_i^{RES} * s_i^{RES} + P_i^{CONTR} * s_i^{CONTR} + P_i^{NTR} * s_i^{NTR} + P_i^{TERM} * s_i^{TERM} + P_i^{DEV} * s_i^{DEV} + P_i^{PERS} * s_i^{PERS} + P_i^{NOT} * s_i^{NOT} + P_i^{TECH} * s_i^{TECH} + P_i^{LAW} * s_i^{LAW} + P_i^{PAT} * s_i^{PAT} + P_i^{LIC} * s_i^{LIC} + P_i^{LOST} * s_i^{LOST} + P_i^{KON} * s_i^{KON} + P_i^{EC} * s_i^{EC} + P_i^{MAR} * s_i^{MAR} \right) \leq S_i, \quad (6)$$

where P_i^{INV} , s_i^{INV} – probability and costs incurred in case of risk of investment unattractiveness of the program, respectively;

P_i^{RES} , s_i^{RES} – probability and costs incurred in the event of a risk of lack of necessary resources, respectively;

P_i^{CONTR} , s_i^{CONTR} – probability and incurred costs in case of risk of non-fulfillment of contractual terms between the participants of the innovation program in terms of quality and quality, respectively;

P_i^{NTR} , s_i^{NTR} – probability and costs incurred in the event of scientific and technical risk, respectively;

P_i^{TERM} , s_i^{TERM} – probability and incurred costs in case of risk of deviation in terms of implementation of stages of the innovation program, respectively;

P_i^{DEV} , s_i^{DEV} – probability and incurred costs in case of risk of deviation of design parameters, respectively;

P_i^{PERS} , s_i^{PERS} – probability and costs incurred in case of risk of non-compliance of personnel with the requirements of the program, respectively;

P_i^{NOT} , s_i^{NOT} – probability and costs incurred in case of risk of negative program results (obtaining a non-competitive innovative product), respectively;

P_i^{TECH} , s_i^{TECH} – probability and costs incurred in case of risk of non-compliance of the technical level of production with the technical level of the innovative product, respectively;

P_i^{LAW} , s_i^{LAW} – probability and costs incurred in the event of a risk of legal security, respectively;

P_i^{PAT} , s_i^{PAT} – probability and costs incurred in case of patent protection risk (erroneous choice of territorial nature of patenting, non-receipt or delay of patenting, limitation in terms of patent protection), respectively;

P_i^{LIC} , s_i^{LIC} – probability and costs incurred in case of risk of expiration of the license or certificate for the manufacture and use of an innovative product, respectively;

P_i^{LOST} , s_i^{LOST} – probability and incurred costs in case of risk of loss of already developed technical solutions, respectively;

P_i^{KON} , s_i^{KON} – probability and incurred costs in case of risk of competitors developing new technologies for the development of an innovative product, respectively;

P_i^{EC} , s_i^{EC} – probability and costs incurred in case of environmental risk, respectively;

P_i^{MAR} , s_i^{MAR} – probability and costs incurred in the event of marketing risk, respectively.

Of course, to achieve more effective results, as a rule, not one, but a set of methods to minimize risks at all stages of innovation is used.

When forming an innovation risk management system, it is necessary to take into account that different projects and their different stages have their own risks and potential profitability. Therefore, one of the main tasks of innovation is the mutual connection of the interests of all actors involved in the implementation of innovative projects.

Conclusions

An essential feature of the process of implementation of innovative projects is its increased risk, which forces business structures to be very careful to participate in innovation programs. The probability of successful implementation of the innovation program must be taken into account when initiating and implementing it, taking into account the use of risk management models and methods according to ISO 31000.

The main types of risk situations that arise in the process of implementing innovative programs are identified in the work.

Also, a risk management mechanism for innovative projects has been developed, which allows to provide compensation for possible losses from the occurrence of a risk situation during the implementation of innovative projects on the basis of the insurance method.

For more successful operation of innovation risk insurance mechanisms, the methodology of project and program management should be used, as well as the introduction of comprehensive state support and ensure the normalization of the economic situation in the country. Despite all the problems associated with the introduction of risk insurance mechanisms in innovation, it seems rational that the needs for this type of insurance are objective, given the need to compensate for the costs incurred in case of risk in the implementation of the results of innovation programs.

References

1. Malyshkin, N. "University research management" ["Upravleniye nauchno- issledovatel'skoy deyatel'nost'yu v vuze"], available at : <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-nauchno-issledovatel'skoy-deyatelnostyu-v-vuze> (last accessed 18.06.2019).
2. Chumachenko, I., Docenko, N. (2011), "Formation of the holistic value of innovative projects and programs" ["Formirovaniye kholisticheskoy tsennosti innovatsionnykh proyektov i programm"], *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1 (5), P. 14–16.
3. Bushuyev, S., Bushuev, D., Bushuyeva N., Kozyr B. (2018), "Information technologies for project management competences development on the basis of global trends", *Information technology and learning tools*, Vol. 68, No. 6, P. 218–234. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v68i6.2684>
4. Armstrong, L. (2002), "A New Game in Town: Competitive Higher Education", *Digital Academe: the New Media and Institutions of Higher Education and Learning*, New York, Routledge Publ., P. 38–49.
5. Rădulescu, M., Rădulescu, C. Z. (2001), "Project portfolio selection models and decision support", *Studies in Informatics and Control*, Vol. 10, No. 4, P. 275–286.
6. Kononenko I. (2010), "Model and method for optimizing enterprise project portfolios for the planning period" ["Model' i metod optimizatsii portfeley proyektov predpriyatiya dlya planovogo perioda "], *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*, No. 1/2 (43), P. 9–11.
7. Bushuyev, S., Verenych, O. (2018), "Organizational maturity and project: Program and portfolio success" (Book Chapter), *Developing Organizational Maturity for Effective Project Management*, P. 2–24.
8. Pavlov, A., Chernov, S., Koshkin, K. (2006), Mathematical bases of project management of high-tech industries [Matematicheskiye osnovy upravleniya proyektami naukoemkikh proizvodstv], Nikolaev, NUK, 200 p.
9. Chernov, S. (2005), "Synergistic effect of project management in high-tech production", *Project Management and Production Development*, East-Ukrainian National. University, Vol. 3, P. 57–62.
10. Piterska, V., Shakhov, A., Lohinov, O. and Lohinova, L. (2019), "The Method of Transfer of Research Project Results of Institution of Higher Education," *2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, Lviv, Ukraine, 2019, P. 77–80. DOI: 10.1109/STC-CSIT.2019.8929887
11. Kosenko, V., Persiyanova, E., Belotskiy, O., Malyeyeva, O. (2017) "Methods of managing traffic distribution in information and communication networks of critical infrastructure systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (2), P. 48–55. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.048>
12. Bushuyeva, N. (2007), Models and methods of proactive management of organizational development programs [Modeli i metody proaktivnogo upravleniya programmami organizatsionnogo razvitiya], Kiev, Naukovii svit, 270 p.
13. Bushuyev, S., Murzabekova, A., Murzabekova, S., Khusainova, M. (2017), "Develop breakthrough competence of project managers based on entrepreneurship energy", *Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2017*, P. 11–16. DOI: 10.1109/STC-CSIT.2017.8099420
14. Piterska, V. M., Kramskiy, S. O. (2017), "Methodological basis of innovative project-oriented organizations' management", *Management of development of complex systems*, Kyiv, Ukraine, KNUCA, No. 30, P. 11–20.
15. Dulfer, E. (2002), Projekte und Projektmanagement im internationalen Kontext, Eine Einführung, in: Projektmanagement international, Stuttgart, P. 2–30.
16. Kosenko, V., Gopejenko, V., Persiyanova, E. (2019), "Models and applied information technology for supply logistics in the context of demand swings", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No.1 (7), P. 59–68. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.7.059>
17. Kononenko I. (2012), "Optimization of the project content according to the criteria of profit, time, cost, quality, risks" ["Optimizatsiya soderzhaniya proyekta po kriteriyam pribyl', vremya, stoimost', kachestvo, riski"], *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*, No. 1/10 (55), P. 13–15.
18. Piterskaya, V. (2016), "Application of a project-oriented approach in the management of innovation activities" ["Zastosuvannya proektno-orientovanoho pidkhodu v upravlinni innovatsiynoyu diyal'nistyu"], *Bulletin of National Technical University "KhPI" : coll. of sci. papers. Ser. : Strategic management, portfolio, program and project management*, Vol. 1 (1173), P. 35–42. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-3000.2016.1173.7>
19. Chumachenko, I., Docenko, N., Kosenko, N., Sabadosh, L. (2011) "Formation of an adaptive project team" ["Formirovaniye adaptivnoy komandy proyekta"], *Project management and production development*, Vol. (38), P. 67–71.
20. Tanaka, K. (2014), "The integration of engineering and program management with the marine economy", *Shipbuilding and Marine Infrastructure*, Vol. 1 (1), P. 5–9. DOI: <https://dx.doi.org/10.15589/smi20140108>
21. Piterska, V., Lohinov, O. and Lohinova, L., (2019), "Mechanism for forming an effective portfolio of research projects of institution of higher education", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No.3 (9), P. 99–108. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.9.099>
22. Vanyushkin, A., (2008), "Basis for the formation of a portfolio of high-risk projects" ["Osnovaniya dlya formirovaniya portfelya vysokoriskovykh proyektov"], *Project Management and Production Development*, No. 1 (25), P. 54–61.

Received 15.05.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шахов Анатолій Валентинович – доктор технічних наук, професор, Одеський національний морський університет, проректор з навчально-організаційної роботи, Одеса, Україна; email: radaonmu@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0142-7594>.

Шахов Анатолий Валентинович – доктор технических наук, профессор, Одесский национальный морской университет, проректор по учебно-организационной работе, Одесса, Украина.

Shakhov Anatoliy – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Odessa National Maritime University, Vice-Rector for Educational and Organizational Work, Odessa, Ukraine.

Пітерська Варвара Михайлівна – доктор технічних наук, доцент, Одеський національний морський університет, професор кафедри експлуатації портів і технології вантажних робіт, Одеса, Україна; email: varuwa@ukr.net; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5849-9033>.

Питерская Варвара Михайловна – доктор технических наук, доцент, Одесский национальный морской университет, профессор кафедры эксплуатации портов и технологии грузовых работ, Одесса, Украина.

Piterska Varvara – Doctor of Sciences (Engineering), Associate Professor, Odessa National Maritime University, Professor of the Department of Port Operations and Cargo Works Technology, Odessa, Ukraine.

МЕХАНІЗМИ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЄКТІВ В РАМКАХ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОГРАМ

Предметом дослідження в статті є методи, моделі і механізми ризико-орієнтованого управління інноваційними програмами. **Мета** роботи – розробка механізму управління ризиками інноваційних проєктів, які реалізуються в рамках виконання інноваційних програм з урахуванням методів страхування. В статті вирішуються наступні **завдання**: аналіз моделі управління інноваційною діяльністю підприємств і організацій в Україні та за кордоном, дослідження сучасних методів управління ризиками інноваційних проєктів, розробка механізму страхування ризиків інноваційних програм з урахуванням методології проєктного управління. Використовуються такі **методи**: методи управління проєктами і програмами, теорія систем і системного аналізу, методи управління ризиками. Отримано наступні **результати**: уточнені поняття інновації, управління інноваційною діяльністю, інноваційної програми, ризик інноваційного проєкту, визначені основні види ризиків, які виникають при реалізації інноваційних програм, запропоновано механізм ризико-орієнтованого управління інноваційною діяльністю, який заснований на методології проєктного менеджменту з урахуванням методів страхування ризиків. **Висновки**: В роботі проведено аналіз особливостей здійснення інноваційної діяльності. Встановлено, що особливістю реалізації інноваційних проєктів є значна невизначеність отриманих результатів. Вказано, що при ініціації і виконанні інноваційної програми потрібно визначити ймовірність її успішної реалізації на основі використання моделей і методів управління ризиками відповідно до стандарту ISO 31000. В роботі показано доцільність застосування методу страхування при реалізації механізмів управління ризиками інноваційної програми. При цьому встановлено, що рівень ризику при розробці та комерціалізації продуктів інноваційних проєктів знаходиться в прямій залежності від ступеня новизни інновації, тобто чим вище новизна інноваційного продукту, тим вище рівень ризику стосовно його затребуваності. Застосування механізмів страхування при управлінні ризиками інноваційної програми дозволяє передати частину ризиків учасників програми страховим компаніям в розмірі деякої розрахованої страхової суми. Встановлено, що страхування ризиків інноваційної програми не змінює існуючі параметри ризику, але забезпечує захистом від можливих несприятливих фінансових наслідків реалізації ризику, що досить важливо в умовах впровадження продуктів інноваційних проєктів. Для зниження вартості страхування і відповідних витрат організацій в рамках виконання інноваційної програми даний інструмент доцільно використовувати в комплексі з іншими методами управління ризиком організацій.

Ключові слова: управління проєктами та програмами; управління ризиками; інноваційна програма; страхування.

МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ В РАМКАХ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОГРАММ

Предметом исследования в статье являются методы, модели и механизмы риск-ориентированного управления инновационными программами. **Цель** работы – разработка механизма управления рисками инновационных проектов, реализуемых в рамках выполнения инновационных программ с учетом методов страхования. В статье решаются следующие **задачи**: анализ модели выполнения инновационной деятельности предприятий и организаций в Украине и за рубежом, исследование современных методов управления рисками инновационных проектов, разработка механизма страхования рисков инновационных программ с учетом методологии проектного управления. Используются следующие **методы**: методы управления проектами и программами, теория систем и системного анализа, методы управления рисками. Получены следующие **результаты**: уточнены понятия инновации, управления инновационной деятельностью, инновационной программы, риска инновационного проекта, определены основные виды рисков, возникающих при реализации инновационных программ, предложен механизм риск-ориентированного управления инновационной деятельностью, который основан на методологии проектного менеджмента с учетом методов страхования рисков. **Выводы**: В работе проведен анализ особенностей осуществления инновационной деятельности. Установлено, что особенностью реализации инновационных проектов является значительная неопределенность полученных результатов. Указано, что при инициации и выполнении инновационной программы нужно определять вероятность ее успешной реализации на основе использования моделей и методов управления рисками в соответствии со стандартом ISO 31000. В работе показана целесообразность применения метода страхования при реализации механизмов управления рисками инновационной программы. При этом установлено, что уровень риска при разработке и коммерциализации продуктов инновационных проектов находится в прямой зависимости от степени новизны инновации, то есть чем выше новизна инновационного продукта, тем выше уровень риска относительно его востребованности. Применение механизмов страхования при управлении рисками инновационной программы позволяет передать часть рисков участников программы страховым компаниям в размере некоторой рассчитанной страховой суммы. Установлено, что страхование рисков инновационной программы не изменяет существующие параметры риска, но обеспечивает защитой от возможных неблагоприятных финансовых последствий реализации риска, что немаловажно в условиях внедрения продуктов инновационных проектов. Для снижения стоимости

страхования и соответствующих расходов организаций в рамках выполнения инновационной программы данный инструмент целесообразно использовать в комплексе с другими методами управления риском организаций.

Ключевые слова: управления проектами и программами; управление рисками; инновационная программа; страхование.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Шахов А. В., Пітерська В. М. Механізми управління ризиками при реалізації проектів в рамках інноваційних програм. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 82–89. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.082>.

Shakhov, A., Piterska, V. (2020), "Risk management mechanisms for project implementation within the framework of innovative programs", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 82–89. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.082>.

В. В. ШУКЛІНА, Р. М. НАБОКА

КРИТЕРІЙ ЯКОСТІ ІТЕРАЦІЙ В ЦИКЛІ ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПІДПРИЄМСТВА

Предметом дослідження в статті є критерії якості і методи формування інформаційно-комунікаційного потенціалу підприємства, а також процеси його послідовного наближення до бажаного стану. **Метою** є оптимізація складу критеріїв якості формування інформаційно-комунікаційного потенціалу, визначення їх відповідності існуючим методам з урахуванням швидких змін ситуацій функціонування та необхідності застосування алгоритмів якісного удосконалення механізму управління потенціалом. В роботі вирішуються наступні **задачі**: аналіз передумов актуалізації якісних критеріїв на етапі розвитку інформаційної економіки та їх оптимізація за місцем виникнення ознак якості в процесі формування інформаційно-комунікаційного потенціалу; проведення аналітичного огляду методів ітерації циклу його формування; розробка узагальненої схеми алгоритму якісної ітерації циклу формування інформаційно-комунікаційного потенціалу; виявлення умов автоматизації процесу формування з використанням переваг якості програмного забезпечення на етапах його життєвого циклу. Для вирішення зазначених завдань були використані загальнонаукові **методи**: системного і монографічного аналізу, синтезу і аналізу, індукції і дедукції, абстракції через просту ітерацію. Отримані наступні **результати**. Встановлено передумови зростання актуальності якісних критеріїв в процесі формування інформаційно-комунікаційного потенціалу; за місцем виникнення ознак проведено групування критеріїв якості стану, критеріїв якості умов, критеріїв якості процесу, критеріїв якості результату формування інформаційно-комунікаційного потенціалу. Визначено і обґрунтовано переваги застосування ітераційного методу формування інформаційно-комунікаційного потенціалу підприємства, які об'єктивно відображає його спіральний цикл, коли неповне завершення робіт на кожній стадії дає змогу переходити на наступну, не чекаючи повного завершення на поточній; з можливістю проходження пропущеної стадії на наступній ітерації зі змінами якісних критеріїв. Запропоновано узагальнену модель ітераційного алгоритму формування інформаційно-комунікаційного потенціалу, що дозволяє якісно удосконалити механізм управління потенціалом підприємства. Аргументовано, що критерії якості мають переглядатися з урахуванням корпоративних інтересів і умов автоматизації процесу з використанням переваг програмного забезпечення і штучного інтелекту. **Висновки**: для сучасного стану інформаційних технологій і обсягів інформаційно-комунікаційних ресурсів обґрунтовано пріоритет якісних критеріїв і ітераційного методу формування інформаційно-комунікаційного потенціалу підприємства.

Ключові слова: управління; інформаційно-комунікаційний потенціал; критерій якості; метод ітерації; алгоритм; функція формування; життєвий цикл; інформація; інформаційні ресурси; програмне забезпечення.

Вступ

Інформаційні технології забезпечують перехід від рутинних до промислових методів і засобів роботи з даними і знаннями, в тому числі, в сфері управлінської діяльності, підвищуючи її раціональність та ефективність. Проте, їх конвергенція з технологіями комунікацій і протиріччя з управлінськими, спричиняють накопичення надмірних масивів інформації, які не відповідають якісним викликам її використання. Ухвалення рішення в умовах швидких змін зовнішнього середовища в більшості випадків здійснюється на підприємствах в умовах нестачі інформації і неспроможності комунікацій, тому рівень якості формування інформаційно-комунікаційного потенціалу багатого в чому визначає ефективність і результативність діяльності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженню проблем якості функціональних процесів управління потенціалом підприємства, в тому числі, інформаційної і комунікаційної його складовими, присвячено праці науковців, серед них: Т. В. Білорус, Є. А. Варфоломєєва, К. О. Іващенко, С. М. Ілляшенко, І. Н. Кадикова, С. А. Ларіна, І. В. Чумаченко, О. Ф. Шаповал та інші. У наукових працях вчені О. О. Ємець, О. С. Лугінін, В. В. Мотало, Дж. Трауб, Н. Ю. Устьян, В. М. Фомішена,

А. А. Черешневська звертали увагу на економіко-математичне моделювання і оптимізацію управлінських процесів, в тому числі, інформаційних, напрями застосування ітераційних методів в алгоритмах вирішення економічних задач, об'єкти якісного підходу в сукупності ресурсів і процесів формування інформаційно-комунікаційного потенціалу.

С. М. Ілляшенко [10] і Шаповал О. Ф. [12] акцентують увагу на змісті інформаційної реальності як основи виникнення економіки нового типу, а також аналізують закономірності і передумови формування якості інформаційного потенціалу, характеризуються основні компоненти і функції інформаційних систем підприємства. С. А. Ларіна, І. Н. Кадикова, І. В. Чумаченко [4] досліджують методи математичного моделювання процесів в економіці і управлінні інформаційними проектами та програмами формування їх якості, обговорюють основні напрямки і перспективи науково-технічних досліджень щодо постійного поліпшення якості, досвіду впровадження сучасних інформаційних технологій в управлінні потенціалом підприємства.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Мета роботи

Потребує вирішення у короткостроковій перспективі ряд нагальних проблем, які перешкоджають формуванню якісного інформаційно-

комунікаційного потенціалу, здатного, насамперед, відповідати викликам практики господарювання сучасних підприємств. Разом з тим, потребують дослідження питання систематизації якісних критеріїв з метою їх подальшого застосування в методах оптимізації процесу формування інформаційно-комунікаційного потенціалу.

Метою даної статті є оптимізація складу критеріїв якості формування інформаційно-комунікаційного потенціалу, визначення їх відповідності існуючим методам з урахуванням швидких змін середовища функціонування і необхідності застосування алгоритмів якісного удосконалення механізму управління потенціалом.

Постановка завдання

Передумови актуалізації якісних критеріїв в процесах формування інформаційно-комунікаційного потенціалу на етапі розвитку інформаційної економіки і систематизувати склад критеріїв за місцем виникнення ознак якості; провести аналітичний огляду методів ітерації на предмет переваги використання і запропонувати узагальнену схему алгоритму ітерації циклу формування інформаційно-комунікаційного потенціалу підприємства за якісними критеріями.

Результати досліджень та їх обговорення

Глибинні процеси переходу від сфери матеріального виробництва в інформаційну супроводжуються тенденціями і явищами з актуалізацією відповідних економічних категорій. Для успішного функціонування підприємству недостатньо мати матеріальні, фінансові, людські ресурси – необхідні знання технологій їх використання і методів управління. Тому інформаційні ресурси нині розглядають як окрему економічну категорію, сутність якої у видових особливостях, ґрунтуються на ідеях і знаннях, накопичених у результаті науково-технічної діяльності людей і поданих у формі, придатній для збирання, реалізації й відтворення, а не класична сукупність різних повідомлень про зміни, які проходять в системі й навколишньому середовищі підприємства. Інформаційний ресурс більшістю науковців визначається як концентрація наявних фактів, документів, даних і знань, що відображають реальні зміни стану в часі, і використовуються при підготовці кадрів, у наукових дослідженнях і матеріальному виробництві [1, 8]. Безпосередньо під інформацією (І) за теорією Клода Шенона розуміють не будь-які відомості, а лише ті, що знімають повністю або зменшують існуючу до їх одержання невизначеність тобто знята невизначеність, що може бути відображена для подій з різною ймовірністю настання. Їх роль неоднакова для різних стадій процесу управління промисловим підприємством: на одних важливим є обсяг, на інших – рух, обмін, можливості обробки, передачі, інтеграції з фактами, ідеями, поглядами, емоціями між двома чи більше

особами або цільового зберігання в якості найважливішого елементу формування переваг і можливостей розвитку. Так, логічною стає гіпотеза, що при визначеній функції формування і стратегічних цілях управління інформаційно-комунікаційним потенціалом підприємства надважливими стають саме якісні критерії. Вищий рівень якості відомостей обумовлює їх придатність задовольнити певні потреби управлінського впливу відповідно до функціонального призначення, забезпечення конкурентоспроможності. При оцінці управлінської ситуації найбільше значення мають види інформації, що визначають можливості комплексного і системного підходу до розробки рішень, обробки в залежності від форми представлення.

З розвитком суспільства, глобалізацією економічного простору і зростанням обсягу використовуваних знань інформаційний ресурс не зменшується, а навпаки, зростає [2, с. 173]. Разом з тим, виникає суперечність між застосування нових знань та застарілих технологій прийняття управлінських рішень, зберігання великих масивів критеріально не ідентифікованої інформації, без можливості її оброблення у лімітовані за часом інтервали або в інших об'єктивних умовах управлінської ситуації для відображення реального стану предметної області і можливостей прогнозування (рис. 1).

Формування інформаційно-комунікаційного потенціалу підприємства в циклі управління характеризується різким зростанням інформаційних потоків з розширеними технічними і програмними можливостями вилучення, обміну, зберігання, обробки та представлення інформації [2]. Проте обсяги інформації не відповідають потребам ситуацій, тим більше, не надають можливостей проектного прогнозування, навпаки забезпечуючи поглиблення і повторення помилок в управлінні підприємством з частотою зміни ситуації або її окремої умови.

Невизначеність при виборі критеріїв формування інформаційно-комунікаційного потенціалу залишається слабким місцем, об'єктивно пов'язаним з труднощами опису і ідентифікації нескінченного числа альтернативних рішень, ознаки невимірності яких є складно або взагалі невимірними, їм важко дати кількісну оцінку чи представити їх у вигляді цільової функції [3–4, 7, 18]. Тому серед оціночних критеріїв актуалізується роль якісних. Крім того, труднощі оцінювання проектних рішень в управлінні інформацією на підприємстві пов'язані з різною чутливістю і часом дії критеріїв, в тому числі, для бази даних і їх складу.

Сутність поняття "критерій" більшістю науковців [5, 8, 13] визначається у двох суміжних напрямках, як ознака, за якою формується оцінка якості економічного об'єкта, процесу, еталон такої оцінки або як вимога випробування для визначення явища, предмета. За теорією управління критерій розуміють як об'єктивну ознаку, за допомогою якої здійснюється порівняльна оцінка досліджуваного явища, ступеня розвитку його у різних обстежених осіб або

сукупність таких якостей явища, що відображають його суттєві характеристики і саме тому підлягають оцінці [6, с. 67]. Частина авторів розширюють поняття до "кількісної величини, що визначає якісні характеристики процесу або явища" [8, с. 108]; конкретизують як ознаку для оцінки [15]; пропонують як комплексний оцінний блок, що конкретизується в

показниках і індикаторах – сукупності характеристик, що дозволяють відбити рівень досягнення мети. Критерій формування інформаційно-комунікаційного потенціалу підприємства є передусім якісною, сутнісною характеристикою управлінського процесу [10].



Рис. 1. Виникнення суперечності в циклі формування інформаційно-комунікаційного потенціалу підприємства [3-4, 11, 17-18]

Монографічне дослідження підтверджує, що поняття якості є багатокомпонентним, розуміння сутності якого залежить від категорії споживачів: для розробника продукції – це відповідність продукції функціональному призначенню, її надійність, міцність, довговічність; для керівника підприємства – це вимога замовника й конкурентоздатність; для працівників служби технічного контролю – точна відповідність параметрів продукції кресленням і стандартам; для споживача – здатність задовольняти потреби споживача, зручність використання, тощо [16–17]. Критеріями якості логістичного сервісу раніше визначалися надійність поставки, повний час з моменту отримання замовлення до поставки, можливість вибору способу доставки, час на здійснення замовлення, наявність запасів, тривалість виконання вантажних операцій і простоїв, інтервали прибуття, необхідна кількість транспортних засобів тощо [9, с. 101]. На даний час найбільш пріоритетним є досягнення високої якості функціонування всієї логістичної системи, оскільки в ній періодично виникають процеси, що її знижують. У зв'язку з цим змінюються підходи і до оцінки якості логістичного сервісу з можливістю оцінки всього ланцюга поставок, взаємодії його окремих ланок, визначення ролі й внеску окремих елементів в результати діяльності в цілому [16, с. 164]. Основним елементом підходу "логістика сервісного відгуку" є прийняття замовлень й моніторинг надання послуг через

системну координацію операцій найбільш ефективним способом з погляду витрат і якості задоволення запитів споживачів.

Критерій якості інформації деякі вчені [13, 15, 17] вказують у самому визначенні поняття "якість інформації", визначаючи його як сукупність властивостей, що відображають, ступінь придатності конкретної інформації або даних про об'єкти і їхній взаємозв'язок, для досягнення цілей, що стоять перед користувачем. Або пропонуючи як характеристики інформаційного продукту, що зумовлені її актуальністю, репрезентативністю, достовірністю, сталістю, змістовністю, достатністю, своєчасністю, точністю. Важливим є зауваження, що якість і актуальність знань залежать, крім іншого, від того, хто поставляє знання в систему, оскільки змінюється від джерела до джерела, тому часто відбирають знання, за критеріями їх повноти і достовірності [14, 19]. Найбільш поширеними підходами до оцінки якості інформації є статистичний, семантичний і прагматичний, з найбільшим розвитком першого у великому розділі кібернетики – теорії інформації, яка займається математичним описом і оцінкою методів її передачі (обміну), зберігання, вилучення й класифікації з використанням методів лінійної алгебри, теорії ймовірності, математичної статистики та інших. Особливе значення при використанні інформації для управління підприємством, в тому числі, формування його потенціалу, має прагматичний

підхід, за яким оцінюється змістовний аспект інформації, оскільки її кількість тісно пов'язане з ефективністю управління в системі, в тому числі, ресурсами [19].

Науково обґрунтована модель оцінювання рівня реалізації функцій управління інформаційно-комунікаційним потенціалом, в тому числі його формування, має систему критеріїв, проте, їх відносний характер відрізняється деяким суб'єктивним відтінком. Головне завдання, яке вимагає вирішення на сучасному етапі становлення інформаційної економіки, – це позбутися низької якості управлінської діяльності, крім іншого, з причин переважання кількісного виміру [6, с. 72]. Критерії якості повинні бути семантично однозначними, однаково розумітися учасниками процесів всіх рівнів управління потенціалом за диференційованим підходом в діалектичній єдності цінності результату.

Якщо застосувати типізацію концепцій, то критерії якості процесу формування інформаційно-комунікаційного потенціалу підприємства визначаються на основі виробництва, споживачів, продукту, значення або їх трансцендентні. Автори останніх теорій відстоюють думку що, хоча логічно складно визначити якість, всі знають, що це таке, коли його бачать "якість не є ні матерією, ні духом, а третьою сутністю, незалежною від двох інших. Навіть коли якість не може бути визначена, ви знаєте, що це таке" [13, 15]. Її інтеграція з висновками науковців, які наполягають на визначенні якості через вимірювані і конкретні характеристики інформаційного продукту, вказує на доцільність застосування основних теорій якості та якісних теорій інформації [13].

Сучасні інформаційні системи є складно інтегрованими комплексами, що представляють собою набір механізмів, методів і алгоритмів, спрямованих на підтримку життєвого циклу інформації. Реалізація правил теорії тринадцяти принципів всіма працівниками підприємства, а не тільки відділу інформаційно-комунікаційного забезпечення, сприятиме підвищенню ефективності і якості управління потенціалом в цілому. За теорією Йосипа Мурана критерії якості процесу формування доцільно визначати в п'яти пунктах [17]: безпека низької якості; пристосування до цілей реалізації (уникання зайвих витрат на особливості, які насправді не цікавимо); адаптація до стандартів якості; постійне поліпшення в автоматизованому режимі; якість формування як інвестиція в розвиток інформаційно-комунікаційного потенціалу. Важливим є розуміння ролі компонент ієрархії у життєвому циклі інформації (дані, інформація, знання, накопичений досвід) та активності використання кожної [8, 10]:

- дані є базою інформаційної ієрархії, несучою основою для формування інформаційно-комунікаційного потенціалу, що здійснюється шляхом збору, збагачення і передачі даних;

- перехід від інформації до знань відбувається на основі її обробки і використання штучного інтелекту в т.ч. програмного забезпечення;

- інтенсивне застосування знань надає можливість результативної взаємодії управлінських і інформаційно-комунікаційних технологій, їх наближення до результатів на шляху досягнення цілі та формування досвіду розв'язання конкретних ситуацій.

За теорією загального контролю якості формування інформаційно-комунікаційного потенціалу можливе за кількома повторюваними кроками (ітерацією), що дозволять досягти найвищого якісного рівня за конкретним критерієм бажаного результату в умовах діючої ефективності комунікацій. На практиці реальний процес формування інформаційно-комунікаційного потенціалу конкретного підприємства може набувати різного вигляду – моделей з проміжним контролем, тому що коригування між стадіями забезпечують більшу надійність, проте збільшують весь період процесу. Недоліком остається високий ризик створення системи, що не задовольняє потребам користувачів, бо на початковій стадії точно сформулювати всі вимоги до майбутньої системи не вдається [7]. Саме в умовах невизначеності ситуації на перше місце виходять такі якості управлінського персоналу, як мистецтво та інтуїція, з метою подолання умов рішенням, яке часто суперечить відомим даним, проте виявляється особливо цінним на етапі вибору пріоритетів. Подальший рух серед наявних альтернатив, що мають навіть стохастичний характер, цілком може виконати програмне забезпечення на підставі розроблених алгоритмів за умов представлення інформації на рівні даних.

Перехід від інформаційного опису предметної області до подання її на рівні даних, можливо здійснювати на основі абстракції [15], що складається з набору об'єктів і набору операцій, які характеризують поведінку цих об'єктів. З точки зору конкретних програм виділяють наступні види абстракцій: процедурну абстракцію, абстракцію даних, абстракцію через ітерацію. При ітераційному алгоритмі формування інформаційно-комунікаційного потенціалу підприємства певна функція викликається послідовно, і при потребі її повторного застосування, запускається знову із новим аргументом (рис. 2).

Багатозначний термін "ітерація" за контекстом дослідження означає повторне, циклічне застосування даних при рішенні оптимізаційних задач для поступового наближення до потрібного якісного результату в процесі формування інформаційно-комунікаційного потенціалу; кількість необхідних повторень (u^k) визначає збіжність алгоритму ($u^k \rightarrow u$, $k \rightarrow \infty$) – властивість досягати оптимуму цільової функції або підходити досить близько до нього за кінцеве число кроків (швидкість збіжності алгоритмів – один з найважливіших показників якості аналітичних моделей) [11]. Результатом збіжності є те, що через кінцеве число ітерацій алгоритм зупиняється, а аналітична модель, яка побудована з його використанням, буде володіти високою точністю формування інформаційно-комунікаційного потенціалу за передбаченим критерієм якості. Однак

слід зазначити, що кількість ітерацій, необхідне для досягнення результату в контексті дослідження, залежить не стільки від самого алгоритму, скільки від якості даних [11]: чим вища їх варіативність, тим швидше алгоритм може виявитися нестійким і взагалі не забезпечить прийнятну точність; менш швидкий, але більш стійкий алгоритм зійдеться за прийнятне число ітерацій.

Процес формування інформаційно-комунікаційного потенціалу підприємства переважно має циклічний характер: результати чергової стадії викликають зміни у проєктних рішеннях, що прийняті на попередніх стадіях; постійно виникає потреба в поверненні до попередніх стадій і уточнення або перегляду раніше прийнятих рішень [5, 12, 14]. Тому

переваги ітераційного методу розв'язання проблемного завдання полягають в тому, що процес починається з деякого пробного (довільного) допустимого рішення, а потім застосовуються алгоритми, що забезпечують послідовне його рішення. Метод послідовних наближень для надходження розв'язків за рівнянням $A_k u_k = u_k - H_k (A u^k - f)$ реалізує в деякому інформаційному просторі V послідовність множинних відображень $A_k : V \rightarrow V$, за допомогою яких, з початкової точки $u^0 \in V$ формується ітераційна послідовність $u^k \in V$, як $u^{k+1} = A_k u^k$, $k = 0, 1, \dots$; де $H_k : V \rightarrow V$, b, d – деяка послідовність операторів за типом алгоритму [11, 15].

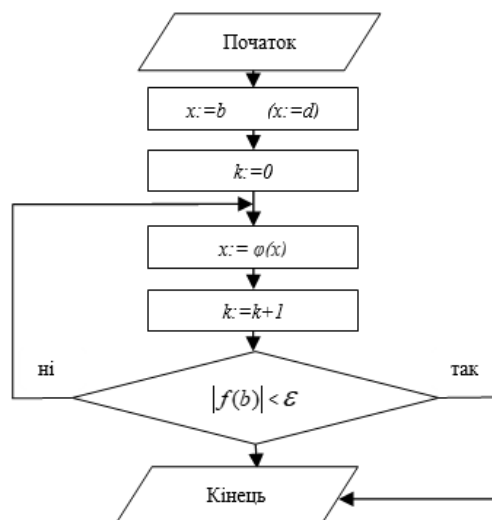


Рис. 2. Узагальнена блок-схема алгоритму методу простої ітерації в циклі формування інформаційно-комунікаційного потенціалу підприємства [7, 11, 13, 15]

Ітераційний метод планування й управління процесами (проєктами) став базовою технологією сучасного Agile-менеджменту, що обґрунтовує доцільність виділення коротких циклів розробки продукту чи реалізації процесу, надаючи додаткові оновлення в залежності від зміни ситуаційних потреб споживача та застосовується як ефективна практика організації праці невеликих груп (які виконують однорідну роботу) в об'єднанні з управлінням комбінованим (ліберальним і демократичним) методом. Agile – гнучка система управління [14,18]: замість того щоб чекати, поки будуть по черзі завершені всі етапи, запропонований фазовий підхід тобто спочатку збираються всі необхідні вимоги, після чого завершується вся архітектура, створюється дизайн і т.д. для створення комплексу гнучких методів розробки програмного забезпечення для заміни складних і трудомістких робіт. Цей підхід доцільно впроваджувати для того, щоб підвищувати залученість клієнтів підприємства, приймати зміни, результативно взаємодіяти і сприяти досягненню конкретних результатів в умовах швидких та непередбачуваних змін, для того щоб виробити найбільш ефективну стратегію розвитку інформаційно-комунікаційного потенціалу, яку можна успішно

використовувати й швидко змінювати для вирішення ситуаційних проблем й підвищення ефективності управління підприємством та конкурентоспроможності його потенціалу [18].

Управлінські рішення в сфері формування інформаційно-комунікаційного потенціалу підприємства носять багатоцільовий характер, оскільки крім основної ідеї, повинні одночасно забезпечувати прийнятність інших показників. Критерії якості управлінських рішень в контексті дослідження повинні дозволяти завчасно усувати, виявляти недоліки поведінки інформаційно-комунікаційної системи і доводити якість рішення до моменту його прийняття до необхідного рівня; має бути свідомо "придатним" (якості інших) [17]. Такий підхід забезпечення якості формування інформаційно-комунікаційного потенціалу може бути використаний і на етапі його реалізації, як невід'ємна частина процесу управління – зворотній зв'язок [6]. Оцінювання якості управлінських рішень може бути здійснено на основі критеріїв – значимих ознак і властивостей, що характеризують мету і узгодженість цілей, призначення, зміст, методи і організацію процесів, терміни виконання, витрати інформаційно-комунікаційних ресурсів [13]. За сукупністю

викладеного, до сукупності критеріїв якості формування інформаційно-комунікаційного потенціалу підприємства можна віднести: доцільність, розробленість причин і завдань, визначеність основної цілі, вмотивованість, враховуваність ситуаційних особливостей поведінки системи, правомірність, відображення індикаторів, раціональність використання ресурсів, оновлюваність, технічна забезпеченість, варіативність, динамічність, імідування, забезпечуваність. Існують і інші критерії якості вдосконалення технологічної схеми; якості виконання і оформлення документів; якості організаційної структури; раціонального розподілу елементів комунікації; програмної організації роботи; дотримання термінів виконання етапів рішення; рівня кваліфікації виконавців; якості програмного забезпечення та інші [5, 19]. Не всі з перерахованих використовуються одночасно, але вони дозволяють сформулювати інтегральний критерій якості на основі тієї підмножини, які найбільшою мірою характеризують властивості прикладних рішень щодо формування інформаційно-комунікаційного потенціалу підприємства.

Іншою важливою групою якісних критеріїв формування інформаційно-комунікаційного потенціалу підприємства є об'єктом постійної уваги і обговорення в багатьох галузях сучасних знань – це якість програмного забезпечення, що розуміють як сукупність прийнятих в установленому порядку правил та умов, за допомогою яких встановлюється прийнятність в цілому якості програмного забезпечення, а саме [15]:

- функціональність визначається здатністю вирішувати завдання, які відповідають зафіксованим і очікуваним потребам користувача, при заданих умовах ситуації використання;

- надійність є здатністю виконувати необхідні завдання в позначених умовах протягом заданого проміжку часу або вказану кількість операцій, здатність самостійно і коректно відновлюватися після збоїв в роботі, відмово стійкість;

- зручність використання – можливість легкого розуміння, вивчення, використання і привабливості;

- ефективність – здатність забезпечувати необхідний рівень продуктивності у відповідність з виділеними ресурсами, часом і іншими позначеними умовами;

- зручність супроводу – легкість, з якою може аналізуватися, тестуватися, змінюватися для виправлення дефектів, для реалізації нових вимог, для полегшення подальшого обслуговування та адаптуватися до наявного оточення;

- портативність – характеризує з точки зору легкості його перенесення з одного оточення в інше.

Протягом життєвого циклу засобів програмного забезпечення процесу формування інформаційно-комунікаційного потенціалу їх якість змінюється відповідно до стандартів за рівнями [15]:

- цільова якість – необхідна і достатня якість, що відповідає реальній потребі;

- необхідна якість – значення характеристик, фактично внесених в специфікації вимог до якості;

- якість проекту – характеристики, представлені в основних компонентах (архітектурі, структурі каналів, проектуванні призначених для користувача інтерфейсів);

- прогнозована якість – оцінена або передбачена якість на кожній стадії, засноване на якості процесів і технології його забезпечення;

- якість поставлених засобів програмного забезпечення – набір характеристик якості готових до застосування, що пройшли випробування в модельованому середовищі з імітованими або реальними даними;

- якість у використанні – якість з точки зору мети і терміну результату реалізації (не внутрішніх властивостей).

Для подолання більшості проблем автори рекомендують для формування інформаційно-комунікаційного потенціалу застосовувати спіральну модель життєвого циклу програмного забезпечення, яка ґрунтується на класичному циклі Демінга PDCA [13, 17], має ітераційний характер і рухається по спіралі, проходячи стадії, де на кожному витку уточнюються характеристики майбутнього інформаційного продукту (в тому числі за якісними критеріями). Спіральна модель позбавляє користувачів від необхідності повного й точного формулювання вимог до системи на початковій стадії, оскільки вони уточнюються на кожній ітерації формування інформаційно-комунікаційного потенціалу для можливості уточнення і послідовної конкретизації критеріїв (інших елементів) і зрештою вибору обґрунтованого варіанту, який і реалізується.

До групи якісних критеріїв інформації вчені [5, 10, 12, 16] відносять дуже різні варіанти їх поєднання, проте більшістю визначені наступні: гнучкість, адаптивність, доступність для нових користувачів, сумісність з іншими системами, можливість конвертування в інше обчислювальне середовище, можливість відновлення даних, їх розподілу і розширення. Такий перелік відповідає змісту класичних якісних теорій інформації [10–11]:

- можливість оцінювання інформації за збільшенням обсягу знань у людини під впливом інформаційного повідомлення (теорія Ю. Шрейдера); побудував теорію семантичної інформації на основі концепції різноманітності, а не концепції зняття невизначеності;

- вимірюваність змістовності інформації за збільшенням ймовірності досягнення мети після отримання інформації людиною або технічним пристроєм (теорія А. Харкевича); пов'язав цінність інформації з метою діяльності, запропонувавши розглядати ентропійну міру Шеннона як міру ймовірності попадання в ціль, тобто як міру ціле відповідності;

- різноманіття інформації це її кількість, що може бути переданою; закон "необхідного різноманіття" – для управління системою потребується регулятор, який обмежує різноманіття збурень, що можуть її

зруйнувати; регулятор допускає таке різноманіття, яке є системно корисним (теорія У. Ешбі);

- "інформація є позначенням змісту, отриманого із зовнішнього миру в процесі пристосування до нього й пристосування до нього наших почуттів" (формула якості розуміння інформації Н. Вінера).

Автоматизовані інформаційні системи підприємства забезпечують пошук, збирання, зберігання, накопичення, обробку, обмін інформації за допомогою використання обчислювальної техніки, засобів і каналів комунікації і зв'язку, комп'ютерних інформаційних мереж, виконуючи роль з'єднувальної ланки між об'єктами і суб'єктами управління інформаційно-комунікаційним потенціалом і виконують такі важливі функції: сприйняття вихідних даних і запитів, які вводяться користувачами; обробка даних, які введені і зберігаються в системі відповідно до певних алгоритмів; формування необхідної вихідної інформації. На їх основі створюються умови для використання найновіших інформаційних технологій на базі персональних електронно-обчислювальних машин і автоматизованих робочих місць, розподілених баз даних і знань, засобів зв'язку для ефективного вирішення основних завдань управління потенціалом підприємства [18].

З погляду корпоративних інтересів у сфері управління інформаційно-комунікаційним потенціалом критерії якості його формування мають бути систематизовані у чотири групи за місцем формування ознак якості, а саме: критерії якості стану, критерії якості умов, критерії якості процесу, критерії якості результату та вдосконалюватися з урахуванням [5, 7, 14, 17]: ступеня відповідності тактичним і стратегічним цілям розвитку, пов'язаного із зовнішніми і внутрішніми викликами, необхідністю внутрішньої трансформації та адекватної дії для успішного реагування на них; фактичного і бажаного рівня систематизації і параметризації інформації, що подається для прийняття рішень, її візуалізації; можливостей сумісності старих і нових технологій за рахунок використання нових економіко-математичних моделей, розробки і впровадження нових стандартів на методи, моделі та засоби для поступового наближення до потрібного результату; рівня актуалізації інформації, що обробляється для постійного наближення до потрібного результату; оперативності одержання потрібних для розвитку знань, їх актуальності; доступного для економіки підприємства рівня витратності процесу формування і її співвідношення з економічною ефективністю здобутих результатів; співвідношення нового і традиційного в інформаційно-комунікаційному потоці для поступового наближення до потрібного результату; використання перевірених практикою здобутків як критеріїв достовірності нових даних,

Список літератури

1. Гацан В. В. Вплив організаційної структури на стратегію інноваційної діяльності на підприємствах інфокомунікаційної галузі. *Вісник ХНУ. Економічні науки*. 2017. № 6. С. 27–32.
2. Білорус Т. В. Інформаційне забезпечення прийняття управлінських рішень в системі менеджменту. *Актуальні проблеми економіки*. 2014. №4. С.170–175.

інформації, знань, накопиченого досвіду; підтвердження результату в погодженні нових напрямів пошуку інформаційно-комунікаційних ресурсів з виробленою попередніми періодами логікою управлінської діяльності; трансформаційної особливості еволюції власне управлінського процесу, пов'язаного з технологічною конвергенцією.

При цьому теза про те, що розвиток інформаційного суспільства відбувається в напрямках найефективнішого використання інформаційно-комунікаційних ресурсів, є особливо актуальною саме для управлінської діяльності, як найбільш дієвої в процесі функціонування і розвитку підприємства.

Висновки та перспективи подальшого розвитку

Процеси управління інформаційно-комунікаційним потенціалом підприємства передбачають багатокритеріальний підхід оцінки її функціональної реалізації. Ситуація невизначеності характеризується тим, що вибір конкретного плану дій може зумовити будь-який результат із певної множини варіантів при невідомій ймовірності впливу випадкових факторів. Проте, за інших умов людина не була б взагалі потрібна для прийняття управлінських рішень в сфері управління інформаційно-комунікаційним потенціалом, достатнім було б програмне забезпечення. Для сучасного стану інформаційних технологій і обсягів інформаційно-комунікаційних ресурсів обґрунтовано пріоритет якісних критеріїв (критерії якості стану, критерії якості умов, критерії якості процесу, критерії якості результату) і ітераційного методу формування інформаційно-комунікаційного потенціалу підприємства. Визначено і обґрунтовано переваги застосування ітераційного методу, які об'єктивно відображають його спіральний цикл з можливістю проходження пропущеної стадії на наступній ітерації зі зміною критеріїв. Запропоновано узагальнену модель ітераційного алгоритму формування інформаційно-комунікаційного потенціалу, що дозволяє якісно удосконалити механізм управління потенціалом підприємства. Аргументовано, що критерії якості мають переглядатися з урахуванням корпоративних інтересів і умов автоматизації процесу з використанням переваг програмного забезпечення і штучного інтелекту.

Перспектива подальших досліджень в цій області, перш за все, стосується підтримки циклічних ітерацій, а також розробки відповідних показників якості формування в системі управління інформаційно-комунікаційним потенціалом підприємства.

3. Шукліна В. В. Стратегічний менеджмент: концептуальні питання в умовах постіндустріальних трансформацій. *Економіка і регіон*. 2013. № 2. С. 87–91.
4. Кадикова, І. Н., Ларіна, С. А., Чумаченко, І. В. Інформаційні технології для стратегічного управління проектно-орієнтованою організацією. *Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Стратегічний менеджмент, управління портфелем, програми та проекти*. 2017. №3 (1225). С. 9–15. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-3000.2017.1225.2>
5. Бугай В. З., Горбунова А. В., Ключова Ю. В. Теоретичні основи формування потенціалу підприємства. *Вісник Запорізького національного університету*. 2011. № 1 (9). С. 26–33.
6. Варфоломеева Е. А. Суть и значение информационного потенциала контроллинга в системе управления предприятием. *Вестник Житомирского гос. технол. ун-та. Серия: Экономические науки*. Житомир : ЖДТУ, 2010. № 3 (53). С. 65–72.
7. Семець О. О., Устьян Н. Ю. Ітераційний метод розв'язування ігрових задач на перестановках. *Наукові вісті Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут"*. 2018. № 3 (59). С. 5–11.
8. Іващенко К. О. Обліковий інформаційний ресурс суб'єктів водогосподарського комплексу. *Записки Національного університету "Острозька академія". Економіка*. 2013. Вип. 22. С. 106–109.
9. Федорович О. Е., Прончаков Ю. Л. Логистика выполнения портфеля заказов высокотехнологической продукции развивающегося виртуального предприятия. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2016. № 3 (130). С. 99–102.
10. Ілляшенко С. М. Інформаційний потенціал підприємства. *Вісник Сумського державного університету. Серія Економіка*. 2004. № 9 (68). С. 11–18.
11. Трауб Дж. Ітераційні методи рішення рівнянь : пер. с англ. Донецьк : ДоНГУ. 2015. 264 с.
12. Шаповал О. Ф. Формування інформаційного потенціалу підприємства. *Вісник національного університету харчових технологій*. 2013. URL: <http://dspace.nuft.edu.ua/> (дата звернення: 24.01.2020).
13. Мотало В., Черешневська А. Аналіз показників якості вимірювань. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2018. Т. 79, № 2, С. 35–41. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcmtm2018.02.035>
14. Carrera D., Gustavo A., Rosales J. Optimizing Binary Serialization with an Independent Data Definition Format. *International Journal of Computer Applications*. 2018. Vol. 180. No. 28. P. 34–41.
15. Лугінін О. Є., Фомішена В. М. Економіко-математичне моделювання : монографія. К. : Знання. 2011. 342 с.
16. Набока Р. М. Якість в парадигмі управління інформаційно-комунікаційним потенціалом підприємства. *Науковий вісник Полісся*. 2019. № 2 (18). С. 163–170.
17. Плахтій Т. Ф. Об'єкти якісного підходу в бухгалтерському обліку. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Економічні науки*. 2016. № 1. С. 39–47.
18. Verenych O., Dorosh M. Blended Mental Space: the methodology for creation and approaches for its management. *Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. 2017. Vol. 2, P. 30–37. DOI:10.1109/STC-CSIT.2017.8099423
19. Косенко В., Персіянова О., Белоцький, О., Малєєва, О. Методи управління розподілом трафіку в інфокомунікаційних мережах систем критичної інфраструктури. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2017. No. 2 (2), P.48–55. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.048>.

References

1. Gatsan, V. (2017), "Influence of organizational structure on strategy of innovative activity at the enterprises of information communication branch" ["Vplyv orhanizatsiyanoi struktury na stratehiyu innovatsiyanoi diyal'nosti na pidpryyemstvakh info-komunikatsiyanoi haluzi"], *Bulletin of KhNU. Economic sciences*, No. 6, P. 27–32.
2. Belarus, T. (2004), "Information support for management decisions in the management system" ["Informatsiyne zabezpechennya pryunyattya upravlins'kykh rishen' v systemi menezhmentu. Aktual'ni problemy ekonomiky"], *Current economic problems*, No. 4, P. 170–175.
3. Shuklina, V. (2013), "Strategic management: conceptual issues in post-industrial transformations" ["Stratehichnyy menezhment: kontseptual'ni pytannya v umovakh postindustrial'nykh transformatsiy"], *Economy and region*, 2013, No. 2, P. 87–91.
4. Kadykova, I., Larina, S., Chumachenko, I. (2017), "Information technology for strategic management of project-oriented organization" ["Informatsiyni tekhnolohiyi dlya stratehichnoho upravlinnya proektno-oriyentovanoyu orhanizatsiyeyu"], *News of NTU "KhPI". Series: Strategic management, portfolio management, programs and projects*, No. 3 (1225), P. 9–15. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-3000.2017.1225.2>
5. Bugay, V., Gorbunova, A., Klyuyeva, Y. (2011), "Theoretical foundations of enterprise capacity building" ["Teoretychni osnovy formuvannya potentsialu pidpryyemstva"], *Bulletin of Zaporizhia National University*, No. 1 (9), P. 26–33.
6. Varfolomeeva, E. (2010), "The essence and significance of the information potential of controlling in the management system of the enterprise" ["Sut' y znachenye ynformatsyonnoho potentsyala kontrolylnha v systeme upravlenyya predpryyatyem"], *Bulletin of the Zhytomyr state. technologist un-ta. Series: Economic Sciences*, Zhytomyr: ZhSTU, No. 3 (53), P. 65–72.
7. Yemets, O., Ustyan, N. (2018), "Iterative method for solving game problems on permutations" ["Iteratsiyyny metod rozv'yazuvannya ihrovykh zadach na perestanovkakh"], *Scientific news of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*, No. 3 (59), P. 5–11.
8. Ivashchenko, K. (2013), "Accounting information resource of the subjects of the water complex" ["Oblikovyy informatsiynyy resurs sub'yektiv vodohospodars'koho kompleksu"], *Notes of the National University "Ostroh Academy". Economy*, Vol. 22, P. 106–109.
9. Fedorovich, O., Pronchakov, Yu. (2016), "Logistics of the portfolio of orders for high-tech products of a developing virtual enterprise" ["Lohystyka vypolnennyya portfelya zakazov vysokotekhnolohycheskoy produktsyyi rozvyvayushchegosya vyrtual'noho predpryyatyya"], *Aerospace engineering and technology*, No. 3 (130), P. 99–102.
10. Plyashenko, S. (2004), "Information potential of the enterprise" ["Informatsiynyy potentsial pidpryyemstva"], *Bulletin of Sumy State University. Economics series*, No. 9 (68), P. 11–18.
11. Traub, J. (2015), *Iterative methods of solution [Iteratsiyonnye metody reshenyya]* : trans. with English. Donetsk, DonSU, 264 p.
12. Shapoval, O. (2013), "Formation of information potential of the enterprise" ["Formuvannya informatsiynoho potentsialu pidpryyemstva"], *Bulletin of the National University of Food Technology*, available at : <http://dspace.nuft.edu.ua/> (last accessed: 24.01.2020).

13. Motalo, V., Chereshevskaya, A. (2018), "Analysis of measurement quality indicators" ["Analiz pokaznykiv yakosti vymiryuvan"], *Vymiryuvai Measuring equipment and metrology*. Vol. 79, No. 2, P. 35–41. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcmtm2018.02.035>
14. Carrera, D., Gustavo, A., Rosales, J. (2018), "Optimizing Binary Serialization with an Independent Data Definition Format" ["Optimizing Binary Serialization with an Independent Data Definition Format"], *International Journal of Computer Applications*, Vol. 180, No. 28, P. 34–41.
15. Luginin, O., Fomishena, V. (2011), *Economic and mathematical modeling [Ekonomiko-matematychni modelyuvannya]* : monograph, Kyiv, Knowledge, 342 p.
16. Naboka, R. (2019), "Quality in the paradigm of information and communication potential management of the enterprise" ["Yakist' v paradyhmi upravlinnya informatsiyno-komunikatsiynym potentsialom pidpryyemstva"], *Scientific Bulletin of Polissya*, No. 2 (18), P. 163–170.
17. Plakhtiy, T. (2016), "Objects of a qualitative approach in accounting" ["Ob'yekty yakisnoho pidkhodu v bukhholders'komu obliku"], *Bulletin of Zhytomyr State Technological University. Series: Economic Sciences*, No. 1, P. 39–47.
18. Verenych, O., Dorosh, M. (2017), "Blended Mental Space: the methodology for creation and approaches for it's management" ["Blended Mental Space: the methodology for creation and approaches for it's management"], *Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, Vol. 2, P. 30–37. DOI: 10.1109 / STC-CSIT.2017.8099423
19. Kosenko, V., Persiyanova, E., Belotsky, O., Malyeyeva, O. (2017), "Methods of managing traffic distribution in information and communication networks of critical infrastructure systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (2), P. 48–55. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.048>.

Надійшла (Received) 09.04.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шукліна Вікторія Вікторівна – кандидат економічних наук, доцент, Херсонський національний технічний університет, доцент кафедри менеджменту, маркетингу і туризму, Херсон, Україна; email: golybtn@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9697-092X>.

Шуклина Виктория Викторовна – кандидат экономических наук, доцент, Херсонский национальный технический университет, доцент кафедры менеджмента, маркетинга и туризма, Херсон, Украина.

Shuklina Victoria – PhD (Economics Sciences), Associate Professor, Kherson National Technical University, Associate Professor of the Department of Management, Marketing and Tourism, Kherson, Ukraine.

Набока Руслан Миколайович – кандидат економічних наук, доцент, Херсонський національний технічний університет, доцент кафедри менеджменту, маркетингу і туризму, Херсон, Україна; email: nm25@rambler.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3417-8216>.

Набока Руслан Николаевич – кандидат экономических наук, доцент, Херсонский национальный технический университет, доцент кафедры менеджмента, маркетинга и туризма, Херсон, Украина.

Naboka Ruslan – PhD (Economics Sciences), Associate Professor, Kherson National Technical University, Associate Professor of the Department of Management, Marketing and Tourism, Kherson, Ukraine.

КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА ИТЕРАЦИЙ В ЦИКЛЕ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ

Предметом исследования в статье являются критерии качества и методы формирования информационно-коммуникационного потенциала предприятия, а также процессы его последовательного приближения к желаемому состоянию. **Целью** является оптимизация состава критериев качества формирования информационно-коммуникационного потенциала, определение их соответствия существующим методам с учетом быстрых изменений ситуаций функционирования и необходимости применения алгоритмов качественного совершенствования механизма управления потенциалом. В работе решаются следующие **задачи**: анализ предпосылок актуализации качественных критериев на этапе развития информационной экономики и их оптимизации по месту возникновения признаков качества в процессе формирования информационно-коммуникационного потенциала; аналитический обзор методов итерации цикла его формирования; разработка схемы алгоритма качественной итерации цикла формирования информационно-коммуникационного потенциала; выявление условий автоматизации процесса формирования информационно-коммуникационного потенциала с использованием преимуществ качества программного обеспечения на этапах его жизненного цикла. Для решения указанных задач были использованы общенаучные **методы**: системного и монографического анализа, синтеза и анализа, индукции и дедукции, абстракции посредством итерации. Получены следующие **результаты**. Установлены предпосылки актуальности качественных критериев в процессе формирования информационно-коммуникационного потенциала; по месту возникновения признаков выделены группы критериев качества: критерии качества состояния, критерии качества условий, критерии качества процесса, критерии качества результата формирования информационно-коммуникационного потенциала. Определены и обоснованы преимущества применения итерационного метода формирования информационно-коммуникационного потенциала предприятия, который объективно отражает его спиральный цикл, когда неполное завершение работ на стадии позволяет переходить на следующую, не дожидаясь полного завершения на текущей; с возможностью прохождения пропущенной стадии на следующей итерации с возможностью изменения критериев. Предложена обобщенная модель итерационного алгоритма формирования информационно-коммуникационного потенциала, позволяющая качественно усовершенствовать механизм управления потенциалом предприятия. Аргументировано, что критерии качества должны пересматриваться с учетом корпоративных

интересов и условий автоматизации процесса, с использованием преимуществ программного обеспечения и искусственного интеллекта. **Выводы:** для современного состояния информационных технологий и объемов информационно-коммуникационных ресурсов обоснован приоритет качественных критериев и итерационного метода формирования информационно-коммуникационного потенциала предприятия.

Ключевые слова: управление; информационно-коммуникационный потенциал; критерий качества; метод итерации; алгоритм; функция формирования; жизненный цикл; информация; информационный ресурс; программное обеспечение.

CRITERIA FOR THE QUALITY OF ITERATIONS IN THE CYCLE OF FORMATION OF INFORMATION AND COMMUNICATION POTENTIAL OF THE ENTERPRISE

The **subject** of the research in the article is the quality criteria and methods of forming the information and communication potential of the enterprise, as well as the processes of its consistent approach to the desired state. The **goal** is to optimize the composition of the quality criteria for the formation of information and communication potential, determine their compliance with existing methods, taking into account the rapid changes in functioning situations and the need to use algorithms for qualitative improvement of the potential management mechanism. The following **tasks** are solved in the work: analysis of the prerequisites for updating the quality criteria at the stage of development of the information economy and their grouping at the place of occurrence of quality signs in the process of forming information and communication potential; analytical review of methods of iteration of the cycle of its formation; development of a scheme for a qualitative iteration of the cycle of formation of information and communication potential; identification of conditions for the automation of the process of forming information and communication potential using the advantages of software quality at the stages of its life cycle. To solve these problems, general scientific **methods** were used: systemic and monographic analysis, synthesis and analysis, induction and deduction, abstraction through iteration. The following **results** are obtained. The prerequisites for the relevance of quality criteria in the process of formation of information and communication potential are established; groups of quality criteria were identified at the place of occurrence of the signs: quality criteria of the state, criteria for the quality of the conditions, criteria for the quality of the process, quality criteria for the result of the formation of information and communication potential. The advantages of applying the iterative method of forming the information and communication potential of an enterprise, which objectively reflects its spiral cycle, when incomplete completion of work at the stage allows moving to the next without waiting for complete completion at the current one, are identified and justified; with the possibility of passing the missed stage at the next iteration with the possibility of changing the criteria. A generalized model of an iterative algorithm for the formation of information and communication potential is proposed, which allows to qualitatively improving the mechanism of enterprise potential management. It is argued that the quality criteria should be reviewed taking into account corporate interests and the conditions of process automation, using the advantages of software and artificial intelligence. **Conclusions:** for the current state of information technology and the volume of information and communication resources, the priority of qualitative criteria and an iterative method of forming the information and communication potential of an enterprise are substantiated.

Keywords: management; information and communication potential; quality criterion; iteration method; algorithm; formation function; life cycle; information; information resource; software.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Шукліна В. В., Набока Р. М. Критерії якості ітерацій в циклі формування інформаційно-комунікаційного потенціалу підприємства. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 90–99. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.090>.

Shuklina, V., Naboka, R. (2020), "Criteria for the quality of iterations in the cycle of formation of information and communication potential of the enterprise", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 90–99. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.090>.

Т. В. МОМОТ, К. С. САВЕНКО, Б. Б. КРАЇВСЬКИЙ, ТАН ЛІНЛІН

ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ СПОЖИВАЧІВ ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНИХ ПОСЛУГ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕГРОВАНОЇ ЗВІТНОСТІ

Стаття присвячена дослідженню питань концептуальних основ формування інформаційно-аналітичного забезпечення споживачів житлово-комунальних послуг на засадах імплементації інтегрованої звітності у облікову практику підприємств житлово-комунального господарства. **Предметом** дослідження є сукупність теоретичних, методичних і практичних аспектів щодо формування інформаційно-аналітичного забезпечення економічної безпеки споживачів житлово-комунальних послуг. **Метою** статті є розробка теоретико-методичних положень та обґрунтування практичних рекомендацій щодо формування інформаційно-аналітичного забезпечення економічної безпеки споживачів житлово-комунальних послуг на засадах імплементації інтегрованої звітності у облікову практику підприємств житлово-комунального господарства. **Завдання** роботи: обґрунтувати доцільність імплементації інтегрованої звітності у облікову практику підприємств житлово-комунального господарства, проаналізувати міжнародні стандарти соціальної звітності, на основі міжнародного досвіду запропонувати типову структуру Annual Report для муніципалітету, узагальнити теоретико-методичні підходи до формування інформаційно-аналітичного забезпечення економічної безпеки споживачів житлово-комунальних послуг на засадах імплементації інтегрованої звітності у облікову практику підприємств житлово-комунального господарства. У ході дослідження використано **методи**: абстрактно-логічний аналіз, теоретичного узагальнення та систематизації. В роботі узагальнено теоретико-методичні підходи до формування соціальної звітності за міжнародними стандартами та склад нефінансової інформації, що надається із визначенням відмінностей щодо інтерпретації системи показників. Доведено, що для забезпечення економічної безпеки споживачів житлово-комунальних послуг важливими є обидва види інформації щодо: забезпечення надання житлово-комунальних послуг – Закон № 887 та проведення постійного моніторингу якості таких послуг – додаткова інформація, що входить у склад інтегрованого звіту комунальних підприємств **Висновки**. Запропоновано методичний підхід до формування інформаційно-аналітичного забезпечення економічної безпеки споживачів житлово-комунальних послуг на засадах імплементації інтегрованої звітності у облікову практику підприємств житлово-комунального господарства. Показники, що характеризують взаємодію житлово-комунальних підприємств за видами діяльності зі стейкхолдерами систематизовано в чотири групи.

Ключові слова: житлово-комунальна послуга; житлово-комунальне господарство; економічна безпека споживачів житлово-комунальних послуг; інтегрована звітність; інформаційно-аналітичне забезпечення; міжнародні стандарти звітності; користувачі звітності.

Вступ

Житлово-комунальне господарство адміністративно-територіального утворення є самостійною галуззю народного господарства, головною метою функціонування якої є забезпечення нормальних умов життя і роботи мешканців через безперервне надання населенню та підприємствам житлово-комунальних послуг. Доступність та належна якість публічних послуг забезпечується шляхом оптимального розподілу повноважень між органами місцевого самоврядування та органами виконавчої влади на різних рівнях адміністративно-територіального устрою за принципами субсидіарності та децентралізації.

Основною метою діяльності органів місцевого самоврядування у сфері житлово-комунального господарства є не лише надійне та безперервне його функціонування, а й підвищення ефективності, стійкості та надійності функціонування галузі, тобто надання споживачеві житлово-комунальних послуг, що відповідають стандартам якості, розвиток конкурентних відносин і залучення приватного сектора до управління об'єктами комунальної інфраструктури та житлового фонду, зниження витрат при оплаті послуг. Дотримання даних вимог є запорукою забезпечення високого рівня економічної безпеки споживачів житлово-комунальних послуг

міста.

Надійне і якісне комунальне обслуговування потреб населення та можливості його повного задоволення мають особливе соціально-економічне значення. У цій сфері найбільш очевидно простежується взаємозв'язок економічної ефективності діяльності кожного підприємства із соціальними результатами надання населенню комунальних послуг.

Недосконалість наукового обґрунтування стратегічного розвитку житлово-комунального комплексу протягом усього періоду реформування галузі негативно позначилась на фінансових результатах його господарської діяльності. Особливу соціально-економічну напругу за останні роки набула проблема незбалансованості ринкової вартості послуг житлово-комунальних підприємств з платіжною спроможністю населення.

Однією з причин виникнення криз як національного масштабу, так і на окремому підприємстві є недосконалість облікової системи, що проявляється: у відсутності можливості відобразити виникнення ризиків та загроз діяльності підприємств; методологічно необґрунтованій оцінці інтелектуального, соціально-репутаційного, людського та природного капіталів; існуючій розрізненості корпоративної звітності, яка не надає цілісного уявлення про здатність суб'єкта

господарювання створювати цінність як для власного розуміння, так й для усіх стейкхолдерів в довгостроковій перспективі. Євроінтеграційний курс України вимагає дотримання суб'єктами господарювання Директив Європейського Союзу. Відтак, розвиток організаційно-методичних засад та практичного інструментарію впровадження інтегрованої звітності в Україні як елементу інформаційно-комунікаційного забезпечення фінансово-економічної безпеки суб'єктів господарювання є актуальною і своєчасною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вагомий внесок у розвиток теоретичних основ та практичних аспектів формування окремих складових інтегрованої звітності та її впровадження зробили українські та закордонні вчені, зокрема Крутова А.А., В.В. Євдокимов та ін., Д. Іоан та Т. Адріаа, Г.І. Робертс та П.К. Майкл, І. Софіан, М. Дамітру, С. Сміс, Х.-Ф. Ліу та Х.-Л. Ву, В. Кук, С. Буммел та Е. Торнхаут.

Проте, кризи нового тисячоліття виявили неспроможність існуючих обліково-звітних систем виконувати роль генератора інформаційно-комунікаційної підтримки забезпечення фінансово-економічної безпеки суб'єктів господарювання.

Відтак, актуальним та своєчасним є розробка науково-методичних засад формування інформаційно-аналітичного забезпечення економічної безпеки споживачів житлово-комунальних послуг на засадах імплементації інтегрованої звітності у облікову практику підприємств житлово-комунального господарства.

Одним із шляхів побудови партнерських відносин між підприємствами ЖКГ та споживачами комунальних послуг є імплементація інтегрованої соціально-орієнтованої звітності, яка б містила не тільки сухі цифри результатів діяльності комунальних підприємств та обсягів наданих ними послуг, але й описувала корпоративні цінності таких суб'єктів господарювання, їх зусилля в покращенні якості надання комунальних послуг, економічної ситуації в містах, а також проведенні роботи з реформатування традиційної технології їх функціонування в сучасну бізнес-модель, що спрямована в тому числі й на ресурсозбереження з метою зниження тарифів на житлово-комунальні послуги.

Таким чином, теоретико-методичне та прикладне значення вирішення окреслених проблем зумовило актуальність обраної теми, визначило мету, завдання й напрям дослідження.

Цілі та завдання дослідження

Метою дослідження є розробка теоретико-методичних положень та обґрунтування практичних рекомендацій щодо формування інформаційно-аналітичного забезпечення економічної безпеки споживачів житлово-комунальних послуг на засадах

імплементації інтегрованої звітності у облікову практику підприємств житлово-комунального господарства.

Матеріали та методи дослідження

Теоретико-методичною основою дослідження стали наукові праці провідних вітчизняних учених і зарубіжних учених економістів, законодавчі й нормативні акти України, що регламентують доведення до споживачів інформації в сфері житлово-комунального господарства. У ході дослідження використано такі методи як: абстрактно-логічний аналіз, теоретичного узагальнення та систематизації.

Результати досліджень та їх обговорення

Економічна безпека споживачів житлово-комунальних послуг розглядається як забезпечення захисту життєво важливих інтересів та прав споживачів товарів, послуг у сферах енергетики та комунальних послуг від внутрішніх та зовнішніх загроз при отриманні цих товарів і послуг належної якості в достатній кількості та за обґрунтованими цінами [1].

Житлово-комунальні послуги є результатом господарської діяльності, спрямованої на забезпечення умов проживання та перебування осіб у жилих і нежилых приміщеннях, будинках і спорудах, комплексах будинків і споруд відповідно до нормативів, норм, стандартів, порядків і правил. Основні засади організаційних, господарських відносин, що виникають у сфері надання та споживання ЖКП між їхніми виробниками, виконавцями і споживачами визначає Закон України "Про житлово-комунальні послуги" [2].

Основними суб'єктами економічних відносин у сфері житлово-комунальних послуг є: споживач, виконавець, виробник та органи влади. На ринку ЖКП споживач є домінуючим (головним) учасником, рівень його задоволеності залежить від гарантованого забезпечення в повному обсязі комунальними та житловими послугами належної якості. Відтак, пріоритетність інтересів споживачів є очевидною.

Система відносин у сфері ЖКГ є складною, неоднорідною та характеризується неадитивними властивостями її складових елементів, наявністю монополізму, відсутністю досконалої конкуренції, нееластичністю попиту та пропозиції, недосконалістю тарифної політики. Головними особливостями послуг як спеціального виду товару є їх невідчутність, невіддільність виробництва і споживання, нездатність до зберігання й висока ступінь невизначеності або мінливості. За своєю природою послуги не мають гарантованих стандартів якості. Інакше кажучи, послугам ЖКГ властивий високий ступінь невизначеності. Ця обставина ставить споживача послуг у невідгідне положення тому, що результат послуги, її корисний ефект може бути оцінено тільки після її надання. Крім того, взаємовідносини між учасниками ринку ЖКП формують непрозорі умови

здійснення діяльності, що дозволяє господарюючим суб'єктам зловживати своїм становищем на ринку. Закон попиту та пропозиції в міському господарстві поступається місцем економічним інтересам підприємств-монополістів, що диктують свої умови споживачам послуг [3]. За таких умов питання забезпечення економічної безпеки споживачів комунальних послуг набуває особливого значення.

У даному дослідженні економічна безпека споживачів житлово-комунальних послуг розглядається як стан захищеності життєво важливих інтересів споживачів від реальних і потенційних джерел небезпеки або економічних загроз у процесі вироблення або створення та надання житлово-комунальних послуг.

Порядок доведення до споживачів інформації про перелік житлово-комунальних послуг, структуру цін/тарифів, зміну цін/тарифів з обґрунтуванням її необхідності та про врахування відповідної позиції територіальних громад, затверджено наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 05.06.2018 № 130 і зареєстровано в Мін'юсті України 26.06.2018 за № 753/32205 [4]. З метою забезпечення споживачів ґрунтовними та детальними поясненнями щодо необхідності зміни тарифів, їх структури проводяться відкриті громадські обговорення проектів рішень на засадах гласності, прозорості та відкритості, відповідно до процедури, визначеної постановою НКРЕКП № 866 від 30.06.2017 "Про затвердження Порядку проведення відкритого обговорення проектів рішень Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг" [5]. Крім того, з метою проведення прозорих нарахувань за спожиті комунальні послуги ухвалено постанову НКРЕКП від 30.03.2017 № 464 "Про щорічне забезпечення споживачів ключовою інформацією про послуги у сферах енергетики та комунальних послуг", згідно з якою суб'єкти господарювання у сферах енергетики та комунальних послуг, державне регулювання яких здійснюється НКРЕКП для надання споживачам ключової інформації про споживання ними енергоресурсів та надані комунальні послуги, щорічно до 1 травня доводять до відома споживачів інформацію, зокрема, про структури тарифів на послуги з централізованого опалення та централізованого постачання гарячої води, фактичний обсяг надання послуг з централізованого опалення та централізованого постачання гарячої води, порівняння обсягів надання послуг з централізованого опалення та централізованого постачання гарячої води з іншими споживачами) [6].

Одним із шляхів побудови партнерських відносин між підприємствами ЖКГ та споживачами комунальних послуг є імплементація інтегрованої соціально орієнтованої звітності, яка б містила не тільки сухі цифри результатів діяльності комунальних підприємств, обсягів наданих ними послуг, але й описувала корпоративні цінності таких суб'єктів господарювання, їх зусилля в покращенні якості

комунальних послуг, економічної ситуації в містах, а також проведенні роботи з переформатування традиційної технології їх функціонування в сучасну бізнес-модель яка спрямована в тому числі на економію ресурсів з метою зниження тарифів на житлово-комунальні послуги. Так, Лоханова розглядає інтегровану звітність як продукт цілісної обліково-аналітичної системи [7]. С. Адамс та Р. Сімнетт відмічають, що "...інтегрована звітність є новою парадигмою звітності, яка є цілісною, стратегічною, адаптивною, суттєвою і актуальною до різних часових вимірів" [8].

Одним із шляхів побудови партнерських відносин між підприємствами ЖКГ та споживачами комунальних послуг є імплементація інтегрованої соціально-орієнтованої звітності. У країнах Заходу підготовка інтегрованої звітності муніципалітету, комунальних підприємств і організацій в форматі Annual Report є одним з ключових елементів місцевого самоврядування. Annual Report щорічно складається містами, регіонами і навіть окремими районами.

Annual Report – це документ, що містить широкий спектр інформації про компанії або організації за минулий фінансовий рік. На відміну від класичної фінансової звітності, Annual Report розкриває як фінансові, так і нефінансові дані. Наприклад, опис стратегії розвитку, сильних сторін виробництва і менеджменту, корпоративної соціальної відповідальності тощо. Також в такому звіті містяться плани і цілі, які організація планує досягти в коротко- і середньостроковій перспективах.

В Україні цей тренд з'явився порівняно недавно. Поки що більшість органів місцевої влади обмежуються звітом про виконання державного бюджету. Але подібні звіти, по-перше, є неповними. Вони містять фінансову інформацію, а цього не достатньо, щоб в повній мірі оцінити діяльність місцевої влади. По-друге, широкій громадськості досить часто складно і нецікаво в них розбиратися. Інтегрований звіт в форматі Annual Report структурує всю інформацію, супроводжуючи її зрозумілими і наочними поясненнями. Саме простота і всеосяжний характер поданої інформації дозволяють суттєво підвищити його ефективність. При цьому, типова структура Annual Report для муніципалітету може бути такою:

- Загальна інформація про місто та органи місцевого самоврядування;
- "Місто в особах": звернення міського голови, інформація про ключових керівників органів місцевого самоврядування або найбільших комунальних підприємств;
- Стратегія розвитку міста та її ключові показники;
- Соціально-економічні показники розвитку (демографічна ситуація, економічний розвиток, інфраструктура, охорона здоров'я, соціальний захист, освіта, туризм, культура, наука, технології, інновації, екологія та безпека навколишнього середовища);

- Аналіз виконання муніципального бюджету за звітний період (ключові показники, відомості про доходи та витрати, місцевий борг, інформація про гарантоване борг);

- Консолідована фінансова інформація спеціального призначення за звітний період, підготовлена відповідно до Міжнародних стандартів фінансової звітності громадського сектора (МСФООС/IPSAS);

- Примітки до консолідованої фінансової інформації спеціального призначення;

- Надання рекомендацій щодо пріоритетів розвитку міста (комунального підприємства) на середньостроковий період.

Всеохоплюючий характер інтегрованої звітності передбачає вкрай широкий спектр її адресатів – як серед самого територіального об'єднання, так і за його межами. Найбільшою перешкодою для формування інтегрованих звітів вітчизняними суб'єктами господарювання є відсутність або неповне розуміння змісту та форми представлення інформації в ньому. Комітет з Міжнародної інтегрованої звітності (International Integrated Reporting Committee, IIRC) оголосив своєю метою створення моделі, "що об'єднує і взаємо пов'язує два види звітності, фінансову і не фінансову, в одну інтегровану бізнес-звітність. Така модель не означає механічного об'єднання двох звітів, а є результатом більш складного процесу, який виявляє взаємозв'язок між двома "пакетами" інформації; забезпечує необхідний для розуміння, але не зайвий рівень дублювання і крос-посилань і гарантує стратегічний фокус" [9]. Під час дослідження змісту системи показників відповідно до міжнародних стандартів виникають різні інтерпретації системи показників. Так Гільорме Т. вважає, що "суб'єкт господарювання, який дотримується в корпоративній звітності вимог GRI, повинен розкрити п'ять складових: стратегію і аналіз; опис організації; параметри звітності, управління, зобов'язання із зацікавленими сторонами; показники результативності (економічні результати, екологічні результати, організація праці та відповідальність за продукцію)" [10, с.674-675].

Директиви ЄС стосовно інтегрованої звітності розроблені в нерегуляторному стилі, тому має місце високий ступінь гнучкості в питанні вибору найбільш відповідної моделі для розкриття необхідної фінансової та нефінансової інформації. Суб'єкти господарювання можуть використовувати національні рамкові підходи, або загальноєвропейські (наприклад систему екологічного менеджменту та аудиту EMAS (Eco-Management and Audit Scheme)), але для визнання звітів в усьому світі, доцільно використовувати міжнародні підходи до яких і відноситься інтегрована звітність.

На теперішній час в Україні підготовка інтегрованої звітності є добровільною, а її форма нічим не регламентується. Незважаючи на те, що для підприємств-лідерів, підготовка інтегрованої звітності є частиною корпоративної культури, зміст та якість інформації суттєво різняться. Серед українських

компаній інтегровану звітність складають такі компанії як Астарта, Воля, Галнафтогаз, ДТЕК, Київстар, Метінвест, Оболонь, СКМ, Lifecell, Platinum Bank та ін. [11]. У нефінансовій звітності вітчизняного бізнесу, як правило, переважає констатування загальної інформації щодо нерегулярних ініціатив без вказання кількісних показників, що вимірюють результативність реалізації проєктів. За думкою Давидюк Т. "у вітчизняному бізнес-співтоваристві відсутнє єдине розуміння того, яким чином доносити інформацію про свою соціальну діяльність суспільству" [12, с.64].

Відсутність єдиних методологічних засад та напрацьованої практики формування інтегрованої звітності вітчизняними підприємствами, призвело до того, що в звітах, які деякі суб'єкти господарювання іменують "інтегрованими" або "звітністю сталого розвитку", інформація наводиться не пов'язана, в деяких випадках непрозора або взагалі не зрозуміла.

Основною причиною таких недоліків, є те, що суб'єкти господарювання при формуванні інтегрованої звітності: використовують різні стандарти; не дотримуються принципів складання інтегрованого звіту; значна кількість показників та чинників зовнішнього середовища залишаються не розкритими, особливо тих, які стосуються негативних наслідків діяльності, екологічної складової звіту, ризиків тощо.

Найрозповсюдженішими міжнародними стандартами звітності є: стандарти Саншайн; GRI; AA1000; ISO 26000, SA8000. Найбільш відомим переліком кількісних показників у світовій практиці нефінансової звітності є система показників GRI, застосування яких рекомендується і при формуванні соціальної звітності довільного формату, а також Звітів про Прогрес [13].

Порівняльний аналіз цих стандартів та відмінностей, які існують у визначенні та переліку нефінансових показників подано у табл. 1.

Найбільш привабливою з позицій забезпечення економічної безпеки, на наш погляд, є концепція звітності про вартість (Value Reporting), яка була започаткована в працях С.А. Діпази та Р.Д. Екклза [14]. Її ключовою ідеєю є досягнення більшої інформативності бухгалтерських показників шляхом корпоративного звітування та розробки стандартів нефінансової інформації, що відображає галузеву специфіку підприємства. Виходячи з цього, авторами запропоновано трирівневу модель інтегрованої звітності, що визначає взаємодію та відповідальність усіх учасників процесу складання.

Практичне впровадження трирівневої моделі звітності обумовлює перехід від концепції фінансової звітності до концепції інтегрованої звітності, метою якої є поєднання інформації про фінанси, вплив оточуючого середовища на діяльність підприємства та соціальні аспекти в один чіткий, взаємопов'язаний та придатний для порівняння формат [15].

Одночасно слід зазначити, що для житлово-комунальних підприємств важливим є процес підготовки інтегрованої звітності.

Таблиця 1. Аналіз міжнародних стандартів соціальної звітності

Стандарт	Розробник, дата прийняття	Склад інформації, що надається
Міжнародний стандарт з інтегрованої звітності	Міжнародна рада по інтегрованій звітності (IRC) 2013 р.	Огляд організації та зовнішнє середовище; управління; бізнес-модель, ризики та можливості; стратегія і розподілення ресурсів; результати діяльності; перспективи на майбутнє; основні принципи підготовки и презентації.
GRI	Глобальна Рада із стандартів в області сталого роз-витку, 2000 р.	Звітність зі сталого розвитку одночасно охоплює економічні, екологічні та соціальні аспекти діяльності.
AA 1000	Інститут соціальної та етичної звітності (Istitute of Social and Ethical Account Ability), 1999 р.	Соціальний, екологічний та економічний вплив і відповідні показники своєї діяльності, а також думка про це зацікавлених сторін; запити і потреби зацікавлених сторін і відповідним чином реагування на них в політиці та практичної діяльності організації.
ISO 26000	Міжнародна організація із стандартизації, 2010 р.	Містить інформацію про те, як підприємства можуть працювати соціально відповідальним чином. Це означає прозору і етичну поведінку, яка сприяє здоров'ю та добробуту суспільства.
SA 8000	Міжнародна організація із соціальної відповідальності SAI (Social Accountability International) 1997 р.	Охорона здоров'я співробітників, техніки безпеки; питання дискримінації; використання трудової діяльності дітей; примусова праця; робочий час; дисциплінарне стягнення; системи управління; компенсація праці.
Стандарти Саншайн	Альянс стейкхолдерів (США) –1996 р.	Інформація, надана клієнтам (про продукцію та послуги); інформація, призначена для співробітників (гарантія зайнятості, безпеки та охорона здоров'я, рівні можливості при наймі); інформація для місцевого співтовариства (структура власності, фінансові показники, вплив на зовнішню середу, обсяг податкових виплат, кількість створених робочих місць, інвестиції та благодійна діяльність); інформація для широкої громадськості (торгівля з ворожими країнами, виконані державні заклази, штрафи тощо).

На думку С. Король для забезпечення прозорості нефінансових звітів, що складаються у вільній формі, можна рекомендувати такі заходи:

- проводити опитування стейкхолдерів, на яких розрахована ця звітність, з метою вивчення їх зауважень;

- складати план соціальних заходів з огляду на конкретні запити стейкхолдерів;

- оперативно інформувати стейкхолдерів про хід виконання їхніх запитів та виявлені порушення" [16, с. 111].

Таким чином, процес формування інтегрованої звітності доцільно починати після складання фінансової звітності житлово-комунальних підприємств, що надасть можливість фінансово обґрунтовано визначати стратегію підприємства з врахуванням досягнутих в звітному періоді фінансових результатів.

Подальший розвиток інтегрованої звітності на житлово-комунальних підприємствах повинен бути спрямований на такі важливі аспекти, як розробка та удосконалення системи фінансових і нефінансових показників, методи отримання інформації, узагальнення різних систем забезпечення управління (управлінського обліку, моніторингу, аналізу фінансової стійкості) в процесі підготовки внутрішньої інтегрованої звітності.

Висновки

Проведена оцінка змістовного наповнення звітності низки вітчизняних підприємств показала, що загалом структура звітів формується відповідно до Керівництва по звітності у сфері сталого розвитку Глобальної ініціативи зі звітності (GRI), що є домінуючим стандартом для наведення інформації про економічні, екологічні та соціальні показники, які характеризують сталий розвиток. Дослідження структури та змістовного наповнення звітів за стандартами GRI показала, що звітність, складена за їх вимогами, є різноспрямованою, базується в основному на наведенні інформації про вплив на навколишнє середовище та засоби його зменшення, та різноманітні соціальні показники діяльності підприємства.

На наш погляд, до складу інтегрованої звітності житлово-комунальних підприємств слід вводити систему показників, які не тільки стосуються безпосередньо бізнес-моделі суб'єкта господарювання та процесу створення ними вартості, але й показники оцінки якості надання житлово-комунальних послуг, у вигляді моделі збалансованої системи показників [3]. Саме наявність цих показників змістовно відрізняє комунальні підприємства як суспільно та громадсько орієнтованих суб'єктів господарювання від інших підприємств та організацій.

За результатами дослідження усі показники, що характеризують взаємодію житлово-комунальних підприємств за видами діяльності із групами стейкхолдерів пропонується систематизувати у чотири групи:

1) фінансові, які характеризують створення й використання фінансових ресурсів у галузі житлово-комунального господарства, фінансове становище та результати господарської діяльності підприємств галузі;

2) техніко-економічні, які характеризують матеріально-виробничі аспекти діяльності житлово-комунальних підприємств;

3) функціональні, які відображають спроможність підприємств галузі житлово-комунального господарства виконувати свої функції щодо виробництва і надання житлово-комунальних послуг;

4) інституційні, які відображають інституційні перетворення, що відбуваються у галузі житлово-комунального господарства, та ключові зміни, що сталися внаслідок здійснених в галузі реформ.

Запропонована класифікація показників дозволяє відслідкувати взаємодію споживачів із житлово-комунальними підприємствами за видами наданих

послуг з урахуванням як кількісних, так і якісних параметрів.

Таким чином, за результатами дослідження обґрунтовано доцільність проведення постійного моніторингу зазначених показників шляхом формування інформаційно-аналітичного забезпечення економічної безпеки споживачів житлово-комунальних послуг на засадах імплементації інтегрованої звітності у облікову практику підприємств житлово-комунального господарства, що сприятиме формуванню необхідної бази показників для інтегральної оцінки рівня економічної безпеки споживачів ЖКП. Підсумовуючи та базуючись на міжнародному досвіді, для забезпечення можливості стейкхолдерам (включаючи споживачів) отримати інформацію для оцінки ефективності та якості надання житлово-комунальних послуг на основі інтегрованої звітності у галузі житлово-комунального господарства запропоновано систематизувати показники за такими групами: фінансові, техніко-економічні, функціональні, інституційні. Запропонована класифікація показників сприятиме збільшенню якості інформаційно-аналітичного забезпечення для підвищення рівня фінансово-економічної безпеки споживачів житлово-комунальних послуг.

Список літератури

1. Аванесова Н. Е., Чупрін Є. С. Економічна безпека підприємства: сутнісна характеристика поняття. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2017. № 1 (1). С. 98–102. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.098>
2. Про житлово-комунальні послуги : Закон України від 24 черв. 2004 р. № 1875-IV : за станом на 11 черв. 2017 р. : веб-сайт. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1875-15> (дата звернення : 23.04.2020).
3. Момот Т. В., Сінческул І. Л., Савенко К. С., Букресва К. С. Збалансоване управління взаємовідносинами зі стейкхолдерами у сфері теплопостачання. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2019. № 4 (10). С. 101–110. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.101>
4. Наказ Мінрегіону від 05.06.2018 № 130 "Про затвердження Порядку інформування споживачів про намір зміни цін/тарифів на комунальні послуги з обґрунтуванням такої необхідності", зареєстрований у Міністерстві юстиції України 26.06.2018 за № 753/32205: веб-сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0753-18> (дата звернення : 23.04.2020)
5. Постанова НКРЕКП № 866 від 30.06.2017 "Про затвердження Порядку проведення відкритого обговорення проєктів рішень Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг": веб-сайт. URL: <https://www.nerc.gov.ua/?id=26157> (дата звернення : 23.04.2020)
6. Постанова НКРЕКП від 30.03.2017 № 464 "Про щорічне забезпечення споживачів ключовою інформацією про послуги у сферах енергетики та комунальних послуг": веб-сайт. URL: <https://www.nerc.gov.ua/?id=24517> (дата звернення : 23.04.2020)
7. Лоханова Н. О. Інтегрована звітність як продукт цілісної обліково-аналітичної системи. *Вісник соціально-економічних досліджень*. 2012. Вип. 4 (47). С. 50–56
8. Adams, S. & Simnett, R. (2011), "Integrated Reporting: An Opportunity for Australia's Not-for-Profit Sector", *Australian Accounting Review*, Vol. 21, Issue 3, P. 292–301.
9. Global Reporting Initiative. Guidelines for reporting in the sphere of sustainable development [Guidelines for reporting in the sphere of sustainable development], available at : www.globalreporting.org/.../Russian-G3-Reporting-Guidelines.pdf. [in Russian] (last accessed 23.04.2020).
10. Гільорме Т. В., Шачаніна Ю. К. Корпоративна соціальна звітність як домінанта інформаційного забезпечення управління підприємством. *Економіка і суспільство*. 2016. № 2. 672–677.
11. Інтегрована звітність: аналітичний огляд за липень 2017 р.: веб-сайт. URL: http://www.svb.org.ua/sites/default/files/csr_ukraine_white_paper_2017_july_integrated_reporting.pdf. (дата звернення : 23.04.2020)
12. Давидюк Т. В. Соціальна звітність як напрям інформування про людський капітал компанії Проблеми та шляхи досягнення соціо-еколого-економічної безпеки на мікро-, мезо- та макрорівні : матер. Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. 2016. С. 62–65.
13. Міжнародний стандарт інтегрованої отчетности: веб-сайт. URL: http://edu.inesnet.ru/wp-content/uploads/2014/05/13-12-08-THE-INTERNATIONAL-IR-FRAMEWORK.docx_en-US_ru-RU.pdf. (дата звернення : 23.04.2020)
14. Гнилицька Л. В. Сучасні підходи до квінтесенції публічної звітності підприємства в контексті забезпечення його економічної безпеки. *Проблеми теорії та методології бухгалтерського обліку, контролю і аналізу. Сер. : Бухгалтерський облік, контроль і аналіз*. 2016. Вип. 1. С. 48–65.

15. Міжнародні моделі регулювання звітності сталого розвитку: аналіз сучасного стану : монографія. Житомир, 2013. 192 с.
 16. Король С. Нефінансова звітність підприємства. *Вісник КНТУ*. 2011. № 6. С. 102–113.

References

1. Avanesova, N., Chuprin Y. (2017), "Enterprise Economic Security: Essential Characteristics of the Concept", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (1), P. 98–102. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.098>
2. On Housing and Communal Services: Law of Ukraine of June 24. 2004 No. 1875-IV: as of June 11. 2017, available at : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1875-15> (last accessed 23.04.2020).
3. Momot, T., Sincheskul, I., Savenko, K., Bukrieva, K.(2019), "Balanced Management of Stakeholder Relationships in the Heating Sphere", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 101–110. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.101>
4. Order of the Ministry of Regional Development dated 05.06.2018 No. 130 "On approval of the Procedure for Informing Consumers about the Intention to Change Prices / Tariffs for Utilities with Justification of such Need", registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 26.06.2018 for No. 753/32205, available at : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0753-18> (last accessed 23.04.2020).
5. Resolution of the National Commission for Regulation of Economic Competition No. 866 of 30.06.2017 "On approval of the Procedure for open discussion of draft decisions of the National Commission for State Regulation of Energy and Utilities" available at : <https://www.nerc.gov.ua/?id=26157> (last accessed 23.03.2018).
6. Resolution of the National Commission for Regulation of Economic Competition dated 30.03.2017 No. 464 "On the Annual Provision of Consumers with Key Information about Services in the Fields of Energy and Utilities", available at : <https://www.nerc.gov.ua/?id=24517> (last accessed 23.03.2018).
7. Lohanova, N. (2012), "Integrated Reporting as a Product of a Holistic Accounting and Analytical System", *Bulletin of Socio-economic Research*, No. 4 (47), P. 50–56.
8. Adams, S. & Simnett, R. (2011), "Integrated Reporting: An Opportunity for Australia's Not-for-Profit Sector", *Australian Accounting Review*, Vol. 21, Issue 3, P. 292–301.
9. Global Reporting Initiative. Guidelines for reporting in the sphere of sustainable development [Guidelines for reporting in the sphere of sustainable development], available at : www.globalreporting.org/.../Russian-G3-Reporting-Guidelines.pdf. [in Russian] (last accessed 23.04.2020).
10. Guillermo, T., Shachanina, Y. (2016), "Corporate social reporting as a dominant information support of enterprise management", *Economy and society*, No. 2, P. 672–677.
11. Integrated reporting: analytical review for July 2017, available at : http://www.svb.org.ua/sites/default/files/csr_ukraine_white_paper_2017_july_integrated_reporting.pdf (last accessed 23.04.2020).
12. Davidiuk, T. (2016), "Social reporting as a direction of informing about the human capital of the company Problems and ways to achieve socio-ecological and economic security at the micro, meso and macro levels: mater", *All-Ukrainian scientific-practical internet conference*, P. 62–65.
13. International Standard for Integrated Reporting, available at : http://edu.inesnet.ru/wp-content/uploads/2014/05/13-12-08-THE-INTERNATIONAL-IR-FRAMEWORK.docx_en-US_ru-RU.pdf (last accessed 23.04.2020).
14. Gnylytska, L. (2016), "Modern approaches to the quintessence of public reporting of the enterprise in the context of ensuring its economic security", *Problems of theory and methodology of accounting, control and analysis. Ser. : Accounting, control and analysis*, No. 1, P. 48–65.
15. Evdokimov, V., Gritsichen, D., Grishchenko, O., Baryshnikov, O. (2013), *International models of sustainable development reporting: analysis of the current state* : monograph, Zhytomyr, ZhSTU, 192 p.
16. Korol, S. (2011), "Non-financial Reporting of the Enterprise", *Bulletin of KNTU*, No. 6, P. 102–113.

Надійшла (Received) 05.05.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Момот Тетяна Валеріївна – доктор економічних наук, професор, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, завідувач кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, Харків, Україна; email: tvmomot@gmail.com; ORCID: <https://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), O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Head of the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Auditing, Kharkiv, Ukraine.

Савенко Ксенія Сергіївна – кандидат економічних наук, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, доцент кафедри міжнародного бізнесу та економічного аналізу, Харків, Україна; email: kseniasavenko13@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7458-1643>.

Савенко Ксения Сергеевна – кандидат экономических наук, Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнеця, доцент кафедры международного бизнеса и экономического анализа, Харьков, Украина.

Savenko Kseniia – PhD (Economics Sciences), Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Associate Professor of the Department of International Business and Economic Analysis, Kharkiv, Ukraine.

Краївський Богдан Богданович – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, аспірант кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, Харків, Україна; email: bogdankraivskiy@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6700-9240>.

Краивский Богдан Богданович – Харьковський національний університет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, аспирант кафедры финансово-экономической безопасности, учета и аудита, Харьков, Украина.

Kraivskyi Bohdan – O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, PhD Student of the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Auditing, Kharkiv, Ukraine.

Тан Линлин – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, аспирант кафедри финансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, Харків, Україна; email: l_c-ukr@hotmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0523-0932>.

Tan Linlin – Харьковський національний університет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, аспирант кафедры финансово-экономической безопасности, учета и аудита, Харьков, Украина.

Tang Linlin – O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, PhD Student of the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Auditing, Kharkiv, Ukraine.

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНЫХ УСЛУГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ОТЧЕТНОСТИ

Статья посвящена разработке концептуальных основ формирования информационно-аналитического обеспечения потребителей жилищно-коммунальных услуг на основе имплементации интегрированной отчетности в учетную практику предприятий жилищно-коммунального хозяйства. **Предметом** исследования является совокупность теоретических, методических и практических аспектов по формированию информационно-аналитического обеспечения экономической безопасности потребителей жилищно-коммунальных услуг. **Целью** статьи является разработка теоретико-методических положений и обоснование практических рекомендаций по формированию информационно-аналитического обеспечения экономической безопасности потребителей жилищно-коммунальных услуг на основе имплементации интегрированной отчетности в учетную практику предприятий жилищно-коммунального хозяйства. Задачи работы: обосновать целесообразность имплементации интегрированной отчетности в учетную практику предприятий жилищно-коммунального хозяйства, проанализировать международные стандарты социальной отчетности, на основе международного опыта предложить типовую структуру Annual Report для муниципалитета, обобщить теоретико-методические подходы к формированию информационно-аналитического обеспечения экономической безопасности потребителей жилищно-коммунальных услуг на основе имплементации интегрированной отчетности в учетную практику предприятий жилищно-коммунального хозяйства. В ходе исследования использованы **методы**: абстрактно-логический анализ, теоретического обобщения и систематизации. В работе обобщены теоретико-методические подходы к формированию социальной отчетности по международным стандартам и состав предоставляемой нефинансовой информации с определением различий по интерпретации системы показателей. Доказано, что для обеспечения экономической безопасности потребителей жилищно-коммунальных услуг важны оба вида информации по: обеспечению предоставления жилищно-коммунальных услуг - Закон № 887 и проведения постоянного мониторинга качества таких услуг – дополнительная информация, которая входит в состав интегрированного отчета коммунальных предприятий. **Выводы.** Предложен методический подход к формированию информационно-аналитического обеспечения экономической безопасности потребителей жилищно-коммунальных услуг на основе имплементации интегрированной отчетности в учетную практику предприятий жилищно-коммунального хозяйства. Показатели, характеризующие взаимодействие жилищно-коммунальных предприятий по видам деятельности со стейкхолдерами систематизированы в четыре группы.

Ключевые слова: жилищно-коммунальная услуга; жилищно-коммунальное хозяйство; экономическая безопасность потребителей жилищно-коммунальных услуг; интегрированная отчетность; информационно-аналитическое обеспечение; международные стандарты отчетности; пользователи отчетности.

INFORMATION AND ANALYTICAL SUPPORT OF ECONOMIC SECURITY OF HOUSING AND MUNICIPAL SERVICES CUSTOMERS ON THE BASE OF USING INTEGRATED REPORTING

The article is devoted to the development of the conceptual foundations for the formation of information and analytical support for consumers of housing and communal services based on the implementation of integrated reporting in accounting practices of housing and communal services enterprises. The **subject** of the study is a set of theoretical, methodological and practical aspects for the formation of information and analytical support for the economic security of consumers of housing and communal services. The **aim** of the article is to develop theoretical and methodological provisions and substantiation of practical recommendations on the formation of information and analytical support for the economic security of consumers of housing and communal services based on the implementation of integrated reporting into the accounting practice of housing and communal services enterprises. Objectives: to justify the feasibility of implementing integrated reporting in the accounting practice of enterprises of housing and communal services, to analyze international standards of social reporting, based on international experience, to propose a typical structure of the Annual Report for the municipality, to generalize theoretical and methodological approaches to the formation of information and analytical support for the economic security of housing consumers – communal services based on the implementation of integrated reporting in accounting practice of housing and communal services enterprises. During the research were used **methods**: abstract-logical analysis, theoretical generalization and systematization. The paper summarizes the theoretical and methodological approaches to the formation of social reporting according to international standards and the composition of the non-financial information provided with the definition of differences in the interpretation of the system of indicators. It is proved that in order to ensure the economic security of consumers of housing and communal services, both types of information are important: ensuring the provision of housing and communal services - Law No. 887 and conducting continuous monitoring of the quality of such services - additional information

that is part of the integrated report of utilities. **Conclusions.** A methodological approach to the formation of information and analytical support for the economic security of consumers of housing and communal services based on the implementation of integrated reporting into the accounting practice of housing and communal services is proposed. The indicators characterizing the interaction of housing and communal enterprises by type of activity with stakeholders are systematized in four groups.

Keywords: housing and communal services; housing and communal services; economic security of consumers of housing and communal services; integrated reporting; information and analytical support; international reporting standards; reporting users.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Момот Т. В., Савенко К. С., Краївський Б. Б., Тан Л. Інформаційно-аналітичне забезпечення економічної безпеки споживачів житлово-комунальних послуг із використанням інтегрованої звітності. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 100–108. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.100>.

Momot, T., Savenko, K., Kraivskiy, B., Tang, L. (2020), "Information and analytical support of economic security of housing and municipal services customers on the base of using integrated reporting", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 100–108. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.100>.

UDC 332.1:711

DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.109>

YE. MURAEV

URBAN DEVELOPMENT BASED ON THE CONCEPT OF "SMART CITIES" IN THE DIGITAL ECONOMY: THEORETICAL AND METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF IMPLEMENTATION

The article is devoted to the study of the theoretical and methodological foundations of the implementation of urban development based on the concept of "smart cities". The **subject** of the study is a set of theoretical, methodological and practical aspects to ensure balanced management of urban development based on the concept of "smart cities" in a digital economy. The **purpose** of the article is to develop theoretical and methodological provisions and substantiate practical recommendations for the formation of a model of balanced management of the development of smart cities in a digital economy. **Objectives:** to analyze the key problems of the development of the concept of "smart cities" in Ukraine; to study and systematize the conceptual apparatus of ensuring the formation of a model of balanced management of the development of smart cities in a digital economy; to generalize the international standards of formation of information support of the development of smart cities; to offer strategic directions of formation of organizational maintenance of management of development of smart cities on principles of partnership in the conditions of the digital economy. In the course of the research, the following methods were used: abstract-logical analysis, theoretical generalization, and systematization. The paper summarizes the problems of development of the concept of "smart cities" in Ukraine; based on the systematization of approaches to the definition of the concept of "smart cities", an approach to the definition of the conceptual model of "smart city" in a digital economy is proposed. It is proved that information and analytical support of balanced management of the development of smart cities in the digital economy should be carried out based on international standards of management of Smart Cities. The strategic directions of the formation of organizational maintenance of management of the development of smart cities on the principles of partnership in the conditions of the digital economy are proved. **Conclusions.** Based on the systematization of the conceptual apparatus to ensure balanced management of smart cities in a digital economy, an approach to defining a conceptual model of "smart city" with the allocation of such areas as smart economy, smart mobility, smart environment, smart people, quality of life and smart management; the expediency of introduction of the international standards of management of Smart Cities for information support of the development of the long-term strategy of development of smart cities in the conditions of the digital economy is proved; According to the results of the study of international experience, the need for its application in the process of improving the organizational support of smart city development management on the principles of partnership to improve the quality of local government and public services by involving citizens in active cooperation.

Keywords: smart cities; digital economy; smart city development management; international standards of Smart Cities management; digital transformations; co-production models; municipal councils.

Introduction

The growing level of urbanization in the world determines the feasibility of transforming municipal governance on the basis of the concept of "smart cities" by integrating systems and data, modernizing urban infrastructure, implementing effective municipal management, increasing innovation and human capital.

To make such decisions, cities need reliable background information to measure their effectiveness, which determines the feasibility of implementing international standards of the XXI century for the management of smart cities.

However, today Ukrainian cities are not able to fully use the potential and capabilities of the technology "smart city", primarily due to lack of understanding of this concept and strategic vision of municipal governance in a digital economy.

Thus, in the modern realities of mobile, continuously transforming, information-rich urban environment, the search for new models of management influence is relevant and timely, taking into account the speed of information dissemination, the complexity of communication flows, digitalization of the urban environment.

Analysis of recent research and publications

It is worth noting that the model of "smart cities" is becoming more widespread in the world. According to the United Nations (UN) 2018 Revision of World Urbanization Prospects, more than half of the world's population lives in cities, and that number is expected to grow to almost 70% by 2050. In this regard, the European organization "European Smart Cities" notes that globalization is leading to economic changes that have a large-scale impact. In particular, globalization and the growth of urbanization are forcing cities in both developed and developing countries to look for new ways to ensure competitiveness.

However, the generally accepted definition of the concept of "smart cities" has not yet been established. One of the most cited concepts was developed by European Smart Cities, an initiative of the Vienna University of Technology in Austria. According to the European model of Smart Cities, a smart city is characterized by six key "smart" features: smart economy, smart mobility, smart environment, smart people, smart life and smart governance. In this context, "smart" refers to a progressive, inclusive, sustainable and forward-looking policy based on the use of information and communication technologies, human capital and social responsibility [1].

Given the importance of implementing a balanced management of urban development in the context of comprehensive digitalization, the problems of its implementation are devoted to the research of a wide range of scientists, especially foreign ones. Thus, theoretical and methodological approaches to the implementation of the concept of "Smart Cities" are comprehensively covered in the works of such foreign scientists as L. Buys, D. Genari, J. Graham, I. Zubizarreta, T. Ygitkanlar, P. Evans, G. Eckowitz, M. Kamruzzaman, L. Costa, L. Leidesdorf, J. Lazaroy, R. McQuide, M. Marshall, G. Maske, C. Oberg, D. O'Brien, S. Osborne, M. Roskia, T. Savaris, A. Seravalli, K. Strokos, B. Hutchinson, P. Hennelly and many others. The work of A.O. Andrienko is devoted to the study of the prospects for the introduction of "smart" (SMART) approaches to the development of large cities. The research of O.S. Korepanov is devoted to substantiation of theoretical and methodological bases of statistical support of management of development of "smart" sustainable cities in Ukraine caused by wide introduction of information and communication technologies and informatization of a society.

Many authors study the problems of sound management of modern urban development in the context of public management of economic development of cities. However, in practice, the introduction of balanced governance for cities that choose the path of smart development remains for many cities, especially Ukrainian, only a long-term perspective, which led to the feasibility of this study.

Goals and objectives of the study

The **purpose** of the article is to develop theoretical and methodological provisions and substantiate practical recommendations for the formation of a model of balanced management of smart cities in a digital economy. Achieving this goal led to the solution of the following tasks: to analyze the key problems of the development of the concept of "smart cities" in Ukraine; to investigate and systematize the conceptual apparatus of ensuring the formation of a model of balanced management of the development of smart cities in a digital economy; generalize international standards for the formation of information support for the development of smart cities; to offer strategic directions of formation of organizational maintenance of management of development of smart cities on the basis of partnership in the conditions of digital economy.

Materials and methods of research

The theoretical and methodological basis of the study were the scientific works of leading domestic scientists and foreign economists, international standards of the XXI century for the management of "smart cities". The study used such methods as: abstract-logical analysis, theoretical generalization and systematization.

Results of the studies and their discussion

The "smart cities" model provides an understanding of urban space (both real and virtual) as an open platform for interaction between government, business structures and the urban population. In a "smart city" information becomes the main resource and basis for the regulation of "smart" urban systems, the creation of projects based on open data using information and communication technologies (ICT) for city management.

With the process of decentralization in Ukraine, the topic of urban development is being actively discussed on the basis of the concept of "smart cities" (Smart Cities), which is rapidly spreading around the world. However, among the key problems in the development of the concept of "smart cities" in Ukraine are the following:

- lack of a holistic approach both in cities and at the national level requirements for ICT - architecture, security systems, identification and compliance with international standards "smart cities" - technical and management;
- non-conceptual vision of development and fragmented approach to decision implementation;
- under the brand "smart cities" are implemented solutions and projects that are only the automation of current processes in the city, but do not ensure the transformation of management, improving the quality of services and quality of life in accordance with XXI century standards (ISO-37120, 37101);
- risks of disintegration of the national digital model - through the creation of autonomous ICT - architectures - own data centers, identification systems, data collection and exchange, approaches to cybersecurity and more;
- unequal access of citizens to digital technologies and new opportunities (digital gaps).

Taking into account these problems, the systematization of theoretical and methodological principles of ensuring balanced management of urban development on the basis of the implementation of the concept of "smart cities" is relevant and timely. The study systematized approaches to defining the concept of "smart cities" with the identification of key areas that characterize the areas of smart urban development (table 1).

Table 1. Systematization of approaches to defining the concept of "smart cities"

No.	Source / authors	The essence of the concept	Sphere
	Ukrainian Institute of the Future "Ukraine 2030E - a country with a developed digital economy" [2]	The concept of "smart city" is a model of the city based on the full-scale use of digital technologies to address the current problems of the city, its sustainable development and improve the quality of life of citizens.	Digital technologies, sustainable development, quality of life

The end **Table 1**

A.O. Andrienko [3]	A smart city is a city of knowledge, a digital city, a cyber city or an eco-city in which communal systems are organically coordinated. This is a system that allows the most efficient use of available resources of city services and ensure maximum security of city life. Such a city is constantly increasing the number and quality of services provided to the population, providing a sustainable environment that promotes the well-being and health of citizens, improving comfort and quality of life.	Digital city, security, quality of services, quality of life
O.S. Korepanov [4]	A conceptual model of statistical support for the management of the development of "smart" sustainable cities, based on an integrated system of urban functioning and contains six components: "smart" people, "smart" life, "smart" mobility, "smart" environment, "smart" management, "smart" economy. This made it possible to determine the system of indicators of "reasonableness" of cities and communities in accordance with the needs of municipal government.	"smart" people, "smart" life, "smart" mobility, "smart" environment, "smart" management, "smart" economy
T. Yigitkanlar, L. Buys, M. Kamruzzaman [5]	The ideal model of urban construction of the XXI century, which provides a systematic approach and sustainable and balanced development in the economic, social, environmental and institutional spheres.	Communications, technology, innovation, sustainability, planning
D. Genari, L. Costa, T. Savaris, G. Maske [6]	Smart cities are cities that invest in social and human capital, urban mobility, modern communications infrastructure and technology, including smart natural resource management based on participatory governance.	Urban mobility, smart people, smart environment, participatory management
K. Oberg, J. Graham, P. Hennelly [7]	Smart cities are those developed settlements that are characterized by at least one of the following features: smart economy (innovation, productivity, private initiative), smart mobility (accessibility, sustainable transport system), smart environment, smart people, skill level, creativity, flexibility), smart life (quality of life), intellectual management (public and social services, institutional transparency).	Smart economy, smart mobility, smart people, quality of life, intelligent management
I. Zubizarreta, A. Seravalli, S. Arrizabalaga [8]	Smart cities are characterized by factors such as citizens who are fully involved in public life; quality of life and participatory management; transparency in the use of public resources.	Citizens, quality of life, participatory governance, transparency in the use of state resources
ITU [9]	A smart sustainable city is an innovative city that uses information and communication technologies (ICTs) and other tools to improve the quality of life, efficiency and services in cities and competitiveness, while meeting the needs of present and future generations in economic, social and environmental aspects.	Technology, productivity, innovation, community, prosperity, sustainability
A. Alcandari, M. Alnashit, I. Alshaikhli [10]	A smart city is a city that uses a smart system, characterized by the interaction between infrastructure, capital, behavior and cultures, achieved through their integration.	Technology, productivity, community, management
J. Lazaroy, M. Roskia [11]	An ecological environment and an efficient urban center of the future, equipped with developed infrastructure such as sensors, electronic devices and networks that stimulate sustainable economic growth and a high quality of life.	Technology, productivity, resilience, prosperity
Caragliu, Del Bo, Nijkamp [12]	Reasonable manifestations as a result of investment in human and social capital, as well as due to traditional transport infrastructure and modern IT technologies that contribute to sustainable economic growth and high standards of quality of life.	Community, technology, management, sustainability, accessibility
British Standards Institution (BSI) [13]	A smart city is the effective integration of physical, digital and human systems in an artificial environment in order to ensure a sustainable, prosperous and comprehensive future for citizens.	Technology, smart people, resilience, community
IBM Smarter City Assessment Tool [14]	IBM defines smarter city as making the best use of all the interconnected information available today to better understand and manage its operations and optimize the use of limited resources.	Information, management, technology
Business Dictionary [15]	The developed urban area, which creates sustainable economic development and a high quality of life, is noted in several key areas: economy, mobility, environmental protection, people living, and government. High levels of expertise in these key areas can be achieved through strong human capital, social capital and / or ICT infrastructure.	Economic development, quality of life, economy, mobility, environmental protection, smart people, government

The end **Table 1**

	P. Neirotti, A. De Marzo, A. Tsagliano, G. Mangano, F. Scorrano [16]	The concept of Smart cities as a means of improving the quality of life of citizens is becoming increasingly important on the agenda of politicians. The main components of smart city is: (1) The use of ICT to provide energy, improve entrepreneurship and ensure the exchange of information about consumption between providers and users to reduce costs and increase reliability and transparency of power supply systems. (2) Public lighting, natural resources and water resources management. (3) Waste management: using innovation to manage people, enterprises and city services. This includes removing trash, recycling and recovery. (4) Environment: technology used to manage environmental resources and related infrastructure This is done with the aim of improving sustainable development. (5) Transportation: use of sustainable public transport based on clean fuel and innovative propulsion systems. (6) Health: use of ICT and remote assistance to prevent and diagnose diseases. Improved access to health care. (7) Public safety: using ICT to assist in matters of security, such as a fire. ICT can also help the police Department. (8) Education and culture: using ICT to create opportunities for students and teachers, and promotion of cultural events, tourism and hospitality. (9) Public administration and management: promoting digitised public administration, e-ballots and transparency of government activities through ICTs to enhance empowerment of residents and bringing them to management.	TIC, public lighting, natural resources and water management, waste management, environment, transport, health, public safety, education and culture, public administration and management
--	--	---	--

Thus, the concept of "smart city" should be considered as a model of the city based on the full use of information and communication technologies by integrating physical, digital and human systems in an artificial environment to solve current problems of the city, ensure its sustainable and balanced development and improving safety, comfort and quality of life in cities.

Urban expert B. Hutchinson described a smart city as "a city where doctors are called by video, where there is no corruption, and cars drive without drivers" and proposed a classification of smart cities according to versions 1.0, 2.0 and 3.0., namely [17]:

- In the "smart city" 1.0 there is no general strategy, automation has affected individual, unrelated components.
- Version 2.0 combines and interconnects previously independent initiatives and as many different sources of information as possible.
- Version 3.0 assumes that the integration of all components is complete, and the entire infrastructure is literally imbued with intelligent technology.

As evidenced by the analysis of digital technology has become the basis for the creation of new products, values, properties, and, accordingly, the basis of competitiveness of modern cities. The development of the Internet of things (Internet of things, IoT, IIoT), that is, a network consisting of interconnected physical objects (or things) or devices that have built-in sensors and software that enables the interaction of physical things with computer systems and networks, particularly the Internet, plays an increasingly prominent and important role in the development of smart urban spaces. The obtained data about the inhabitants of cities become an asset. However, international experience shows at the end of 2010-ies there was a question about data protection, cyber security.

Digital transformation leads to the emergence of new unique systems and processes (e-commerce and business infrastructure, cashless economy, etc.), which constitute their new value essence and helps to increase the competitiveness of sectors of the economy of smart cities.

Transformations in industry are taking place according to the concept of "Industry 4.0" and with the advent of cyber production, cybersystems and cyber machines. Thus, a "smart economy" is seen as an economy based on high-tech industries, including ICT, and those industries that use ICT at different stages of the production cycle.

"Smart mobility" involves sustainable, innovative and safe transport systems based on ICT infrastructure that improve urban traffic and the mobility of urban residents in everyday urban life.

A barrier to urban development based on the concept of "smart cities" is the lack of sufficient competences of citizens to work with data (digital skills), relevant education, professions, etc. Therefore, an important feature of a smart city is "smart people" that is the residents of the city who have a high level of education and skills and are actively integrated into the social life of the city. It is worth noting that in the context of digital transformations, the principle of learning "know everything" changes to "know how to learn throughout life and become self-fulfilling and competitive", which makes it appropriate to reform education in all areas, including high school and higher education. In this context, T. Nem and T. Pardo (2011) emphasize that really smart solutions are those that put people at the center of smart cities, not technology [18].

The ability to innovate also provides cities with a competitive advantage, so investing in human and social

capital are also important elements for the development of smart cities.

An important area of smart cities is the "smart environment", which includes attractive natural conditions for life, as well as the implementation of environmental measures.

Most smart city concepts also focus on sustainability, with information and communication technologies being seen as one of the main means of achieving this goal.

Some models emphasize the importance of civic participation in governance and the need for equitable use of available resources by city dwellers and businesses. "Smart management" is seen as diversified management. Delegation of functions and diversification of power is the basis of social interaction of social institutions in the "smart city", because for the transition of individual and group cognitive and value attitudes to the intersubjective sphere is important common (general) social context formed by various practices of institutional and personal interaction between the state and citizens.

The transition to the concept of a smart city provides new opportunities to improve law and order, comfortable and safe life of city citizens. "Smart living" means a high level of development of the various components of the phenomenon of quality of life (safety, health, housing, tourism, culture, etc.). In this context, important areas of public safety are digital projects in the field of road safety, ensuring the protection of life and health of everyone through specialized web services, improving public access to emergency services, etc.

In the field of healthcare, the quality of life in a smart city is ensured through the development of digital medicine, which allows for online interaction between patients, healthcare professionals and institutions through digital technologies.

To make smart decisions, cities need reliable information support to measure their effectiveness, which determines the feasibility of implementing international standards of management of Smart Cities (ISO-37120, ISO-37101 and others). The ISO 37100 series of standards defines the basic indicators for achieving the Sustainable Development Goals (SDGs) at the regional level, which is a guideline for developing a long-term strategy for smart urban development aimed at building public relations based on trust, solidarity, equality, and a safe environment.

The standards are part of the ISO 37100 series. The international standard ISO 37100 (Sustainable Cities and Communities - Vocabulary). The International Standard ISO 37120 (Sustainable Urban and Community Development. Indicators for City Services and Quality of Life in Communities) is the first standard with a set of international standardized indicators and guidelines for assessing urban development that provides a single approach to measure and compare relevant indicators. The standard was first published in 2014. For the first time, cities began to compare achievements with each other, using globally standardized comparative data, which allowed them to gain best practices. In 2018, the standard was updated to offer even more indicators to help city administrations effectively improve the quality of life of

their citizens and plan for a more sustainable future. It updated a number of new and relevant indicators, including indicators for assessing culture, urban agriculture and food. The standard contains effective leadership methods, the latest technologies and practices that will help improve the quality of life of citizens and achieve environmental goals, while promoting innovation.

According to the representatives of ISO/TC 268, almost 100 cities are currently implementing or have already implemented the ISO 37120 standard. and so on).

In addition, two additional international standards for smart and sustainable cities are being developed, providing a comprehensive set of internationally agreed guidelines for urban development, namely: ISO 37122 (Sustainable Development in Communities - Sustainable Development in Communities - Indicators for Smart Cities), ISO 37123 (Sustainable Development in Communities - Indicators for Resilient Cities). In addition, another new standard has already been published, which provides all stakeholders with recommendations for developing an effective model of work for a specific city - ISO 37106: 2018, (Sustainable Cities and Communities - a guide to creating intelligent models of urban work for sustainable communities - Sustainable Cities and Communities - Guidance on Establishing Smart City Operating Models for Sustainable Communities). The standard offers a toolkit consisting of "smart" methods for managing public services, data, and systems across the city through collaboration and digital technology [19].

Therefore, the international experience of standardization development for smart and sustainable cities testifies to the constant development of information and analytical support for the implementation of balanced management of smart city development in a digital economy.

However, the implementation of digital transformation in cities is not possible without ensuring changes in the public administration through the introduction of digital technology for the public sector, including the creation of digital jobs, ensuring multi-channel awareness and engagement of citizens, developing the open data system, the creation of a digital public platform, the introduction of electronic identification of citizens (e-ID), development of decentralized blockchain systems, allowing to provide an unprecedented level of data protection and gives the opportunity to use them in such sensitive areas as e-Finance, procurement, electronic budgets, and the like. In this context, the most important is the concept of the smart city by D. Gennari, L. Costa, T. Savaris, J. Mask [6], which stands for participatory management (participatory governance) or management based on partnership of all interested groups of stakeholders. The results of the study found that one effective way of providing public services is a partnership with private companies and public organizations, as well as the involvement of citizens directly. Here are the different interpretations of the concept of partnerships [20]. Thus, by the approach of MacQuaid G. (2000) partnership is characterized by a relationship of interdependence in the use of resources to achieve common goals [21]. D. Lewis (1998) links the

partnership with an exchange of ideas and values to establish long-term relationships [22]. In addition, it is a form of unity between different groups of stakeholders to achieve the objectives associated with the management of shared resources [23], the fight against poverty, or for solving more urgent problems of development [24].

In this study, the concept of partnership is seen as the voluntary cooperation of different groups of stakeholders involved in joint affairs, projects, programs by combining different resources to achieve common goals and solve social problems. Thus, it should be noted that in the urban space "smart city" there are several interest groups (stakeholders) that play an important role in the implementation of specific areas and initiatives "smart city" in partnership. First, it is the city government, which possesses enormous administrative, managerial resource in the field of regulation of urban life. Secondly, that prominent representatives of the business environment of enterprises, which carry out the development and introduction into the urban environment "smart solutions", i.e. solutions that allow systematic use of innovative digital technologies in all spheres of urban life. Thirdly, it is the urban community of citizens who act as (should be) an important source of initiatives in the field of decision-making problems of the urban environment. What the community act as catalysts for change from below. However, it should be noted that this requires specific prerequisites (a real possibility to participate in decision-making, development of civil consciousness of citizens, high level of civic engagement). V. Castelnovo (2016) believes that the citizens are users of intelligent infrastructure and services, therefore, the willingness and ability of citizens to innovate is the most obvious means of influence on the success or failure of smart city initiatives [25]. D. O'Brien (2016) believes that the citizens are "the eyes and ears of the city, which identify problems and report them to the government" [26].

Continuous communication of each of the participants with other stakeholders, the search for common interests and mutually beneficial solutions to emerging problems through cooperation and pooling of available resources (primarily intellectual) are the basis for the formation of a smart urban space. An important resource is digital platforms as sources of value formation in the digital economy, the application of which involves the transition from an emphasis on the quality of internal business processes to improving external communications between users of the platform; from maximizing consumer value alone to the overall value of the entire digital ecosystem.

Continuous communication of each of the participants with other stakeholders, the search for common interests and mutually beneficial solutions to emerging problems through cooperation and pooling of available resources (primarily intellectual) are the basis for the formation of a smart urban space. At the same time

an important resource is digital platforms as sources of value formation in the digital economy, the application of which involves the transition from an emphasis on the quality of internal business processes to improving external communications between users of the platform; from maximizing consumer value alone to the overall value of the entire digital ecosystem [18].

In modern conditions of dissemination of business models belonging to the ideology of the sharing economy, which works on the basis of digital technologies, conditions are created for more effective development of joint production (coproduction) of public services. In the process of joint production of public services of the city, the leading role belongs to the public or socially active part of society, which on a voluntary basis participates in the life of the city, acts both directly and through various associations of citizens. In this case, public services are considered as the activities of public authorities, associations of citizens, individuals and other entities of different levels, carried out at the expense of public and private funds for the provision (transfer) to individuals and legal entities of certain tangible or intangible benefits that are socially significant and benefit society and the state [29].

In international practice, the joint provision of public services can be defined as a strategy for the provision of public services on the basis of general responsibilities and powers. Entities sharing responsibilities and powers may be public authorities and private organizations and citizens [30].

S. Osborne and K. Strokosh (2013) distinguish three types of co-production: consumer co-production, which improves the quality of public services; co-production, which improves the planning of existing public services and, in many cases, involves citizens; expanded co-production that combines consumer experience, participation and innovation planning, creating new approaches to public service delivery [31].

According to M. Marshall (2004), joint production occurs only when there is an opportunity and willingness of the citizen to take an active part in this process [32].

Thus, the commitment to co-production in the context of smart cities relies on providing opportunities for citizen participation in an accessible and simplified format, especially as co-production is a topic still unknown to much of society. It is important to create strategies both for the dissemination of joint production projects and for persuading, involving and encouraging citizens to cooperate in the public sphere, including by disseminating information on social networks and holding public hearings.

D. Salm and M. Menegasso (2010), based on a study of different types of public participation, proposed five models of joint production of public goods, which are summarized in table 2 [33].

Table 2. Models of co-production

Model	Description
Nominal coproduction	Strategy for the provision of public services through the division of responsibilities between the community (mostly volunteers) and public authorities and local governments to improve the efficiency of public services

The end **Table 2**

Symbolic coproduction	Strategy to involve citizens in the provision of public services in order to demonstrate the presence of public authorities
Functional coproduction	A strategy used by public authorities to provide more efficient and effective public services to individuals, groups or communities
Representative coproduction with sustainability	This is the result of synergy in the provision of public services with the participation of citizens, NGOs, public authorities in order to work together to achieve a common result
Coproduction of public services using community mobilization	It is a strategy for the provision of public services with the participation of the whole community on the basis of ethical norms and democracy to ensure the constant mobilization of cooperation.

According to the data obtained, the functional model of co-production is quite effective to ensure an effective partnership, where citizen participation can occur with mutual benefits, expressed through both functional and material incentives [34].

In order for functional co-production to become viable, it is necessary to ensure interaction between the public and public authorities [35]. One way to stimulate this process is to create a common environment between public authorities and citizens. In this process, in addition to traditional formats, it is advisable to use new technologies, including social networks and incentives using educational or training content or training.

The strategy of municipal councils is used in international practice to ensure the direct involvement of citizens in active cooperation with local self-government bodies in order to realize the possibilities of joint production. Municipal councils are the most democratic way to create conditions for cooperation, as they allow to create a space for dialogue. Municipal councils are state bodies that are created not as a legal organization, but as a space where citizens, civil servants and government officials discuss mediation in the interests of the population and local authorities. Municipal councils are an arena for developing public policies that meet local needs.

Thus, in a volatile business environment characterized by variability, uncertainty, complexity and ambiguity (the environment of VUCA - volatility, uncertainty, complexity, and ambiguity), the search for smart solutions in a digital economy should be based on partnership through joint efforts and resources of public authorities, business and the public to solve the city's problems, ensure its sustainable and balanced development and improve safety, comfort and quality of life in cities.

Conclusions

According to the results of the study, digitalization is one of the main factors of growth of the world economy in the next 5-10 years, which will be the main tool for achieving the Sustainable Development Goals of the country and its regions. Therefore, the development of Ukrainian cities on the basis of the concept of "smart cities" is a priority. However, the analysis of key issues in the development of the concept of "smart cities" in Ukraine shows that there are a number of problems of institutional, infrastructural and ecosystem nature, which determines the feasibility of research and systematization

of international experience of urban development based on the concept of "Smart Cities".

Analysis of the conceptual apparatus to ensure the formation of a model of balanced management of smart cities in a digital economy, their key areas and features showed that the concept of "smart city" should be considered as a city model based on full use of information and communication technologies by integrating physical, digital and human systems in an artificial environment in order to solve the current problems of the city, ensure its sustainable and balanced development and improve safety, comfort and quality of life in cities. According to existing approaches, the concept of "smart city" on the basis of digital technologies combines areas of activity such as smart economy (innovation, productivity, private initiative), smart mobility (accessibility, sustainable transport system), smart people (skill level, creativity, flexibility), smart environment, quality of life, security, intellectual management (public services, participatory management, institutional transparency).

The generalization of international management standards Smart Cities ISO 37120 indicates the feasibility of their implementation in Ukraine to provide information for the development of long-term strategy for smart cities by identifying blocks of indicators adapted to existing sources of information, improving their calculation, which expands statistical analysis of sustainable urban development and territorial communities based on their structuring. Information support based on international standards is the basis for the development of effective programs for the implementation of world best practices in a wide range of urban services and facilitates the study of community experience aimed at building public relations based on trust, solidarity, generational equality, safe environment.

The generalization of foreign experience indicates the need for its comprehensive application and use in the process of improving the organizational management of smart urban development in partnership in the digital economy to improve the quality of local government and public services to local communities by involving citizens in active cooperation with local governments and making management decisions.

In this context, the analysis of the best world practices of smart city management to identify problems and develop proposals for the development of digital technologies in the cities of Ukraine is promising.

References

1. Giffender R. Smart cities and energy efficiency in Europe. Vienna: Centre of Regional Science Vienna UT, 2017. URL: http://www.fundaciongasnaturalfenosa.org/wp-content/uploads/2017/09/3-Rudolf-Giffinger-SmartCities_EE_RGiffinger.pdf (дата звернення: 27.05.2020).
2. Ukraine 2030E - a country with a developed digital economy : website, available at : <https://strategy.uifuture.org/kraina-z-rozvinutoyu-cifrovoyu-ekonomikoyu.html> (last accessed : 23.04.2020).
3. Andrienko, A. A. (2018), "SMART-approaches to the development of large cities: prospects for implementation in Ukraine", *Public Administration and Local Self-Government*, Vol. 3 (38), P. 100–106.
4. Korepanov, O. S. (2018), Methodological bases of statistical maintenance of management of development of "smart" sustainable cities in Ukraine : monograph, Kyiv, SE "Inform.-analit. Agentstvo", 354 p.
5. Yigitcanlar, T., Buys, L., & Kamruzzaman, M. (2018), "Just how "city smart" are local governments in Queensland? The Conversation", available at : https://eprints.qut.edu.au/123264/1/Just%20how%20%27city%20smart%27%20are%20local%20governments%20in%20Queensland_.pdf
6. Genari, D., Costa, L., Savaris, T., & Macke, J. (2018), "Smart cities e o desenvolvimento sustentavel: Revisao de literatura e perspectivas de pesquisas futuras", *Revista de Ciencias da Administracao*, No. 20 (51), P. 69–85. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-8077.2018.V20n51p69>
7. Oberg, C., Graham, G., & Hennelly, P. (2015), "Smart cities - A literature review and business network approach discussion on the management of organisations", *IMP Journal*, No. 11 (3), P. 468–484.
8. Zubizarreta, I., Seravalli, A., & Arrizabalaga, S. (2015), "Smart city concept: What it is and what it should be", *Journal of Urban Planning and Development*, No. 142 (1), P. 1–8. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.19435444.0000282](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.19435444.0000282)
9. ITU (2014), Smart sustainable cities analysis of definitions. International Telecommunication Union (ITU) focus group for smart sustainable cities, Geneva, ITU.
10. Alkandari, A., Alnasheet, M., & Alshaikhli, I. F. (2012), "Smart cities: a survey", *Journal of Advanced Computer Science and Technology Research*, No. 2 (2), P. 79–90.
11. Lazaroiu, G. C., & Roscia, M. (2012), "Definition methodology for the smart cities model", *Energy*, No. 47, P. 326–332.
12. Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011), "Smart Cities in Europe", *Journal of Urban Technology*, P. 65–82.
13. British Standards Institution (BSI) Publication. Smart city framework – Guide customer service to establishing strategies for smart cities and communities, available at : [https://shop.bsigroup.com/upload/267775/PAS%20181%20\(2014\).pdf](https://shop.bsigroup.com/upload/267775/PAS%20181%20(2014).pdf) (last accessed 27.05.2019).
14. IBM, IBM Offers Smarter City Assessment Tool, 24 June 2009, available at : <http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/27791.wss> (last accessed 27.05.2018)
15. Smart Sustainable City, Business Dictionary, available at : <http://www.businessdictionary.com/definition/smart-city.html>. (last accessed 27.05.2019)
16. Neirotti, P., De Marco, A., Cagliano, A. C., Mangano, G., Scorrano, F. (2014), "Current Trends in Smart City initiatives: Some stylized facts, Cities", *The International Journal of Urban Policy and Planning*, January, P. 25–36.
17. Hutchinson, B. "Direct talk about smart cities", available at : https://www.the-village.ru/village/city/city/117185hutchinson?fbclid=IwAR0fy0siObQAHio9mn7lZkQya3qQpsRWm4a96QaEUc2wt_uNxvv8KHvUWeI (last accessed 27.05.2019)
18. Nam, T., & Pardo, T. A. (2011), "Smart city as urban innovation: Focusing on management, policy, and context", *Proceedings of the International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance*, Tallinn, Estonia, 5.
19. ISO and Smart City, available at : <https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100423.pdf>
20. Vasconcellos, S. M., Vasconcellos, A. M. A., Heidtmann, H. G. C., Neto, & Sousa, Y. M. de (2015), "Learning by doing: A critical analysis about partnership between University, local government and civil society", *Revista de Ciencias da Administracao*, No. 1, P. 183–196. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-8077.2015v17nespp18>
21. McQuaid, R. W. (2000), "The theory of partnership: Why have partnerships?", In S. P. Osborne (Ed.), *Public-private partnerships: Theory and practice in international perspective*, London, Routledge, P. 9–35.
22. Lewis, D. J. (1998), "Partnership as process: Building an institutional ethnography of an interagency aquaculture project in Bangladesh", In D. Mosse, J. Farrington, & A. Rew (Eds.), *Development as process: Concepts and methods for working with complexity*, London, Routledge, P. 94–110.
23. Ostrom, E. (1997), "Crossing the great divide: Coproduction, synergy and development", In P. Evans (Ed.), *Statesociety synergy: Government and social capital in development*, Berkeley, University of California, P. 85–118.
24. Ferreira, S. (2003), Public-private partnership in Angola: The case of development workshop and the water company : Master degree dissertation, University of Wales Swansea, Swansea, Pais de Gales, UK.
25. Castelnovo, W. (2016), "Co-production makes cities smarter: Citizens' participation in smart city initiatives", In M. Fugini, E. Bracci, & M. Sicilia (Eds.), *Co-production in the public sector*, Cham, Springer, Chap. 7, P. 97–117. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-30558-5>
26. O'Brien, D. (2016). "311 hotlines, territoriality, and the collaborative maintenance of the urban commons: Examining the intersection of a coproduction policy and evolved human behavior, evolutionary behavioral sciences", *American Psychological Association*, No. 10 (2), P. 123–141. DOI: <http://doi.org/10.1037/eb0000063>
27. Leydesdorff, L. & Etzkowitz, H. (1995), "The triple helix-university-industry-government relations: A laboratory for knowledge based economic development", *EASSTRev 94iew*, No. 14 (1), P. 14–19.
28. Leydesdorff, L. & Etzkowitz, H. (1998), "Conference Report Studies", No. 25 (3), P. 195–203. DOI: <https://doi.org/10.1093/spp/25.3.195>
29. Chausovska, S. I. (2017), "The concept of public services and their classification", *State and Regions*, No. 1 (57), P. 102–108.
30. Verschuere, B., Brandsen, T. & Pestoff, V. (2012), "Co-production: The state of the art in research and the future agenda", *Voluntas*, No. 23 (4), P. 1083–1101. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11266-012-9307-8>

31. Osborne, S. P. & Strokosch, K. (2013), "It takes two to tango? Understanding the co-production of public services by integrating the services management and public administration perspectives", *British Journal of Management*, No. 24 (S3), P. S31–S47. DOI: <https://doi.org/10.1111/1467-8551.12010>
32. Marshall, M. J. (2004), "Citizen participation in the Neighbourhood context: A new look at the coproduction of local public goods", *Political Research Quarterly*, No. 57 (2), P. 231–244. DOI: <https://doi.org/10.1177/106591290405700205>
33. Salm, J. F. & Menegasso, M. E. (2010), "Proposta de modelos para a coproducao do bem publico a partir de tipologias de participacao", *Anais do Encontro Nacional da Associacao Nacional de Pos-Graduacao e Pesquisa em Administracao*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 34. Recuperado de <http://www.anpad.org.br/admin/pdf/apb633.pdf>
34. Bovaird, T. (2007), "Beyond engagement and participation: User and community coproduction of public service", *Public Administration Review*, No. 67 (5), P. 846–860. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1540-6210.2007.00773.x>
35. Evans, P. (1997), *State-society synergy: Government and social capital in development*, California, University of California.

Received 27.05.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Муравь Євген Володимирович – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, здобувач, Харків, Україна; email: e.murayev@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4321-9531.

Муравь Евгений Владимирович – Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, соискатель, Харьков, Украина.

Murayev Yevgen – O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, PhD Student, Kharkiv, Ukraine.

РОЗВИТОК МІСТ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ "SMART CITIES" В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ: ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ВПРОВАДЖЕННЯ

Стаття присвячена дослідженню теоретико-методичних засад впровадження розвитку міст на основі концепції "розумні міста". **Предметом** дослідження є сукупність теоретичних, методичних і практичних аспектів щодо забезпечення збалансованого управління розвитком міст на основі концепції "розумні міста" в умовах цифрової економіки. **Метою** статті є розробка теоретико-методичних положень та обґрунтування практичних рекомендацій щодо формування моделі збалансованого управління розвитком розумних міст в умовах цифрової економіки. **Завдання** роботи: проаналізувати ключові проблеми розвитку концепції "розумні міста" в Україні; дослідити та систематизувати понятійний апарат забезпечення формування моделі збалансованого управління розвитком розумних міст в умовах цифрової економіки; узагальнити міжнародні стандарти щодо формування інформаційного забезпечення розвитку розумних міст; запропонувати стратегічні напрямки формування організаційного забезпечення управління розвитком розумних міст на засадах партнерства в умовах цифрової економіки. У ході дослідження використано методи: абстрактно-логічний аналіз, теоретичного узагальнення та систематизації. В роботі узагальнено проблеми розвитку концепції "розумні міста" в Україні; на основі систематизації підходів до визначення концепції "розумні міста" запропоновано підхід до визначення концептуальної моделі "розумне місто" в умовах цифрової економіки. Доведено, що інформаційно-аналітичне забезпечення збалансованого управління розвитком розумних міст в умовах цифрової економіки має здійснюватися на базі міжнародних стандартів управління Smart Cities. Обґрунтовані стратегічні напрямки формування організаційного забезпечення управління розвитком розумних міст на засадах партнерства в умовах цифрової економіки. **Висновки.** На базі систематизації понятійного апарату забезпечення збалансованого управління розвитком розумних міст в умовах цифрової економіки запропоновано підхід до визначення концептуальної моделі "розумне місто" з виокремленням таких сфер діяльності як розумна економіка, розумна мобільність, розумне середовище, розумні люди, якісне життя та інтелектуальне управління; доведено доцільність впровадження міжнародних стандартів управління Smart Cities для інформаційного забезпечення розробки довгострокової стратегії розвитку розумних міст в умовах цифрової економіки; за результатами дослідження міжнародного досвіду доведено необхідність його застосування у процесі вдосконалення організаційного забезпечення управління розвитком розумних міст на засадах партнерства щодо покращення якості здійснення місцевого самоврядування і надання публічних послуг шляхом залучення громадян до активної співпраці.

Ключові слова: "розумні міста"; цифрова економіка; управління розвитком розумних міст; міжнародні стандарти управління Smart Cities; цифрові трансформації; моделі спільного виробництва; муніципальні ради.

РАЗВИТИЕ ГОРОДОВ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ "SMART CITIES" В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ: ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВНЕДРЕНИЯ

Статья посвящена исследованию теоретико-методических основ внедрения развития городов на основе концепции "умные города". **Предметом** исследования является совокупность теоретических, методических и практических аспектов по обеспечению сбалансированного управления развитием городов на основе концепции "умные города" в условиях цифровой экономики. **Целью** статьи является разработка теоретико-методических положений и обоснование практических рекомендаций по формированию модели сбалансированного управления развитием умных городов в условиях цифровой экономики. **Задачи** работы: проанализировать ключевые проблемы развития концепции "умные города" в Украине; исследовать и систематизировать понятийный аппарат обеспечения формирования модели сбалансированного управления развитием умных городов в условиях цифровой экономики; обобщить международные стандарты формирования информационного обеспечения развития умных городов; предложить стратегические направления формирования организационного обеспечения управления развитием умных городов на принципах партнерства в условиях цифровой

экономики. В ходе исследования использованы методы: абстрактно-логический анализ, теоретического обобщения и систематизации. В работе обобщены проблемы развития концепции "умные города" в Украине; на основе систематизации подходов к определению концепции "умные города" предложен подход к определению концептуальной модели "умный город" в условиях цифровой экономики. Доказано, что информационно-аналитическое обеспечение сбалансированного управления развитием умных городов в условиях цифровой экономики должно осуществляться на базе международных стандартов управления Smart Cities. Обоснованы стратегические направления формирования организационного обеспечения управления развитием умных городов на принципах партнерства в условиях цифровой экономики. **Выводы.** На базе систематизации понятийного аппарата обеспечения сбалансированного управления развитием разумных городов в условиях цифровой экономики предложен подход к определению концептуальной модели "умный город" с выделением таких сфер деятельности как умная экономика, умная мобильность, умная среда, умные люди, качество жизни и интеллектуальное управление; доказана целесообразность внедрения международных стандартов управления Smart Cities для информационного обеспечения разработки долгосрочной стратегии развития умных городов в условиях цифровой экономики; по результатам исследования международного опыта доказана необходимость его применения в процессе совершенствования организационного обеспечения управления развитием умных городов на принципах партнерства по улучшению качества осуществления местного самоуправления и предоставления публичных услуг путем привлечения граждан к активному сотрудничеству.

Ключевые слова: "умные города"; цифровая экономика; управление развитием умных городов; международные стандарты управления Smart Cities; цифровые трансформации; модели совместного производства; муниципальные советы.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Мураєв Є. В. Розвиток міст на основі концепції "smart cities" в умовах цифрової економіки: теоретико-методичні засади впровадження. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 109–118. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.109>.

Muraev, Ye. (2020), "Urban development based on the concept of "smart cities" in the digital economy: theoretical and methodological principles of implementation", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 109–118. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.109>.

L. SOKOLOVA, G. VERIASOVA, M. ZINCHENKO

THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF INTRODUCING INNOVATIONS IN THE ENTERPRISE'S MARKETING ACTIVITY

The **subject** of this study is a new direction in the marketing activities of the enterprise - neuromarketing, which uses the latest developments in the field of psychology, neurobiology and behavioral economics in the analysis of consumer behavior. The **goal** of the study is to determine the definition of "neuromarketing", provide a comparative analysis of traditional marketing and neuromarketing, to identify strengths and weaknesses, opportunities and threats of neuromarketing, and create a new information component of the system for scanning strategic information of business entities of the country. Further development of certain theoretical and practical aspects of the use of neuromarketing as an effective modern toolkit for product promotion in commodity markets has been studied. The following **tasks** are solved in the article: analysis of the theoretical and practical aspects of the use of neuromarketing, analysis of the main methods for obtaining and processing relevant information. The following **methods** are used: theoretical generalization, comparative analysis, analytical, analysis and synthesis, SWOT analysis. The following **results** were obtained: descriptive model of neuromarketing was proposed; the principles of neuromarketing were formulated; the comparison of neuromarketing and traditional marketing was done; the main ethical problems of neuromarketing research were considered; the SWOT-analysis of neuromarketing, which will contribute to a clearer understanding of the nature was carried out, advantages and disadvantages of the new innovative marketing technology were studied, assessment of the prospects for the development of neuromarketing in the country was considered; proposals for the further development of the marketing information system of the enterprise by supplementing its primary information obtained in the process of applying neuromarketing – an innovative marketing technology were developed. **Conclusions:** It has been established that neuromarketing is an innovative modern instrument of traditional marketing, a promising method of product promotion. A study of neuromarketing has shown that this area today is one of the marketing technologies of the future; the functionality of it has not yet been fully formed and explored. However, today neuromarketing is a powerful innovative marketing tool that, over the quarter century of its existence, has made a significant contribution to both the development of business structures and the science of traditional marketing.

Keywords: marketing activity; neuromarketing; innovative technology; consumer; neuromarketing formula; relevant information; SWOT analysis.

Introduction

In today's changing economic conditions, the market for goods and services is constantly undergoing drastic changes. The marketing activity of an industrial enterprise is the direction of its production and commercial activity, which is aimed at identifying and meeting the needs of market consumers in products through exchange for profit. In a competitive environment to develop effective strategies for the sale of goods and services, marketers are forced to look for modern, innovative means of conducting marketing research on consumer behavior. Recently, researchers, scientists, experts note that the use of traditional marketing methods, which are not always effective and are quite common, does not provide the desired results [1].

In the period of active development of neurophysiological and psychological Sciences, the conclusion of market researchers becomes logical. In order to study consumer behavior and their wishes, it is necessary to ensure the direct participation of consumers themselves in conducting relevant research [2]. As a result, many manufacturers have started using neuromarketing in their marketing activities in order to activate the process of promoting their products and services in foreign and domestic markets. A significant amount of research conducted in this area indicates that neuromarketing is becoming a tool of the future, the use of which opens up wide opportunities for marketers.

Analysis of recent research and publications

Many foreign and domestic scientists have been engaged in research of theoretical issues of neuromarketing, namely: J. Saltman [3], A. Trindle [4], B. Oyeman, M. Lindstrom [5], D. Lewis [6], P. Dooley [7], E. Plessie, P. Glimcher [8], R. Solso [9]; M. Borodin [2], I. Astakhova [10], O. Kurban, S. Kurban [11], N. Skrygun [12], A. Krasilnikov [13], A. Figun [14], M. Chernova, O. Klepikov [15] and others. However, the analysis of the professional literature on the selected topic of the work showed that some issues of theoretical orientation require further research, which led to the relevance of the research topic.

Selection of previously unsolved parts of the overall problem

An analysis of the professional literature on the chosen research topic revealed that, despite the significant amount of theoretical work and the number of applied research, neuromarketing is a new area that requires the use of expertise and more thorough research to study a particular business problem. It was also found that not only the essence of the definition of "neuromarketing", but also some theoretical and practical aspects of neuromarketing as an effective modern tool "promotion tool" have not been studied enough. There has been no complete analysis of the strengths and weaknesses, opportunities and threats of neuromarketing in order to use it effectively. This is what determined the relevance of the research topic.

Formulation of the purposes of the article (task statement)

The purpose of the research is to define the definition of the concept of "neuromarketing", conduct a comparative analysis of the concepts of traditional marketing and neuromarketing, conduct a SWOT analysis of neuromarketing in order to identify its strengths and weaknesses, opportunities and threats, develop recommendations for improving the system of scanning strategic information of business entities by supplementing it with primary neuromarketing information.

Results of the research

The concept of "neuromarketing" has emerged relatively recently in the world economy, but, despite this, is already of great interest to both marketers and potential consumers. The new way of influencing the market behavior of buyers of goods opens up the new promising opportunities to researchers, specialists - representatives of business entities for improving the effectiveness of both the whole marketing complex and its important communication component. That is why neuromarketing, as a tool for influencing consumer behavior, is gaining more and more popularity among practicing marketers, is becoming a necessary condition for launching successful advertising campaigns, creating and promoting a new, innovative product. Neuromarketing research allows to obtain unique primary information about the preferences of the target audience (potential consumers) about the features of the product, its characteristics, "soft and hard" parameters of competitiveness, which together have the maximum impact on the human subconscious in deciding to buy a product on the market [13].

An example of the use of neuromarketing is a study by Frito Lay; a company that produces chips Lays [12]. It showed that the use of natural and matte colors, as well as photos of healthy products do not motivate to buy. Therefore, the company began to use a shiny package of bright colors with the image of fried chips. Google once studied which ad formats YouTube users liked best. The choice was between overlays (small banners at the bottom of the screen) and prerolls (commercials that run before the main video). It turned out that viewers prefer overlays, so the company delved into the development of this area [27].

It should be noted that the concept of neuromarketing, as scientists believe, was developed by psychologists at Harvard University in the last century. However, the founders of this direction is traditionally considered to be General Director Retail branding AG Arndt Traindl and Director at the store branding Retail branding Bart Aamana. General method for the neuromarketing was developed in the late 1990-ies, Harvard Professor Jerry Zaltman, immediately patenting it called ZMET (Zaltman Metaphor Elicitation Method, i.e. a method for retrieving metaphors Saltmen) [3]. The technique ZMET consists in the recognition of the human unconscious with specially selected sets of images that

cause a positive emotional response and activate hidden images, metaphors stimulating the purchase of [16]. Marketing technology, which is based on the technique ZMET quickly, gained popularity among hundreds of major companies-customers, among which can be noted Coca-Cola, Pepsi, Nestle, General Motors, and Procter & Gamble etc. The term "neuromarketing" was suggested by Professor Smids in 2002, and the first international conference devoted entirely to neuromarketing study was conducted in 2004 in the United States. According to F. Kotler, today, neuromarketing has evolved to a full-fledged marketing direction [17]. The technology of neuromarketing put the model, according to which more than 90% of human mental activity, including emotion, takes place in the subconscious area that is below the levels of controlled awareness. The concept of neuromarketing is based on the recognition that a potential user primarily perceives the stimuli of the market environment at the level of neurophysiological signals.

The concept of "neuromarketing" in the Great Glossary is interpreted as follows: one of the modern concepts of marketing influence in retail, which is based on the study of consumer psychology, using the technology of "scanning" the brain of potential consumers to determine which images the target group responds most actively and relies on the feelings and emotions of customers [18].

Thus, neuromarketing can be defined not only as a new direction, but also as a new field of marketing research, which studies the sensory, cognitive and emotional responses of consumers to marketing incentives that influence their decision-making about purchasing a specific product [19], which will contribute to the growth of sales volumes of industrial enterprises or distributors, jobbers, dealers-independent large market intermediaries.

Neuromarketing, as a new type of science "marketing", is based on the achievements of neurobiology, neurophysiology, psychology, behavioral economics and, of course, traditional (classical) marketing. This opens up new possibilities not only for determining the consumer's attitude to products, which is characteristic of traditional marketing, but also for the impact on his subconscious. The proposed descriptive model of neuromarketing is shown in fig. 1.

Neuromarketing is an innovative tool of marketing science, in the modern sense - innovative marketing. The condition for implementing the strategy of advanced development of industrial enterprises today is the introduction of the concept and technologies of innovative marketing, production and sale of innovative products, which directly affects the high level of competitiveness of the enterprise in foreign and domestic markets [20-22]. Let's formulate the basic principles of neuromarketing as follows:

- a) the impact on consumer behavior by methods of neuroscience to form in them a positive perception of supply;
 - b) the use of unexpected, non-standard stimuli of potential consumers;
 - c) the effective use of all human senses as a condition for victory in the struggle for the buyer;
-

d) the use of tools of all types of neuromarketing in conducting neuromarketing research;

e) the permanence of the process of studying opinions and stimulating behavioral reactions of consumers.

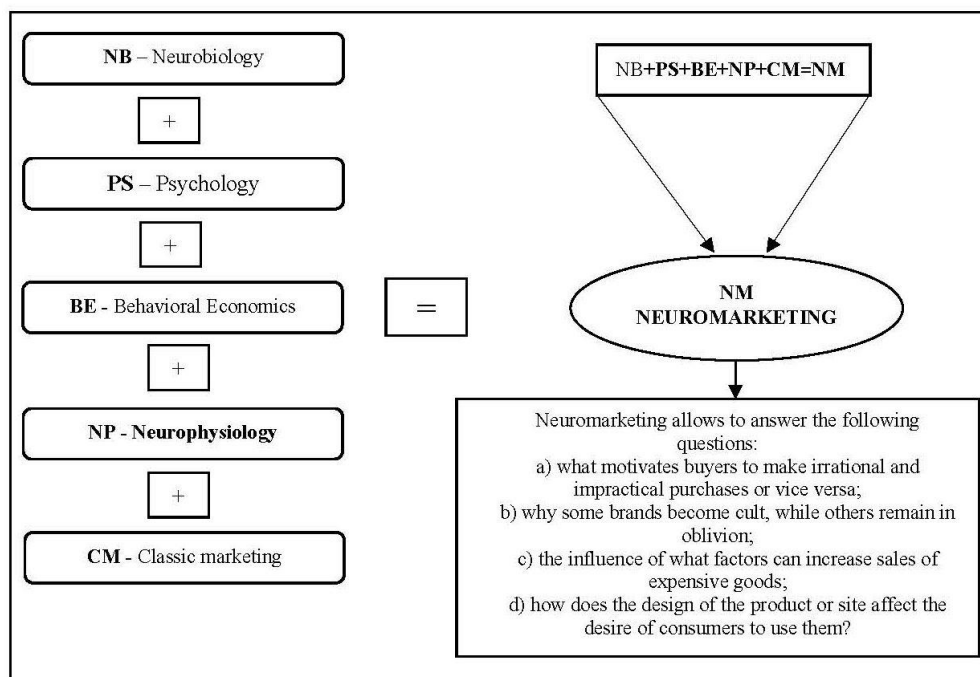


Fig. 1. Descriptive model of neuromarketing. *Source: author's development for [2, 13-15].*

Adherence to these principles will contribute to the development of sales strategies of industrial enterprises, increase the efficiency of their marketing activities, and increase sales of goods (services). All this indicates that the introduction of the latest innovative neuromarketing

technology in the system of traditional marketing is a relevant and promising area of modern domestic enterprises. Comparative characteristics of traditional marketing and its new type – neuromarketing are presented in fig. 2.

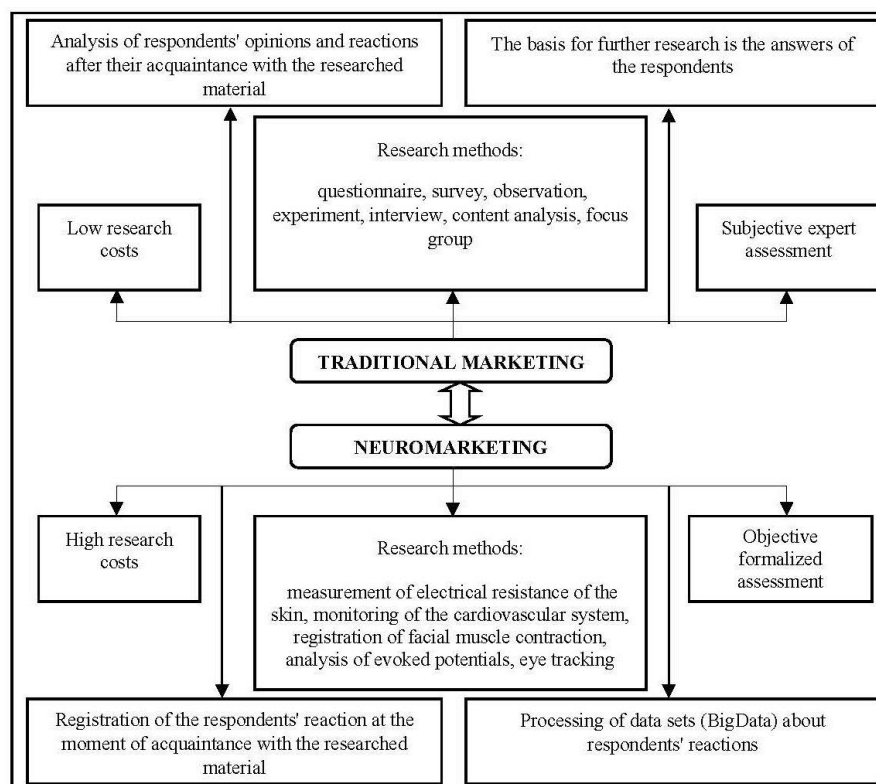


Fig. 2. Comparative characteristics of traditional marketing and neuromarketing. *Source: author's development*

According to the results of neuromarketing research, the company receives adequate, relevant specific primary information, on the basis of which the array (bank) of Big Data is formed. The received information about the reactions of the respondents becomes a new source of replenishment of the marketing information system (MIS) of the enterprise, part of a continuous system consisting of procedures and methods for continuous receipt, analysis and interpretation of both primary and secondary information needed to provide, integrate, support and the transfer of information to the managers of the enterprise in a form suitable for them to make informed management decisions [23].

Since neuromarketing is a fairly new concept of marketing research, it increases the interest of researchers and practitioners in a more thorough study, analysis of the peculiarities of its application. One of the most common and effective methods of analysis is the so-called SWOT-analysis, which is known to involve the identification and

assessment of strengths, weaknesses, as well as opportunities and threats. It studies the internal strengths and weaknesses of the object of study, evaluates the prospects for further development of its capabilities, taking into account the manifestation of risks and effective ways to protect against them, provided by the market [20, 21]. As practice shows, currently SWOT-analysis is used in various fields. Its versatility allows it to be used at different levels and for different objects [24, 25]. All this became an objective basis for conducting a SWOT-analysis of neuromarketing, which allows a more thorough understanding of the current state of neuromarketing and future prospects for its development in Ukraine. Strengths and weaknesses of the use of neuromarketing, i.e. its advantages and disadvantages are presented in table 1.

Opportunities and threats of neuromarketing are presented in table 2.

Table 1. Strengths and weaknesses of neuromarketing

Strong side	Weak side
More effective study of various consumer inquiries regarding the impact on them of individual components of a set of marketing activities, which allows you to quickly get hidden information about the specific benefits of brands, products of different manufacturers	The need for both the use of specific equipment required for research, and the need to involve highly qualified specialists who are able not only to obtain specific information, but also to process it correctly, competently
Evaluation of the appearance of the object using biometric tools	High cost of neuromarketing research
The use of certain psychological tools to assess the perception of the brand of the enterprise or its product	The duration of the collection of neuromarketing information and the duration of its special processing
Focus on the marketing concept, which is formed on the basis of consumer data	The need for additional study of the ethics of neuromarketing research
High quality of neuromarketing information, the effectiveness of the impact of marketing incentives on consumers, the lack of subjectivity in research, the clarity of the obtained primary data	Insufficient attention from scientists to a more detailed study of the problems of the spread of practical use in the country of methodological tools of innovative technology - neuromarketing
Overcoming a number of barriers in the process of conducting marketing research using traditional methods	Quite a complex procedure for conducting neuromarketing research in terms of choosing a room equipped with special medical devices
Variety of used special instrumental methods used in neuromarketing research	The need for highly qualified interviewers and respondents who are a priori positive about participating in experiments
Increasing the company's profit and increasing the efficiency of promoting its brand, product, provided the use of neuromarketing tools	The emergence of a negative synergistic effect due to the shortage in the country of scientists, researchers, specialists in the field of neuromarketing
The uniqueness of the information obtained from the results of neuromarketing research, which is based on a combination of certain aspects of the theory and practice of marketing, psychiatry and neurophysiology	Private results obtained from conducting neuromarketing research on the basis of a small sample do not always provide a high level of representativeness of the obtained primary information

Source: developed by the authors taking into account [14, 16, 24, 25].

Table 2. Opportunities and threats of neuromarketing

Opportunity	Threat
1	2
Formation of a new direction of research in marketing, interesting for the study of human neural activity at the time of purchase of goods	State reduction of planned funding for sectoral applied research in the fields of psychiatry, neurophysiology and marketing
Increasing the sample size several times when conducting neuromarketing research compared to traditional provides a higher level of adequacy of the information obtained	Over time, the likelihood increases that in the near future a person may and will be completely deprived of the ability to make reasonable independent decisions about the choice of a particular product
Study of the reaction of many people (potential consumers of market products) both in the natural environment and in the laboratory	Impossibility to fully predict the social consequences of the introduction of the achievements of neuroscience in the marketing activities of enterprises

The end **Table 1**

1	2
Correspondence of the developed methodology of collection of primary neuromarketing information to the set purposes of research for the decision of concrete problems of commodity producers - subjects of market relations	Outflow of qualified personnel in the field of marketing and medicine due to insufficient funding and reduced attention from managers to the conduct of fundamental, exploratory and applied research in the country
Carrying out of neuromarketing researches on various organizational forms: external, internal, mixed	The presence of demographic, financial, political, economic instability in the country
Development of products that best meet consumer demand	Conscious use of the mechanism of manipulating the consciousness of consumers
Obtaining primary, exclusive, reliable, relevant, targeted marketing information, the use of which will strengthen the market position of the enterprise in a competitive environment	There is an urgent need for both marketers who have the necessary knowledge and have certain skills in the field of marketing, and the need for highly qualified specialists in the field of neuroscience, who are able to solve applied marketing issues.

Source: developed by the authors taking into account [14, 15, 24, 25].

The unambiguous advantage of neuromarketing is the use of many methods to identify the consumer's subconscious attitude to products/design/advertising and their components. These methods vary according to the tools used, but they all have a common goal - to create a set of techniques that affect the subconscious of consumers and ensure their loyalty, turning loyalty into a desire to own a product, and this desire - a regular need. In addition, the use of neurobiology methods to study consumer reactions allows you to see more objective reactions and emotions of the buyer to advertising or product than those that can be learned from the customer, who often gives already processed, interpreted and rational, and therefore incomplete and insufficiently objective information.

Neuromarketing methods in accordance with [12, 14, 26] include such as: monitoring the human cardiovascular system (measuring heart rate, pressure and vascular tone); measuring the electrical resistance of the skin (to detect increased sweating); recording facial muscle contractions; analysis of evoked potentials (analysis of the brain's response to certain stimuli); eye tracking (recording the direction of the gaze, pupil size and duration of gaze delay). Eye tracking allows to determine the degree of concentration of a person on a particular object and the change in his emotional state. It should also be noted that increasing the sample size several times will improve the quality of information obtained as a result of neuromarketing studies, and this will improve statistics and forecasts.

As well as strengths and capabilities, neuromarketing has weaknesses and threats. One of the important weaknesses of neuromarketing is the question of research ethics. This is a problem that needs further study, as there are new tools for research, new schemes of processing and application of the results [10, 15]. In fact, firms, companies have gained access to the subconscious of their customers, that is, acquired the ability to control the decision-making process to purchase a particular thing or service. However, due to the ability to observe the brain in high spatio-temporal resolution and receive information about events in it in real time, in the last one and a half to two decades, significantly increased opportunities to understand consumer behavior in purchasing decisions and this trend will eventually only intensify.

Deep awareness of the secrets of the human psyche makes it possible not only to diagnose various diseases, determine the capacity and judgment of intellectual abilities or gain accurate knowledge about the benefits of shopping, but also allows you to use the information to control the processes occurring in these cases. In addition, neuroscanning is "armed" by forensic and government agencies to identify specific behaviors of a particular person. Today, against the background of a revolutionary breakthrough in neuroscanned technologies, the question of awareness of the possible consequences of the uncontrolled application of these methods is more relevant than ever. Against this background, the creation of an effective comprehensive neuroethical approach, both in theory and in practice, is significantly delayed. It can be assumed that any attempts to determine the extent and limitations in the use of neuromarketing will currently encounter barriers related to the inability to fully predict the development of neuroscience and social consequences.

As for the main existing ethical problems of neuromarketing today, they include: the omission of the main objectives of the experiment (researchers interfere in the private opinions of the consumer, which he cannot hide, and use them for their own purposes); discrimination of individuals by influencing the psychophysiological vulnerabilities of the consumer; the use of remote images in advertising or product design that do not correspond to its essence; lack of funds for supervision and control of neuromarketing research [10]. In addition, there is a danger that in the near future a person may be deprived of a reasonable choice, as the emotional component of personal consumer decision-making will be leveled by experts in the field of neuromarketing. As a result, the potential buyer will not be able to refuse the goods offered to him. Nevertheless, it can be stated that the level of awareness of the need to accelerate the process of formation of neuroethics and, as a consequence, a positive attitude to neuromarketing as an innovative technology of marketing research has recently increased.

Conclusions

The study of theoretical and practical aspects of the application of innovations in marketing activities of enterprises revealed that today neuromarketing is definitely an innovative, promising technology to

stimulate market demand, increase the effectiveness of measures to promote the product, brand, and website. As traditional marketing and sociological methods of collecting information are not always reliable, as the consumer is influenced by many factors, it should be expected that the frequency of neuromarketing research in the near future will only increase. Therefore, the task of conducting a SWOT-analysis of neuromarketing and the use of the obtained results in the marketing activities of enterprises became important. The introduction of

innovations in the marketing activities of enterprises requires the joint efforts of both marketers and specialists in the field of neuroscience to carefully study the mechanism of influence on consumer behavior with the ultimate goal to ensure the effective promotion and sale of goods in markets. Today, neuromarketing is a powerful innovative marketing tool, which for a quarter of a century of its existence has made a significant contribution to the development of business structures and the science of traditional marketing.

References

- Zadorozhnyuk, N. O. (2013), "Neuromarketing and its features" ["Nejromarketing i ego osobennosti"], *Economic Forum*, No. 3, P. 126-129.
- Borodin, M. A., Seraya, V. V. (2017), "Neuromarketing: biology of economics" ["Nejromarketing : biologija jekonomik"], *Economy and society*, No. 9, available at : http://www.economyandsociety.in/en/journal/9_eng/211/pdf (accessed 22.02.2020).
- Zaltman, D. (2003), *How Customers Think: Essential Insights Into the Mind of the Market*, by Gerald Zaltman, Harvard Business School Press, available at: <https://media.imaxws.com/912/howcustomersthink.pdf> (last accessed 20.02.2020).
- Arndt Traindl (2007), *Neuromarketing: die innovative Visualisierung von Emotionen*, Linz, Trauner, 126 p.
- Lindstrom M. (2010), *Buyology: Truth and Lies About Why We Buy*, New York, Broadway Books, 254 p.
- Roger Dooley (2011), *Brainfluence: 100 Ways to Persuade and Convince Consumers with Neuromarketing*, Wiley, 1 edition, 304 p.
- Lewis, D. (2015), *Neuromarketing in action. How to penetrate the buyer's brain* [Neyromarketing v deystvii. Kak proniknut' v mozg pokupatelya], Mann, Ivanov i Ferber, Moscow, 304 p.
- Glimcher, P. W. (2011), *Foundations of Neuroeconomic Analysis*, Eastbourne, Gardners Books, 488 p.
- Solsko, R. (2006), *Cognitive Psychology* [Kognitivnaya psikhologiya], Sank-Peterbrug, Piter, 589 p.
- Astakhova, I. E. (2017), "Ethical problems of neuromarketing research in the process of consumer demand management" ["Eticheskie problemy neyromarketingovykh issledovaniy v protsesse upravleniya potrebitel'skim sprosom"], *Economy and society*, No. 13, available at : http://www.economyandsociety.in.ua/journal/13_ukr/55.pdf (last accessed 20.02.2020).
- Kurban, O. V., Kurban, S. O. (2019), *Neuromarketing: advertising, PR, digital-marketing, branding* [Nejromarketyng: reklama, PR, digital-marketing, brendyng], Kyiv, White Tiger Publishing House, 148 p., available at : <http://www.elibrary.kubg.edu.ua/eprint> (last accessed 24.02.2020).
- Skrigun, N. P. (2018), "Neuromarketing as a means of psychological impact on the consumer" ["Neiromarketynh yak zasib psikhologichnoho vplyvu na spozhyvacha"], *Scientific Bulletin of the International Humanities University*, No. 30, available at : <http://vestnik-econom.mgu.od.ua/journal/2018/30-2018/16.pdf> (last accessed 10.02.2020).
- Krasilnikov, A. B. (2015), "Becoming a neuromarketing concept" ["Stanovlenye kontseptsyy neiromarketynh"], *Problems of the modern economy*, No. 1 (53), available at : <https://cyberleninka.ru/article/v/stanovlenie-kontseptsii-neyromarketinga> (last accessed 12.02.2020).
- Figun, N. V., Figun, A. V. (2014), "Neuromarketing methodology: essence, classification, development prospects" ["Metodologija nejromarketyngu: sutj, klasyfikacija, perspektivy rozvytku"], *Scientific bulletin of NLTU of Ukraine*, Vol. 24.5, P. 362–370, available at : <https://nv.nltu.edu.ua/archive> (last accessed 24.02.2020).
- Chernova, M. A., Klepikov, O. E. (2012), "Neuromarketing: on the issue of the ethical component" ["Neyromarketing: k voprosu ob eticheskoy sostavlyayushchey"], *National psychological journal*, No. 1 (7), available at : http://npsyj.ru/pdf/npj_no07_2012/npj_no07_2012_139-142.pdf (last accessed 16.02.2020).
- "Neuromarketing", available at : <https://uk.wikipedia.org/wiki/neuromarketing> (last accessed 08.02.2020).
- Kotler, F., Keller, K. L. (2018), *Marketing management*, 15th ed., Izdatel'skiy dom "Piter", St. Petersburg, 848 p.
- "Marketing. The great explanatory dictionary – neuromarketing", available at : <http://www.вокабула.рф/словари/нейромаркетинг> (last accessed 24.02.2020)
- "Neuromarketing. New science of customer behavior" ["Nejromarketing. Novaja nauka povedenija pokupatelja"], available at : https://www.academia.edu/969189/neuromarketing_the_new_science_of_consumer_behavior (last accessed 03.02.2020).
- Nikitenko, O. V., Natorina, A. O. (2016), "Innovative marketing in the enterprise management system" ["Innovatsiyni marketyng v systemi upravlinnia pidpriemstvom"], *Marketing and management in the system of national and world economic interests: proceedings of the 1st International scientific and practical internet conference (January 21, 2016)*, Krivoy Rog : DonNUET im. M. Tuhana-Baranovskoho, P. 74–75.
- Sokolova, L. V., Veriasova, G. M., Sokolov, O. E. (2011), "Enterprise competitiveness evaluation: Theory and graphic support.", *Actual Problems of Economics*, No. 12 (126), P. 289-302, available at : <http://openarchive.nure.ua/handle/document/7003> (last accessed 04.03.2020).
- Sokolova, L.V. (2018), "Scientific and Methodical Support for Enterprise's Competitiveness Increase under Conditions of Marketing Orientation.", *Slovak international scientific journal*, Bratislava, Slovakia, No. 16, Vol. 1, P. 15–17, available at : http://sis-journal.com/wp-content/uploads/2018/05/SIS_journal_16.pdf (last accessed 04.03.2020).
- "Marketing information system (MIS) – wikipedia", available at : uk.wikipedia.org/Marketynhova_informatsiina_systema (last accessed 04.03.2020).
- "SWOT analysis", available at : <https://uk.wikipedia.org/wiki/swot-%d0%b0%d0%bd%d0%b0%d0%bb%d1%96%d0%b7> (last accessed 05.02.2020).
- Shlyakhta, O. M. (2012), "SWOT analysis is a tool for strategic management of enterprise" ["SWOT analiz yak instrument stratehichnoho menedzhmentu pidpriemstva"], *Economic space*, No. 68, available at : http://nbuv.gov.ua/ujrn/ecpros_2012_68_35 (last accessed 16.01.2020).

26. "Neuromarketing, or how to capture the brain of a buyer" ["Neiromarketynh, abo Yak zavoloditi mozkom pokuptsia"], available at : <http://slaidik.com.ua/nejromarketing-abo-yak-zavoloditi-mozkompokuptsya> (last accessed 29.01.2020).

27. "6 neuromarketing techniques from PayPal, Netflix and Red Bull that you can implement in your business" ["6 priemov nejromarketinga ot PayPal, Netflix i Red Bull, kotorye vy mozhetе vnedrit' v svoj biznes"], available at : <https://geniusmarketing.me/lab/6-priemov-nejromarketinga-ot-paypal-netflix-i-red-bull-kotorye-vy-mozhete-vnedrit-v-svoj-biznes/> (last accessed 05.03.2020).

Received 01.04.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Соколова Людмила Василівна – доктор економічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри економічної кібернетики та управління економічною безпекою, Харків, Україна; email: liudmyla.sokolova@nure.ua; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8106-1523>.

Соколова Людмила Васильевна – доктор экономических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры экономической кибернетики и управления экономической безопасностью, Харьков, Украина.

Sokolova Liudmyla – Doctor of Sciences (Economics), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor of the Department of Economic Cybernetics and Management of Economic Security, Kharkiv, Ukraine.

Верясова Ганна Миколаївна – Харківський національний університет радіоелектроніки, старший викладач кафедри економічної кібернетики та управління економічною безпекою, Харків, Україна; email: ganna.veriasova@nure.ua; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5287-9833>.

Верясова Анна Николаевна – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, старший преподаватель кафедры экономической кибернетики и управления экономической безопасностью, Харьков, Украина.

Veriasova Ganna – Kharkiv National University of Radio Electronics, Senior Lecturer of the Department of Economic Cybernetics and Management of Economic Security, Kharkiv, Ukraine.

Зінченко Марина Едуардівна – Харківський національний університет радіоелектроніки, магістр кафедри економічної кібернетики та управління економічною безпекою, Харків, Україна; email: maryna.zinchenko@nure.ua; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2985-2269>.

Зинченко Марина Эдуардовна – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, магистр кафедры экономической кибернетики и управления экономической безопасностью, Харьков, Украина.

Zinchenko Maryna – Kharkiv National University of Radio Electronics, Master of the Department of Economic Cybernetics and Management of Economic Security, Kharkiv, Ukraine.

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙ У МАРКЕТИНГОВУ ДІЯЛЬНІСТЬ ПІДПРИЄМСТВ

Предметом дослідження даної роботи є новий напрямок у маркетинговій діяльності підприємства – нейромаркетинг, який використовує новітні розробки у сфері психології, нейробіології та поведінкової економіки в аналізі поведінки споживачів. **Метою** дослідження є визначення дефініції поняття "нейромаркетинг", проведення порівняльного аналізу понять традиційного маркетингу та нейромаркетингу, виявлення сильних та слабких сторін, можливостей та загроз нейромаркетингу, що створить нову інформаційну складову системи сканування стратегічної інформації суб'єктів господарювання країни. Подальший розвиток окремих теоретично-практичних аспектів застосування нейромаркетингу як ефективного сучасного інструментарію системи просування продукції на товарних ринках. В статті вирішуються наступні **завдання**: проведення аналізу теоретичних та практичних аспектів застосування нейромаркетингу, аналіз основних методів отримання та обробки релевантної інформації. Використовуються такі **методи**: теоретичне узагальнення, порівняльний аналіз, аналітичний, аналіз та синтез, SWOT-аналіз. Отримано наступні **результати**: в роботі запропоновано дескриптивну модель нейромаркетингу; сформульовано принципи нейромаркетингу; проведено порівняння нейромаркетингу та традиційного маркетингу; розглянуто основні етичні проблеми нейромаркетингових досліджень; проведено SWOT-аналіз нейромаркетингу, що сприятиме більш чіткому розумінню сутності, переваг та недоліків нової інноваційної технології маркетингу, оцінці перспектив розвитку нейромаркетингу у країні; розроблено пропозиції щодо подальшого розвитку маркетингової інформаційної системи підприємства шляхом доповнення її первинною інформацією, отриманою в процесі застосування нейромаркетингу – інноваційної технології маркетингу. **Висновки**: Визначено, що нейромаркетинг є інноваційним сучасним інструментом традиційного маркетингу, перспективним методом просування товару. Вивчення нейромаркетингу показало, що цей напрям на сьогоднішній день є однією з технологій маркетингу майбутнього, функціонал якого ще й досі не до кінця сформовано і досліджено. Проте сьогодні нейромаркетинг є потужним інноваційним інструментом маркетингу, який за чверть століття свого існування зробив суттєвий внесок як у розвиток бізнесових структур, так і в науку традиційного маркетингу.

Ключові слова: маркетингова діяльність; нейромаркетинг; інноваційна технологія; споживач; формула нейромаркетингу; релевантна інформація; SWOT-аналіз.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИЙ
В МАРКЕТИНГОВУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ**

Предметом исследования данной работы является новое направление в маркетинговой деятельности предприятия – нейромаркетинг, который использует новейшие разработки в области психологии, нейробиологии и поведенческой экономики в анализе поведения потребителей. **Целью** исследования является определение дефиниции понятия "нейромаркетинг", проведение анализа понятий традиционного маркетинга и нейромаркетинга, выявление сильных и слабых сторон, возможностей и угроз нейромаркетинга, что создаст новую информационную составляющую системы сканирования стратегической информации субъектов хозяйствования страны. Дальнейшее развитие отдельных теоретических и практических аспектов применения нейромаркетинга как эффективного современного инструментария системы продвижения продукции на товарных рынках. В статье решаются следующие **задачи**: проведение анализа теоретических и практических аспектов применения нейромаркетинга, анализ основных методов получения и обработки релевантной информации. Используются такие **методы**: теоретическое обобщение, сравнительный анализ, аналитический, анализ и синтез, SWOT-анализ. Получены следующие результаты: в работе предложена дескриптивная модель нейромаркетинга; сформулированы принципы нейромаркетинга; проведено сравнение нейромаркетинга и традиционного маркетинга; рассмотрены основные этические проблемы нейромаркетинговых исследований; проведен SWOT-анализ нейромаркетинга, что будет способствовать более четкому пониманию сущности, преимуществ и недостатков новой инновационной технологии маркетинга, оценке перспектив развития нейромаркетинга в стране; разработаны предложения по дальнейшему развитию маркетинговой информационной системы предприятия дополнением ее первичной информации, полученной в процессе применения нейромаркетинга - инновационной технологии маркетинга. **Выводы**: Установлено, что нейромаркетинг является инновационным, современным инструментом традиционного маркетинга, перспективным методом продвижения товара. Изучение нейромаркетинга показало, что это направление на сегодняшний день является одной из технологий маркетинга будущего, функционал которого еще до сих пор не до конца сформирован и исследован. Однако сегодня нейромаркетинг является мощным инновационным инструментом маркетинга, который за четверть века своего существования сделал существенный вклад как в развитие бизнес-структур, так и в науку традиционного маркетинга.

Ключевые слова: маркетинговая деятельность; нейромаркетинг; инновационная технология; потребитель; формула нейромаркетинга; релевантная информация; SWOT-анализ.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Соколова Л. В., Верясова Г. М., Зінченко М. Е. Теоретичні та практичні аспекти впровадження інновацій у маркетингову діяльність підприємств. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 119–126. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.119>.

Sokolova, L., Veriasova, G., Zinchenko, M. (2020), "Theoretical and practical aspects of introducing innovations in the enterprise's marketing activity", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 119–126. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.119>.

O. AVRUNIN, A. TRUBITCIN, O. ISAEVA, V. KLYMENKO

POSSIBILITIES FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF TREATMENT OF ATOPIC DERMATITIS BASED ON ANALYSIS OF COLOR CHARACTERISTICS OF VIDEO DERMATOSCOPIC IMAGES

The **subject** of the article is the study of the color characteristics of video dermatoscopic images of affected skin areas of children with atopic dermatitis and the development of an automated diagnostic system for processing and analysis of dermatoscopic images. The **aim** of the work is to develop an objective method for assessing the skin condition of children with atopic dermatitis based on numerical analysis of images of affected skin areas. The **objectives** of the work were to collect a life history of children with atopic dermatitis, study the color characteristics of video dermatoscopic images of affected skin areas and further develop an automated diagnostic system for processing and analyzing dermatoscopic information. **Research Methods.** During the diagnostic examinations of children with atopic dermatitis, a history of life was collected and the initial dermatological status of patients was described. A comprehensive assessment of the severity of the disease was performed using the SCORAD index. Image registration was carried out using a UM039 digital video dermatoscope with optical magnification up to 200 times, resolution of the receiving matrix 2880×1800 image elements, equipped with a built-in block of adjustable LED lighting, a tripod and a rotary 3-inch display. The images were captured on a microSD card with subsequent transfer of data to the database on the computer. The **results** of the study, based on the data obtained, allowed us to assess the intensity and dynamics of the inflammatory processes of the affected areas of the skin of children with atopic dermatitis and to formulate the principles of the automated diagnostic system for processing and analysis of dermatoscopic images. **Conclusion.** At the end of the study, the authors conclude that to monitor the skin condition in the treatment of atopic dermatitis, the analysis of the color components of the affected areas on the HSV scale can be used, which allows the specialist to intuitively observe the results of the therapy in a natural color space for human perception. As prospects for the development of the work, the authors substantiate the prerequisites for the development of a complete automated system for the comprehensive diagnosis of atopic dermatitis and its clinical trial. Such a system can make it possible to form a preliminary diagnosis and determine the severity of the disease based on the evaluation of color channels of images of affected skin areas and additional diagnostic data.

Keywords: atopy; dermatitis; brightness; HSV; color.

Formulation of the problem

Atopic dermatitis (ATD) is one of the most common skin diseases that affects up to 20% of children and 2-8% of the adult population [1].

The disease has a significant impact on the quality of life of the patient and his family, causing sleep disturbance, decreased productivity, emotional and mental problems, impaired physical activity and social life [2]. It can be a cause of disability.

Atopic dermatitis (ATD), a multifactorial inflammatory-immunopathological disease, is characterized by a relapsing course, accompanied by intense itching, more often in infancy and early childhood. Atopic dermatitis is currently one of the most common chronic diseases. For many years, it was believed that the first manifestations of atopy, such as a hereditary predisposition to IgE-associated environmental allergens and atopic march, ultimately lead to the development of asthma and allergic rhinitis. In support of this, all studies of past years were focused on the study of the humoral and T-cell immune response, and the results cast doubt on the main role of allergic mechanisms in the development of atopy, although they did not reduce the importance of immune responses. Modern molecular studies increasingly indicate the important role of the epidermis and its barrier function as the main link in the development of atopic processes.

One of the most important risk factors today is considered a hereditary predisposition to atopic diseases, in particular to AD. Various studies show that with an existing atopic disease in family members, the probability of manifestation of an atopic condition in the next

generation exceeds 80%. The hereditary predisposition to AD is realized under the influence of environmental factors and the lifestyle of the individual. Among them are the so-called Western diet with a high content of sugar and polyunsaturated fatty acids; Other factors include living in urban areas and regions with weak exposure to ultraviolet radiation and low humidity, as well as the small composition of the family with a high level of education of its members.

One of the fundamental genetic risk factors for the development of atopic dermatitis is considered to be a zero mutation in the filaggrin gene. This protein is formed from profilaggrin through proteolysis in keratogialin granules and plays a role in the aggregation of keratin filaments in the upper layers of the epidermis, holding lipids and proteins together between keratinocytes of the stratum corneum. In addition, filaggrin affects the differentiation of cells and promotes the formation of components of a natural moisturizing factor, which are of great importance for skin hydration. Recently, it has also been found that by inhibiting the generation of house dust mite antigen, filaggrin can directly affect allergens. There is evidence that the absence of filaggrin breakdown products contributes to transepidermal water loss, allergen penetration and skin colonization of *Staphylococcus aureus*. This explains why a higher level of total IgE, more pronounced sensitization, a more severe course of AD, and the development of asthma are associated with a filaggrin mutation and loss of its function.

For a long time, these features were considered as secondary effects of immunological mechanisms. Nevertheless, the insight of genetically determined epidermal defects, which contribute to the development of

atopic dermatitis, has shifted the focus of the problem toward breaking the epidermal barrier. It is important to note that the violated epidermal barrier is not limited to defects in the structural proteins of the skin and is found not only in carriers of the filaggrin protein gene mutation. Other hereditary factors, environmental factors, such as the use of soap, detergents, exposure to exogenous proteases (for example, house dust mites), as well as repeated damage to the integrity of the epidermis (excoriation) worsen the condition of the skin. Thus, various combinations of hereditary and exogenous factors are involved in violations of the epidermal barrier. Important data presented by T. Werfel et al. Indicate that dysfunction of the barrier properties of the skin of newborns is also a prognostic factor in food allergy, which confirms the theory of percutaneous sensitization to allergens. The detected changes that affect the deterioration of the skin, mainly in open areas exposed to aeroallergens, increase sensitization in patients with AD and suggest that due to epidermal barrier dysfunction, prolonged exposure of the agent is accompanied by direct penetration of allergens into the skin.

A distinctive feature in the development of AD is inflammation in the skin, which is characterized by consistent and progressive models of inflammatory cell infiltration, in particular CD4 + cells. Signs of subclinical inflammation with an increase in the number of T helper cells (Th2 and Th22 and to a lesser extent Th17) and a pro-inflammatory cytokine environment are already detected on the visually unaffected skin of children with AD. Enhanced T cell infiltration expresses various skin adhesion molecules, such as cutaneous lymphocytic antigen, chemokines, and lipid chemotactic receptors that penetrate various layers of the skin. In addition, an increase in the number of Th2-cytokine-producing lymphocytes in the affected areas with atopic dermatitis leads to increased inflammation in the skin. In a systematic review of 113 studies, no clear evidence was found of the relationship between the role of specific infections or vaccination in the manifestation of AD, but the dependence of the development of AD on the use of broad-spectrum antibiotics during pregnancy and the postpartum period was found [3].

Sometimes a person can suffer from AD throughout life – from infancy to death. During the year, periods of exacerbation and hyperemia are also periodically observed, manifested by a change in the color of the skin.

In children with the initial stage of AD, subject to the timely appointment of a hypoallergenic diet and elimination measures, external therapy and drug treatment, in many cases it is relatively easy to achieve the reverse development of skin rashes, whereas with untimely and inadequate therapy, the transition from the initial stage of AD to the stage of pronounced changes is noted on the skin.

At the stage of marked changes in patients, along with eczematous changes and peeling of the skin, the appearance of lichenization was noted. Around the foci, the appearance of papular elements or plaques was noted. Patients were worried about severe itching of the skin. In unaffected areas of the skin, 73% of the observed

patients showed red, and in 27%, white dermographism [4].

In conditions of a prolonged chronic course of the disease, the problem of an objective assessment of the severity of skin lesions at each particular moment of the disease becomes particularly relevant. Both the volume of therapy for stopping a particular exacerbation and the development of a patient management strategy will depend on this assessment [5, 6].

Currently, one of the most informative methods for assessing the condition of the skin during dermatological studies is considered to be dermatoscopy. The modern market of dermatoscopes is represented by a wide selection of samples, distinguished by their functionality and price range.

The VEOS DS3 dermatoscope (fig. 1) is a portable digital dermatoscope with a touch screen, an improved lighting system, which allows the study of skin, subcutaneous structures and vascular pattern. Dermatoscopy can be performed by contact and non-contact methods (non-polarizing and polarizing methods). Focus adjustment can be carried out both in manual and automatic modes. The design features of the optical system make it possible to avoid optical aberrations, as well as to carry out high-quality focusing and scaling. The device is equipped with 2 contact boards (immersion and cross-polarized).



Fig. 1. Digital dermatoscope VEOS DS3

Dermatoscope (trichoscope) irefly DE330T (fig. 2) has an optical magnification up to 165x; digital up to 495x. Allows you to take pictures with a maximum resolution of 2 mps (1600 x 1200). Equipped with a three-layer glass - 650 nm. and a built-in polarizer with 12 gradations. There is the possibility of video recording. The backlight is represented by a system of 8 ultra-bright LEDs with adjustable brightness.

The device has a size of 13x3.6 cm. The diameter of the chamber is 4 cm.



Fig. 2. Dermatoscope (trichoscope) irefly DE330T

The DELTA 20 dermatoscope (fig. 3) has a color rendering coefficient $CRI > 87$. The color rendering system is represented by 4 LEDs. Two LEDs can be turned off for side lighting.

The optics of the device allows a 10-16-fold increase; undistorted all over the plane. The adjustable eyepiece has individual focusing with a correction range from -6 to $+6$ diopters.



Fig. 3. Dermatoscope DELTA 20

The Eurolight D30 dermatoscope (fig. 4) has a contact glass with a diameter of 25 mm, a backlight system with an illumination intensity (12,000 Lux) with a service life of up to 50,000 hours, focusing range: from -6 to $+3.5$ D, tenfold optical zoom, scale for early detection of pigmentation changes in the skin.



Fig. 4. Dermatoscope Eurolight D30

Visual analysis of the medical image allows the doctor to make a preliminary conclusion about the condition of the skin in a specific period of the disease. However, this method of obtaining information does not allow to extract the entirety of the data necessary to clarify the diagnosis and predict the further development of the disease. Methods of digital processing and analysis of dermatological images based on instrumental methods of data recording allow constructing an objective picture of the course of the disease, which allows the clinician to reasonably choose a strategy for further treatment of a patient with AD with a minimal subjective factor.

Purpose of work. The aim of the work is to develop an objective method for assessing the condition of the skin with AD based on numerical analysis of images of affected skin areas.

Materials and methods

Studies of children with AD were conducted at the Department of Propaedeutics of Pediatrics No. 2 of KhNMU.

All patients and their parents voluntarily consented to participate in the study.

Among the children there are 5 girls, 5 boys. Children age - from 2 to 12 years.

The researchers collected an anamnesis and described the initial dermatological status of patients. Clinical monitoring involved determining the severity of the following symptoms: skin edema, erythema, papular elements, excoriation, itching, dryness.

Patients received systemic therapy, which included taking antihistamines. Outwardly, basic therapy with emollients and anti-inflammatory therapy with corticosteroids were used.

The dynamics of the skin process was evaluated on the 3rd, 14th, 17th and 28th day of treatment.

A comprehensive assessment was performed using the SCORAD index (Scoring of Atopic Dermatitis - Atopic Dermatitis Scale) [5].

The criteria for the effectiveness of therapy was the reduction or disappearance of dryness and signs of skin inflammation.

The condition of patients on the background of the therapy was evaluated: as a clinical recovery - full resolution of the skin inflammatory process; significant improvement - a decrease in the SCORAD index by 75% compared to the original data; improvement - a decrease in the SCORAD index by 25-50%; no change - decrease in the SCORAD index by less than 25% or no change.

The images were recorded using a digital video dermatoscope UM039 with optical magnification up to 200 times [7], the resolution of the receiving matrix was 2880×1800 image elements, equipped with a built-in block of adjustable LED lighting, a tripod and a rotary 3-inch display. The images were captured on a microSD card with subsequent transfer of data to the database on the computer.

The appearance of the device and an example of a diagnostic video dermatoscopic image are shown in fig. 5 and fig. 7 (a - e), respectively.



Fig. 5. Digital videodermatoscope UM039

The automated diagnostic system for processing and analyzing dermatoscopic information is presented in fig. 6.

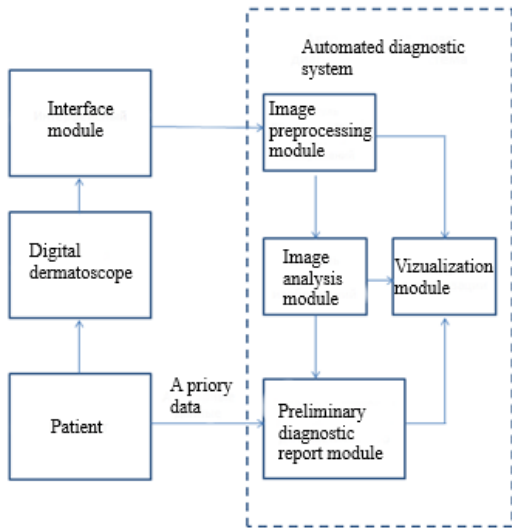


Fig. 6. Automated diagnostic system for processing and analysis of dermatoscopic information

As a device for recording graphic information, a digital video dermatoscope UM039 was used; the interface module, which is a means of transmitting information to the database, can be implemented in the form of wired or wireless channels for transmitting information. The information preprocessing module includes means for monitoring data entered by a doctor for their correctness and consistency, as well as algorithms for eliminating image defects and improving its quality (methods for suppressing noisy components, correcting brightness and contrast). The image analysis module includes algorithms for evaluating color components and image segmentation. The preliminary diagnostic conclusion module includes various data classification algorithms.

The main research material. The article examined cases typical of the studied patient groups.

Clinical case 1. The patient is 8 years old. Registered by a dermatologist about ATD fig. 7. On examination, against the background of minor erythema, a few papular elements were noted in the neck fig. 8.

For the studied dermatoscopic images, the average values of the brightness channels in the RGB color model of the table were obtained 1.



Fig. 7. Localization of AtD lesions



Fig. 8. Localization of ATD manifestations for clinical case No. 1: a) skin condition on the third day of the examination; b) skin condition on the fourteenth day of the examination; c) skin condition on the seventeenth day of the examination; d) skin condition twenty-eighth day of examination

Table 1. The values of the brightness channels of the RGB color model, the studied images

N fig.	1	2	3	4	1 normal
channel					
R	249.7958	248.0176	241.3805	248.4456	240.786
G	170.9561	142.7206	157.2449	160.5349	154.344
B	168.7385	134.5160	135.6566	138.7161	138.76

Given (according to the data in table 1) the low visibility when displaying changes in color coordinates in the RGB space when observing the color of the skin surface during ATD in dynamics, it is advisable to switch to the HSV color space to study color changes using the perceptual color model.

For analysis, the images were converted to the HSV color model according to formulas (1–3) [8] and the values of the brightness channels of table 1 were determined.

$$V \leftarrow \max(R, G, B) \quad (1)$$

$$S \leftarrow \begin{cases} \frac{V - \min(R, G, B)}{V}, & \text{if } V \neq 0 \\ 0, & \text{elso} \end{cases} \quad (2)$$

$$H \leftarrow \begin{cases} \frac{60(G-B)}{S}, & \text{if } V = R \\ 120 + \frac{60(B-G)}{S}, & \text{if } V = G \\ 240 + \frac{60(R-G)}{S}, & \text{if } V = B \end{cases} \quad (3)$$

if $H < 0$, then $H = H + 360$

Table 2. The values of the brightness channels HSV color model of the studied images

Figure	1	2	3	4	1 normal
H	355±4,2	1±4,2	18±4,2	19±4,2	18±3,6
S	50±4,6	47±3,2	45±3,4	40±2,2	40±2,8
V	93±9,3	99±8,1	94±8,7	99±7,2	98±8,5

From the analysis of color channels according to table 2 it is obvious that in patients with atopic dermatitis, the skin tone of the affected areas changes significantly when observed in dynamics. So, in the acute stage (at the beginning of treatment), the skin of the affected areas has a purple tint and, under the influence of therapy, shifts to the area of orange tones by an anticlockwise angle of about 20 degrees. The saturation of the skin in this case decreases in dynamics by 10 units. There were no significant differences in the brightness component of the images of the skin during AT in dynamics. It is also necessary to take into account individual anatomical variability and to bind to the patient's skin color in unaffected areas to increase the reliability of diagnosis under conditions of uncertainty [9, 10]. Additional methods aimed at analyzing video dermatoscopic images, for example, using Mueller-matrix transformations [11], can expand the possibilities of the proposed colorimetric diagnostics.

The method and system proposed in the work allow non-invasive instrumental diagnostics of the skin condition [12–18], which is very important in modern

dermatology and can be used to organize telemedicine consultations in conditions of self-isolation [19]. A promising approach based on an accurate assessment of the area of affected skin areas using 3D scanning of the patient's body can expand the capabilities of the method [20].

Conclusion

Thus, we can conclude that in order to observe the condition of the skin during the treatment of AD in dynamics, one can apply the analysis of the color components of the affected areas on the HSV scale. This allows the specialist to intuitively observe the results of the therapy in an intuitive color space. The prospect of work is the development of a complete automated system for the comprehensive diagnosis of AtD and its clinical trials. Such a system will allow to form a preliminary diagnosis and determine the severity of the disease based on the evaluation of color channels of images of affected skin areas and additional diagnostic data.

References

- Wollenberg, A., Barbarot, S., Bieber, T. et al. (2018), "Wollenberg Consensus-based European guidelines for treatment of atopic eczema (atopic dermatitis) in adults and children: part I", *European Academy of Dermatology and Venereology*, No. 32 (5), P. 657–682. DOI: 10.1111/jdv.14891
- Koszorú, K., Borza, J., Gulácsi, L., Sárdy, M. (2019), "Quality of Life in Patients with Atopic Dermatitis", *Medge dermatology*, No. 104 (03), P. 174–177.
- Murashkin, N. N., Materikin, A. I., Ambarchjan, Je. T., Epishev, R. V. (2016), "Sovremennye predstavlenija o patogeneze i principah naruzhnoj terapii atopicheskogo dermatita u detej", *Current Pediatrics*, No. 6 (15), P. 584–589.
- Illek, Ja. Ju., et al. (2007), "Diagnostika atopicheskogo dermatita u detej rannego vozrasta", *Vyatka Medical Bulletin*, No. 2, P. 83–92.
- Kunz, Oranje, Labrèze, Stalder, Ring (1997), "Clinical validation and guidelines for the SCORAD index: consensus report of the European Task Force on Atopic Dermatitis", *Dermatology*, No. 195 (1), P. 10–19.
- Trubicyn, A. A., Isaeva, O. A., Klimenko, V. A., Avrunin, O. G. (2019), "Instrumental methods of assessment of skin state at atopic dermatitis", *Science and Production*, No. 20, P. 180–187. DOI: doi.org/10.31498/2522-9990202019184898
- Avrunin, O., Klimenko, V., Trubicyn, A., Isaeva, O. (2019), "Development of Automated System for Video Intermatoscopy", *Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference International Trends in Science and Technology*, Vol. 2, January 31, 2019, Warsaw, Poland, P. 6–9.

8. Nosova, Ya. Farouk, V., Avrunin, O. (2013), "Development of the method of express diagnostics of bacterial microflora of the nasal cavity", *Problems of information technologies*, Kherson, No. 13, P. 99–104.
9. Avrunin, O. G., Bodyansky, Ye. V., Kalashnyk, M. V., Semenez, V. V., Filatov V. O. (2018), *Modern intelligent technologies of functional medical diagnostics* [Suchasni intelektual'ni tekhnolohiyi funktsional'noyi medychnoyi diahnostryky] : Monograph, Kharkiv, NURE, 248 p. DOI: 10.30837/978-966-659-234-0.
10. Shhapov, P. F., Avrunin, O. G. (2011), "Poluchenie informacionnoj izbytochnosti v sistemah izmeritel'nogo kontrolja i diagnostiki izmeritel'nyh obektov", *Ukrainian Metrological Journal*, No. 1, P. 47–50. Pat. 109839 Ukraina, MPK G 01 N 21/00, G 01 N 21/39 (2006.01).
11. Bojchuk, T. M., Ushenko, O. G., Novakovska, O. Yu., Grygoryshyn, P. M. (2016), Sposib diagnostyky staniv dermy shkiry za dopomogoyu analizu myuller-matrychnyx zobrazhen; zayavnyk Vyshhyj derzhavnyj navchalnyj zaklad Ukrayiny "Bukovynskij derzhavnyj medychnyj universytet", No. u201602401; zayavl. 12.03.2016; opubl. 12.09.2016, Byul. No. 17.
12. Makarenko, L. A. (2013), "Neinvazivnaja diagnostika v dermatologii", *Russian Journal of Skin and Sexually Transmitted Diseases*, No. 2, P. 40–45.
13. Dmytrenko, S. V., Stepanenko, V. I., Vernygorodskij, S. V., Nalizhytyj, A. A. Pat. 110303 Ukrayina, MPK A61B 8/08. Sposib dermatoskopichnoyi ocinky tyazhkosti ixtiozu; zayavnyk Vinnyczkyj nacionalnyj medychnyj universytet im. M. I. Pyrogoва. # a201412529; zayavl. 21.11.2014; opubl. 10.12.2015, Byul. # 23.
14. Kogan, B. G. (2013), "Atopichnyj dermatyt : akcent na bezpechnosti likuvannya", *Ukrainian Journal of Dermatology, Venerology, Cosmetology*, No. 1 (48), P. 81–89.
15. Zajnullina, O. N., Hismatullina, Z. R., Pechkurov, D. V. (2017), "Sovremennye metody ocenki sostojaniya kozhi pri atopicheskom dermatite u detej", *Allergology and Immunology in Pediatrics*, No. 4 (51), P. 4–9.
16. Isaeva, O. A., Avrunin, O. G. (2019), "Development of an automated system for video dermatoscopy", *Materials of the 23rd International Youth Forum. Vol. 1*, Kharkiv, KNUR, P. 165–166.
17. Rajpara, S. M., Botello, A. P., Townsend, J., Ormerod, A. D. (2009), "Systematic review of dermoscopy and digital dermoscopy", *Artificial Intelligence for the Diagnosis of Melanoma*, Br J Dermatol, No. 161 (3), P. 591–604.
18. Guitera, P., Menzies, S. W. (2011), "State of the art of diagnostic technology for early-stage melanoma", *Expert Rev Anticancer Ther*, No. 11 (5), P. 715–723.
19. Isaeva, O. A., Trubicin, A. A. (2020), "Vozmozhnosti telemedytsynskih servisov dermatologii", *Materiali HH Vseukrains'koj naukovo-tehnichnoj konferencii molodih vchenih, aspirantiv ta studentiv "Stan, dosjagnennja i perspektivi informacijnih sistem i tehnologij"*, Ch. 2, Odesa, ONAHT, P. 51–53.
20. Isaieva, O. A., Avrunin, O. G. (2020), "Possibilities of application of 3D-Scanning in determining of damaged areas of skin", *Abstracts of X International Scientific and Practical Conference*, San Francisco, USA, P.139–142.

Received 23.04.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Аврунін Олег Григорович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри біомедичної інженерії, Харків, Україна; email: oleg.avrunin@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6312-687X>.

Аврунин Олег Григорьевич – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, заведующий кафедрой биомедицинской инженерии, Харьков, Украина.

Avrunin Oleh – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkov National University of Radio Electronics, Head of the Department of Biomedical Engineering, Kharkiv, Ukraine.

Трубіцин Олексій Олексійович – Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірант кафедри біомедичної інженерії, Харків, Україна; email: altr287@gmail.com; ORCID: orcid.org/0000-0002-7581-1700.

Трубицин Алексей Алексеевич – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, аспирант кафедры биомедицинской инженерии, Харьков, Украина.

Trubicin Alexey – Kharkov National University of Radio Electronics, Post-Graduate Student of the Department of Biomedical Engineering, Kharkiv, Ukraine.

Ісаєва Ольга Андріївна – Харківський національний університет радіоелектроніки, студентка кафедри біомедичної інженерії, Харків, Україна; email: olha.isaieva@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7832-4695>

Исаева Ольга Андреевна – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, студентка кафедры биомедицинской инженерии, Харьков, Украина.

Isaeva Olga – Kharkov National University of Radio Electronics, Student of the Department of Biomedical Engineering, Kharkiv, Ukraine.

Клименко Вікторія Анатоліївна – доктор медичних наук, професор, Харківський національний медичний університет, завідувач кафедрою пропедевтики педіатрії №2, Харків, Україна; email: klymenkoviktoria@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6762-9650>.

Клименко Виктория Анатольевна – доктор медицинских наук, профессор, Харьковский национальный медицинский университет, заведующая кафедрой пропедевтики педиатрии №2, Харьков, Украина.

Klymenko Viktoriia – MD, Professor, Kharkiv National Medical University, Head of the Department of Fundamentals of Pediatrics No. 2, Kharkiv, Ukraine.

МОЖЛИВОСТІ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛІКУВАННЯ АТОПІЧНОГО ДЕРМАТИТУ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ КОЛЬОРОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІДЕОДЕРМАТОСКОПІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Предметом статті є дослідження кольорних характеристик відеодерматоскопічних зображень уражених ділянок шкіри дітей з atopічним дерматитом і розробка автоматизованої діагностичної системи обробки і аналізу дерматоскопічних знімків. **Метою** роботи є розробка об'єктивного методу оцінки стану шкіри дітей з atopічним дерматитом на основі чисельного аналізу зображень уражених ділянок шкіри. **Завданнями** роботи було збір анамнезу життя дітей з atopічним дерматитом, дослідження кольорних характеристик відеодерматоскопічних зображень уражених ділянок шкіри і подальша розробка автоматизованої діагностичної системи обробки і аналізу дерматоскопічної інформації. **Методи** дослідження. В ході проведених діагностичних обстежень дітей з atopічним дерматитом був зібраний анамнез життя і описаний вихідний дерматологічний статус пацієнтів. Комплексну оцінку ступеня тяжкості захворювання проводили за допомогою індексу SCORAD. Реєстрацію зображень проводили за допомогою цифрового відеодерматоскопу UM039 з оптичним збільшенням до 200 разів, дозволом сприймаємої матриці 2880×1800 елементів зображення, оснащеним вбудованим блоком регульованого світлодіодного освітлення, штативом і поворотним 3-х дюймовим дисплеєм. Фіксація зображень виконувалася на карту microSD з подальшим перенесенням даних в базу на комп'ютері. Результати проведеного дослідження, на підставі отриманих даних, дозволили оцінити інтенсивність і динаміку запальних процесів уражених ділянок шкіри дітей з atopічним дерматитом і сформулювати принципи роботи автоматизованої діагностичної системи обробки і аналізу дерматоскопічних знімків. **Висновки.** В кінці дослідження автори приходять до висновку, що для спостереження за станом шкіри при лікуванні atopічного дерматиту можна застосовувати аналіз кольорних компонент уражених ділянок в шкалі HSV, що дає можливість фахівцеві інтуїтивно спостерігати за результатами проведеної терапії в природному для людського сприйняття кольорному просторі. Як перспективою розвитку роботи автори обґрунтовують передумови розробки завершеної автоматизованої системи комплексної діагностики atopічного дерматиту та її клінічного випробування. Подібна система може дозволити на основі оцінки кольорних каналів зображень уражених ділянок шкіри і додаткових діагностичних даних сформувати попередній діагноз і визначити ступінь тяжкості захворювання.

Ключові слова: atopія; дерматит; яскравість; HSV; колір.

ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЧЕНИЯ АТОПИЧЕСКОГО ДЕРМАТИТА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИДЕОДЕРМАТОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Предметом статьи является исследование цветовых характеристик видеодерматоскопических изображений пораженных участков кожи детей с atopическим дерматитом и разработка автоматизированной диагностической системы обработки и анализа дерматоскопических снимков. **Целью** работы является разработка объективного метода оценки состояния кожи детей с atopическим дерматитом на основе численного анализа изображений пораженных участков кожи. **Задачами** работы являлось сбор анамнеза жизни детей с atopическим дерматитом, исследование цветовых характеристик видеодерматоскопических изображений пораженных участков кожи и дальнейшая разработка автоматизированной диагностической системы обработки и анализа дерматоскопической информации. **Методы** исследования. В ходе проведенных диагностических обследований детей с atopическим дерматитом был собран анамнез жизни и описан исходный дерматологический статус пациентов. Комплексную оценку степени тяжести заболевания проводили с помощью индекса SCORAD. Регистрацию изображений проводили с помощью цифрового видеодерматоскопа UM039 с оптическим увеличением до 200 раз, разрешением воспринимающей матрицы 2880×1800 элементов изображения, оснащенный встроенным блоком регулируемого светодиодного освещения, штативом и поворотным 3-х дюймовым дисплеем. Фиксация изображений выполнялась на карту microSD с последующим переносом данных в базу на компьютере. **Результаты** проведенного исследования, на основании полученных данных, позволили оценить интенсивность и динамику воспалительных процессов пораженных участков кожи детей с atopическим дерматитом и сформулировать принципы работы автоматизированной диагностической системы обработки и анализа дерматоскопических снимков. **Выводы.** В конце исследования авторы приходят к выводу, что для наблюдения за состоянием кожи при лечении atopического дерматита можно применять анализ цветовых компонент пораженных участков в шкале HSV, что дает возможность специалисту интуитивно наблюдать за результатами проводимой терапии в естественном для человеческого восприятия цветовом пространстве. В качестве перспектив развития работы авторы обосновывают предпосылки разработки завершеной автоматизированной системы комплексной диагностики atopического дерматита и ее клинического испытания. Подобная система может позволить на основе оценки цветовых каналов изображений пораженных участков кожи и дополнительных диагностических данных сформировать предварительный диагноз и определять степень тяжести заболевания.

Ключевые слова: atopія; дерматит; яркость; HSV; цвет.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Аврунін О. Г., Трубіцин О. О., Ісаєва О. А., Клименко В. А. Возможности оцінки ефективності лікування atopічного дерматиту на основі аналізу кольорових характеристик відеодерматоскопічних зображень. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 127–133. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.127>.

Avrunin, O., Trubitsin, A., Isaeva, O., Klymenko, V. (2020), "Possibilities for assessing the effectiveness of treatment of atopіc dermatitis based on an analysis of color characteristics of video dermatoscopic images", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 127–133. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.127>.

A. KOVTUN, V. TABUNENKO, S. NESTERENKO

THE MECHANISM OF VIBRATIONAL MOVEMENT OF TANGENT STRUCTURES IN CLOSED VOLUMES

The **subject** of research in the article is the process of vibratory movement of tangent structures in closed volumes (pipes). The **purpose** of this work is to investigate the mechanism of vibrational movement of tangent structures in closed volumes (pipes). The following **tasks** are solved in the article: to study the oscillating motion of a tangent structure consisting of a cantilever rod with a fixed end at the base, and by means of supports connected by dry friction with two parallel rough planes; the experimental method confirms the possibility of vibrational movement of the inner element of the tangent structure along the cylinder. The following **methods** are used: mathematical modeling and experimental study. The following **results** were obtained: a mathematical model of motion of a tangent structure is proposed, consisting of a cantilever rod with a fixed end, which by means of supports is connected by the force of dry friction with two parallel rough planes when applying a vibrating force perpendicular to the longitudinal axis of the structure; confirmed the possibility of vibration movement of the inner element of the tangent structure (cantileverly mounted rod in a cylindrical basis) along the outer element of the tangent structure (cylinder) when applying a vibrating force perpendicular to the longitudinal axis of the rod. **Conclusions:** 1) the effect of forced oscillations on tangent structures with structural asymmetry of the inner element of the tangent structure may cause the effect of vibrating movement of the inner element of the tangent structure relative to the outer element; 2) possible vibration movement of the inner element of the tangent structure (cantileverly mounted rod in a cylindrical basis) along the outer element of the tangent structure (cylinder) at an angle between the longitudinal axis of the inner element and the direction of external vibration force, which is equal to 90°; 3) possible stopping of the inner element of the tangent structure, in the absence of the action of external vibrating force, in the place of the outer cylinder, in which the effect of the external vibrating force has stopped.

Keywords: vibration displacement; effect; frequency; fluctuation; tangent construction, friction force; internal element; external element; cylinder.

Introduction

Modern multi-series production in various industries is based on the current method with extensive use of automatic transport lines [1]. The current method of production and operation of the automatic line are based on the conveyor transfer of products from one technological operation to another, while the necessary operations are performed sequentially on a moving conveyor. One of the types of production lines is vibrating conveying machines. The advantages of transporting vibrating machines are the possibility of complete sealing during transportation of sawdust, toxic and hot cargo, the ability to perform other technological operations in conjunction with transportation, low wear of the load-bearing body. Vibrating conveyors are one of the main means of complex mechanization, automation of transport and loading and unloading operations, with a combination of other technological operations. The operation of vibrating conveyors is based on the effect of vibrating movement. Under the effect of vibrational movement means the emergence of directed in the average movement due to undirected in the average (oscillating) effects [2, 3].

To obtain vibrational movement, one or another asymmetry of the system is required. We can distinguish the following types of asymmetry: force, kinematic, structural (constructive), gradient, wave and initial (ie associated with the initial conditions of motion). It is also possible to combine several types of asymmetry [3, 4].

The vibrating conveyor in general is an open or closed sealed gutter or pipe suspended or supported on a supporting structure. The gutter or pipe with the help of the oscillator is reported reciprocating motion, as a result of which the load in the gutter, one after another short movements forward at a certain speed. The nature of the

movement of the load depends on the mode of movement of the gutter, which is determined by the design and performance of the drive, the type of support devices, external loads and internal resistances of the oscillating system [2].

The process of vibratory movement of the product consists of a number of alternating stages: acceleration, joint movement of products with the gutter (pipe), free flight and braking. Vibration displacement modes are determined by the amplitude of oscillations, the frequency of oscillations, the angle of inclination of the working body and the angle of inclination and the shape of the trajectory of oscillations, and so on. As a result, the product moves on the working body by micro throws under the action of directed oscillations (at an angle of 20... 35°) to the axis of the working body (gutter, pipe, etc.) in a given direction [1–3].

The main advantages of the vibrating conveyor are [1]:

- simple design;
- no contamination of the moved material with foreign substances;
- no material losses;
- the load-bearing body is practically not prone to wear even when transporting abrasive materials;
- the ability to combine the process of moving material with technological operations.

At the same time, the vibrations of mechanisms and machines have a negative impact on the operation of equipment and devices, reduce the durability of technical systems, and create dangerous working conditions for maintenance personnel. In general, the area of manifestation of vibrational interactions can be attributed to a fairly developed direction of modern machine dynamics.

These machines have already become widespread in a number of industries [1]. However, the flow of new ideas and proposals for the development of vibrating transport devices is not exhausted. Vibrating transport devices began to be used in the food industry in the purification of food and seed grains, as well as in mining and processing enterprises in the separation of ore from waste rock, etc. [4-7].

Of interest is the device for vertical movement of the product, proposed by R.M. Brumberg (fig. 1) [8].

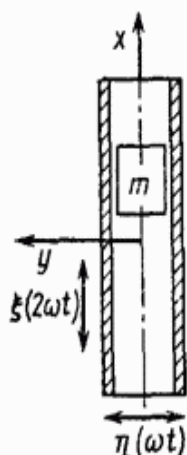


Fig.1. Device for vertical movement of the product

The vibrating body is made in the form of a tube, which is given longitudinal and transverse oscillations, and the frequency of longitudinal oscillations is twice the frequency of transverse oscillations. When the oscillations are properly phased, the longitudinal force of inertia acting on the product in its relative motion is directed upwards precisely at the time intervals when the product is least pressed against the pipe walls by the action of the transverse force of inertia. During the time when the longitudinal force of inertia is directed downwards, the product is most strongly pressed against the walls of the pipe. As a result, a vibrating force arises, which provides a directed upward movement against the action of gravity.

However, the disadvantage of these designs is that the vibration is applied to the entire gutter (pipe) with the products, at an angle of 20 to 400, and in the device for vertical movement of the product (at an angle of 900), after excluding the vibrators, the product (internal body), under the action of gravity, falls down.

Analysis of recent research and publications

The theoretical basis of the direction of application of vibration to the movement of products is formed at the junction of theoretical mechanics, theory of mechanisms and machines, theory of oscillations, theory of vibrational movement, theory of vibrational processes [1-3, 8]. Significant sections of the theory of vibrational processes relate to the field of nonlinear mechanics, nonlinear theory of oscillations and waves [9, 10]. Attention to the issues of vibrational displacement is emphasized when considering individual problems of machine dynamics [11, 12]. Vibration processes are diverse, as well as forms of influence on the dynamic state of technical objects. The

emergence of new design and technical solutions, the development of new classes of machines, which include robotic devices for various purposes, initiate the expansion of research. In this regard, the processes of contact interaction of solids are important [13]. Such processes are studied as vibro-shock, which find expression in the development of technical applications related to improving the reliability of parts operating under conditions of intense dynamic loading.

In addition, the processes of optimal control of a new class of mobile mechanisms (robots) that can move in environments that resist without special propellers (wheels, tracks) are promising. Such robots consist of a body that interacts with the external environment, and products that are movably connected to it. The movement of these products relative to the body characterizes the internal degrees of freedom of the robot. Such products are called internal, although they can be placed structurally inside the case. Internal products interact with the housing using forces generated by the drives. Adding force to the internal product causes a reaction force that acts on the housing, changing its speed, which causes a change in the resistance force of the medium to the movement of the housing. Thus, by controlling the movement of internal products, you can control the external force acting on the body and, as a result, the movement of the system as a whole. This principle of movement is suitable for mobile mini and micro robots. The body of these robots can be made sealed and smooth, does not contain protruding parts, which allows them to be used for non-destructive inspection of miniature technical objects, such as thin-walled pipelines of small diameter. Mobile systems that move and resist in the environment due to the movement of internal products attract the attention of not only specialists in robotics, but also researchers and engineers in the fields of vibration and precision mechanics [14-17]. In many cases, the vibration effect is considered as a factor of influence on the state of interacting parties. To a lesser extent, the features of friction bonds that are characteristic of technological processes of vibration displacement, vibration strengthening, and vibration transportation, associated with the contact of touching products and the resulting effects, have been studied.

The **purpose** of the article is to investigate the mechanism of vibrational movement of tangent structures in closed volumes (pipes).

Problem solving. (Presenting main material)

The study of the effect of vibration load on the dynamic properties of the elements of tangential structures will be carried out taking into account the fact that tangential structures are nonlinear mechanical systems in which nonlinearity is due to the presence of forces such as dry friction. Therefore, despite the fact that a number of applied problems of the theory of mechanical oscillations, under certain assumptions, can be solved in a linear formulation, for the study of the dynamics of tangential structures linear formulation is unacceptable. The main difficulty in solving problems of the theory of oscillations

in the presence of forces such as dry friction is not due to the analytical nature of their characteristics, the differential equations of motion at individual stages are written in different analytical forms. As a rule, at each stage the equations are quite easily integrated. The main difficulty is the search for moments of transition from one stage of movement to another. The general laws of the influence of vibration on the dynamic behavior of nonlinear mechanical systems must be reflected in the oscillations of tangent structures.

Fig. 2 shows a diagram of a single-mass model of a tangent structure placed between two rough planes: the upper 1 and the lower 2.

The mathematical model of the motion of the mass m in the projections on the axis OX and OY associated with the vibrating planes will be as follows:

$$\begin{cases} m \cdot \ddot{x} = m \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t \cdot \cos \beta + F_1 + F_2 \\ m \cdot \ddot{y} = m \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t \cdot \sin \beta - N_1 - m \cdot g + N_2. \end{cases}$$

$$F_1 = \begin{cases} -f_1 \cdot N_1 \cdot \text{sign} \dot{x} & \dot{x} > 0 \\ f_1 \cdot N_1 \cdot \text{sign} \dot{x} & \dot{x} < 0 \\ f_{10} \cdot N_1 & \dot{x} = 0 \end{cases}; \quad F_2 = \begin{cases} -f_1 \cdot N_2 \cdot \text{sign} \dot{x} & \dot{x} > 0 \\ f_1 \cdot N_2 \cdot \text{sign} \dot{x} & \dot{x} < 0 \\ f_{10} \cdot N_2 & \dot{x} = 0 \end{cases}. \quad (1)$$

where F_1 is the friction force between the upper support and the upper plane, H; F_2 is the friction force between the lower support and the lower plane, H; N_2 – normal reaction between the lower support and the lower plane, H; N_1 is the normal reaction between the upper support and the upper plane, H; \ddot{x} – acceleration of the mass m along the X axis, m/s^2 ; \ddot{y} – acceleration of the mass m along the Y axis, m/s^2 ; g – acceleration of gravity, m/s^2 ; \dot{x} – velocity of mass m along the x -axis, m/s ; ω – frequency of external force F , Hz ; β – angle of action of external force F , Grad. ; t – time, s ; A – amplitude of forced oscillations, m ; f_1 is the effective coefficient of dry friction between the mass supports m and the rough planes; f_{10} is the effective coefficient of dry friction at rest between the supports of mass m and rough planes.

The written system of equations is a nonlinear system of ordinary differential equations with periodic coefficients, which allows numerical integration. System analysis allows you to describe the process that is happening. Let's consider the action of forces, starting from $t=0$, when the force of inertia is zero, and then begins to increase in absolute value, being directed forward (in the direction of the X axis) up (the force F acts). During the first half of the period, while $0 < t < \pi/\omega$, the horizontal component of the inertia force is directed along the X axis, tends to shift the mass m to the right. This is facilitated by the vertical component of the force of inertia, which, subtracting from the weight, reduces the normal response of N_2 to the value $m \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t \cdot \sin \beta$ and, thus, reduces the modulus of friction force F_2 . In this case, the friction force F_1 increases by the same amount. Normal reactions in this case are determined by expression:

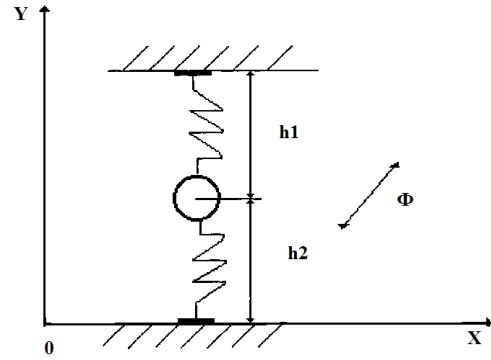


Fig. 2. Scheme of vibrational displacement of a single-mass model of a tangent structure

$$N_2 = k \cdot (\Delta y_2 - y) + m \cdot g - m \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t \cdot \sin \beta; \quad (2)$$

$$N_1 = k \cdot (\Delta y_1 - y) + m \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t \cdot \sin \beta,$$

where Δy_1 , Δy_2 is the value of the pre-compression of the upper and lower elastic elements of the model, m ; k is the stiffness of the elastic elements of the model, N/m .

As a result, the horizontal component of the force of inertia $m \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \cos \omega t \cdot \cos \beta$ on the shoulder h_1 will create a moment that is directed counterclockwise. The force of friction F_2 on the shoulder $(h_1 + h_2)$ will create a moment that prevents the rotation of the inner element of the structure. If the condition $F_2 \cdot (h_1 + h_2) = h_1 \cdot m \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t \cdot \cos \beta$ is met, the lower (2) support will be displaced in the positive direction of the X axis.

During the second half of the period, when $\pi/\omega < t < 2\pi/\omega$, the force of inertia is directed in the opposite direction and its horizontal component tries to shift the mass m to the left. In this case, the vertical component of the inertia force reduces the normal reaction N_1 and increases the normal reaction N_2 . The friction force F_1 decreases, the friction force F_2 increases. The horizontal component of the force of inertia I_g on the shoulder h_2 creates a moment that is directed clockwise. The friction force F_1 on the shoulder $(h_1 + h_2)$ creates a moment that resists the rotation of the inner element of the structure. If the condition $F_1 \cdot (h_1 + h_2) = h_2 \cdot m \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t \cdot \cos \beta$ is met, the upper (1) support will be displaced in the negative direction of the X axis.

As a result, the directional movement of the tangent structure in the form of mass m on the elastic supports

relative to the rough planes will not occur. Thus, in contrast to the classical problem of body motion on a vibrating rough plane, a necessary and sufficient condition for vibration is the presence of friction between a point and a plane obeying Coulomb's law and excitation asymmetry (difference of vibration angle from $\pi/2$ and from 0), these conditions do not lead to vibrational displacement of the elementary tangent structure (mass connected by elastic supports with two rough parallel planes). To carry out the process of vibrational movement of the elements of tangent structures relative to each other, a prerequisite is the presence of structural asymmetry of the model.

Consider the process of vibrational movement of a tangent structure, the scheme of which is shown in fig. 3.

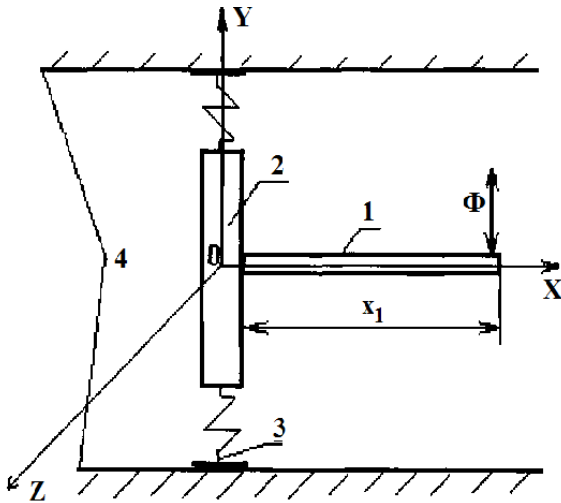


Fig. 3. Scheme of the tangent structure of the cantilever type

Fig. 2 presents a tangent structure that consists of a cantilever rod 1 with the end fixed in the base 2. The base of the beam 2 is connected by means of supports 3 by the force of dry friction with two parallel rough planes. Let's link the core of the rod to the XOY coordinate system. Let the rod be affected by a harmonic force F , which is directed perpendicular to the rod, applied at a distance X_1 from the base. Consider the first half of the period when the force F is directed towards the negative values of the Y axis (down). In this case, the rod starts moving in the same direction. As the rod moves down, the friction force between the lower support and the lower plane F_1 will increase, and between the upper support and the upper plane F_2 will decrease. The force F on the shoulders of X_1 will result in a pair of friction forces F_1 and F_2 . The force F_2 is directed toward the negative X -axis value (left), and the force F_1 in the direction of the positive X -axis (right). Since $|F_2| < |F_1|$, the resultant of these forces will be directed towards the positive values of the X axis and is not equal to 0. The resulting friction force on the shoulder r will result in a moment relative to the axis that passes through the lower support, which will lead to a micro-rotation of the rod base in the XOY plane relative to the axis that passes through the lower support. At the change the direction of the force F (the second half of the

period) the direction and magnitude of the friction forces F_1 and F_2 also changes. The force F_1 is directed toward negative values of X -axis and the force F_2 in the direction of the positive x -axis. Since the rod is moving up, $|F_2| > |F_1|$. In this case, the resulting friction force is directed towards the positive values of the x -axis. The resulting friction force on the shoulder r will lead to a micro-rotation of the rod base relative to the axis passing through the upper support. Therefore, for any direction of action of the force F along the Y axis, the resulting friction force will be directed in one direction. The action of this force on the shoulder r leads to the process of vibrational movement of the rod base along parallel planes.

Based on the considered process of vibrational movement of elements of tangent structures, the following mathematical model of motion of inner element of tangent structure relative to outer element (in the form of two parallel rough planes) under the action of forced oscillations directed perpendicular to outer planes is proposed (fig. 2). The harmonic force F acts on the rod, which is directed perpendicular to the longitudinal axis of the rod.

The equation of motion of the inner element of the tangent structure relative to the outer is represented in the form:

$$m_1 \cdot \ddot{\varphi} = M_f + M_\varphi, \quad (3)$$

$$\Delta x = d \cdot \text{tg}(\varphi), \quad (4)$$

$$x_i + 1 = x_0 + \Delta x_i, \quad (5)$$

where m_1 is the mass moment of inertia of the base, $kg \cdot m^2$; M_φ – the moment created by the force F on the shoulder X_1 , relative to the axis, $n \cdot m$; φ is the angle of rotation of the base, at the plane XOY, Grad.; M_f – moment of friction forces, $n \cdot m$; Δx_i – change in the movement of the base along the X axis, m ; d is the distance between the outer planes, m

$$M_\varphi = X_1 \cdot F \quad (6)$$

$$M_f = f \cdot d \cdot \left(2 - \frac{A \cdot \omega^2}{|(p^2 - \omega^2) \cdot \Delta y|} \right) \cdot k \cdot \Delta y, \quad (7)$$

where p – natural oscillation frequency of the cantilever rod.

If $M_\varphi \leq M_{f0}$, then $x=0$, there is no movement of the rod base along parallel planes.

And if $M_\varphi > M_{f0}$, then the process of vibrational movement of the internal element of the tangent structure relative to the external one takes place.

Experimental studies carried out on the experimental setup shown in fig. 4 confirmed the possibility of vibrational movement of the inner element of the tangent structure (cantilevered rod in a cylindrical base) along the outer element of the tangent structure (cylinder) when applying vibration perpendicular to the longitudinal. In

this case, the inner element of the tangent structure was subjected to vibration. Experimental studies have shown that it is possible to change the direction of motion, both by changing the forced frequency of oscillations, and by changing the coordinates of the point of application of external harmonic force. As for the magnitude of the force

under which the movement of the inner element of the tangent structure relative to the cylinder, it is about 20% of the dry friction force between the supports of the inner element of the tangent structure and the cylinder in the absence of oscillations of the tangent structure.

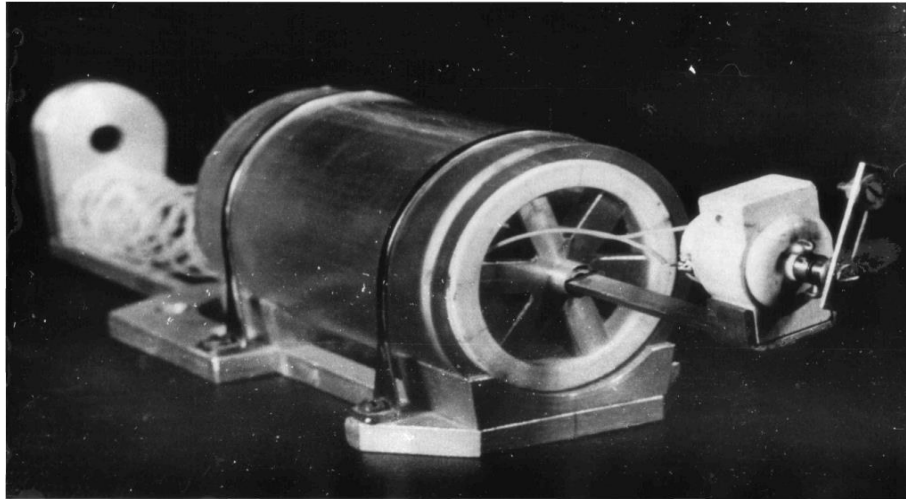


Fig. 4. General view of the experimental model of the tangent structure

In addition, experimental studies have revealed the possibility of vibrating movement of the inner element of the tangent structure (cantilevered rod in a cylindrical base) along the outer element of the tangent structure (cylinder) with the vertical placement of the experimental installation. But in contrast to the device of R.M. Brumberg, when the external vibrating force stops, the inner element of the tangent structure, due to the friction force of rest, stops in the place relative to the cylinder in which the external vibrating force stopped (the base with the rod does not fall down the pipe).

Conclusions

Analysis of research results allows us to draw the following conclusions:

1) under the action of forced oscillations on tangent structures with structural asymmetry of the inner element

of the tangent structure, the effect of vibrational movement of the inner element of the tangent structure relative to the outer element is possible;

2) it is possible to vibrate the inner element of the tangent structure (cantilevered rod in a cylindrical base) along the outer element of the tangent structure (cylinder) at an angle between the longitudinal axis of the inner element and the direction of external vibration force equal to 90°;

3) it is possible to stop the inner element of the tangent structure, in the absence of external vibrating force, in the place of the outer cylinder, where the external vibrating force has stopped.

Further research is related to the development of technology for vibratory movement of goods over long distances based on the considered effect of vibration movement of tangent structures.

References

- Goncharevich, I., Frolov, K. (1998), *The theory of vibration technique and technology*, [Theory of vibration technique and technology], Moscow, Nauka, 320 p.
- Blekhman, I. (1994), *Vibration mechanics*, [Vibratory mechanics], Moscow, Fizmatlit, 400 p.
- Blekhman, I., Dzhanelidze, G. (1964), *Vibrational displacement*, [Vibration movement], Moscow, Nauka, 410 p.
- Godlewski, S., Tekiel, A., Piskorz, W., Zasada, F. et al. (2012), "Supramolecular ordering of PTCDA molecules: The key role of dispersion forces in an unusual transition from physisorbed into chemisorbed state", *ACS nano*, Vol. 6, No. 10, P. 8536–8545.
- Mikulionok, I. O. (2011), "Pretreatment of recycled polymer raw material", *Russian Journal of Applied Chemistry*, Vol. 84, No. 6, P. 1105–1113.
- Hopkins, J. C., Podgornik, R., Ching, W.-Y., French R. H. et al. (2015), "Disentangling the effects of shape and dielectric response in van der Waals interactions between anisotropic bodies", *The Journal of Physical Chemistry*, Vol. 119, No. 33, P. 19083–19094.
- Tawfick, S., De Volder, M., Copic, D., Park, S.J. et al. (2012), "Engineering of Micro-and Nanostructured Surfaces with Anisotropic Geometries and Properties", *Advanced Materials*, Vol. 24, No. 13, P. 1628–1674.
- Vibration in technology: a reference. In 6 t. / Ed. Advice: V.N. Chelomei (previous), [Vibrations in Engineering: A Handbook] Moscow, Mechanical Engineering, 1981. Vol. 4. Vibration processes and machines, 509 p.
- Blekhman, I. (2004), "About two resonant effects under the influence of high-frequency vibration on nonlinear systems", ["About two resonant effects under the influence of high-frequency vibration on nonlinear systems", *Chemical Industry*, Vol. 81, No. 7, P. 329–331.

10. Vibrations in technology: Handbook in 6 volumes. T.2. Oscillations of nonlinear mechanical systems. / Ed. I.I. Blekhan, [Vibrations in technology: a Handbook in 6 volumes T.2. Oscillations of nonlinear mechanical systems], Moscow, Engineering, 1979, 351 p.
11. Vasiliev, A., Machikhin, S., Strelyukhina, A., Ospanov, A. (2017), "Particle motion along a non-harmonically oscillating plane", *Storage and processing of agricultural raw materials*, No. 8, P. 36–46.
12. Vasiliev, A., Bredikhin, S., Andreev, V. (2019), "On the issue of vibrational displacement during inharmonic vibrations of the working surface", *Processes and Food Production Equipment "To the question of vibrational displacement during inharmonic oscillations of the working surface"*, No. 2, P. 42–48.
13. Eliseev, A., Eliseev, S. (2014), "Determination of contact reactions in composite solids under dynamic loads taking into account non-holding bonds", *Modern technologies. System analysis, [Determination of contact reactions in composite solids under dynamic loads taking into account non-holding bonds], Modern technologies. System analysis. Modeling, Modeling, - No. 1, P. 45–54.*
14. Chernousko, F., Bolotnik, N. (2010), "Mobile robots controlled by the movement of internal bodies", *Transactions of Institute of Mathematics and Mechanics*, Vol. 16, No. 5, P. 213–222.
15. Breguet, J.-M., Clavel, R. (1998), "Stick and slip actuators: design, control, performances and applications", *Proc. Inter. Symp. on Micromechatronics and Human Science (MHS), IEEE*, N.Y., P. 89–95.
16. Schmoedel, F., Worn, H. (2001), "Remotely controllable mobile microrobots acting as nano positioners and intelligent tweezers in scanning electron microscopes (SEMs)", *Proc. Inter. Conf. on Robotics and Automation, IEEE*, N.Y., P. 3903–3913.
17. Vartholomeos, P., Papadopoulos, E. (2006), "Dynamics, design and simulation of a novel microrobotic platform employing vibration microactuators", *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, Vol. 128, No. 1, P. 122–133.

Received 04.05.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ковтун Анатолій Васильович – кандидат технічних наук, доцент, Національна академія Національної гвардії України, доцент кафедри бойового та логістичного забезпечення, Харків, Україна; email: kav-60@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8427-1005>.

Ковтун Анатолій Васильевич – кандидат технических наук, доцент, Национальная академия Национальной гвардии Украины, доцент кафедры боевого и логистического обеспечения, Харьков, Украина.

Kovtun Anatoliy – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, National Academy of National Guard of Ukraine, Associate Professor of the Department of Combat and Logistics, Kharkiv, Ukraine.

Табуненко Володимир Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, старший викладач кафедри електротехнічних систем комплексів озброєння та військової техніки. Харків, Україна; email: tabunenko55@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1347-5390>.

Табуненко Владимир Александрович – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени И. Кожедуба, старший преподаватель кафедры электротехнических систем комплексов вооружения и военной техники, Харьков, Украина.

Tabunenko Volodymyr – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Kharkiv National University of the Air Force, Senior Lecturer of the Department of Electrical Systems Systems of Weapons and Military Equipment, Kharkiv, Ukraine.

Нестеренко Сергій Іванович – кандидат технічних наук, доцент, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", доцент кафедри автомобілів та транспортної інфраструктури, Харків, Україна; email: nesterenko.geo@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3119-9887>.

Нестеренко Сергей Иванович – кандидат технических наук, доцент, Национальный аэрокосмический университет им. М.Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт", доцент кафедры автомобилей и транспортной инфраструктуры. Харьков, Украина.

Nesterenko Sergiy – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, National Aerospace University. M.E. Zhukovsky Kharkiv Aviation Institute, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Infrastructure. Kharkiv, Ukraine.

МЕХАНІЗМ ВІБРАЦІЙНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ ДОТИЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ В ЗАМКНУТИХ ОБ'ЄМАХ

Предметом дослідження в статті є процес вібраційного переміщення дотичних конструкцій в замкнутих об'ємах (трубах). **Мета** роботи – дослідити механізм вібраційного переміщення дотичних конструкцій в замкнутих об'ємах (трубах). В статті вирішуються наступні **завдання**: провести дослідження коливального руху дотичної конструкції, що складається з консольного стрижня з закріпленням на основі кінцем, і за допомогою опор пов'язаний силою сухого тертя з двома паралельними шорсткими площинами; експериментальним методом підтверджується можливість вібраційного переміщення внутрішнього елемента дотичної конструкції вздовж циліндру. Використовуються такі **методи**: математичного моделювання та експериментального дослідження. Отримано наступні **результати**: запропонована математична модель руху дотичної конструкції, яка складається з консольного стрижня з закріпленням у основі кінцем, що за допомогою опор пов'язана силою сухого тертя з двома паралельними шорсткими площинками при прикладанні вібраційної сили перпендикулярно поперечній осі конструкції; підтверджена можливість вібраційного переміщення внутрішнього елемента дотичної конструкції (консольно закріпленого стрижня в циліндричній основі) вздовж зовнішнього елемента дотичної конструкції (циліндру) при прикладанні вібраційної сили перпендикулярно поперечній осі стрижня. **Висновки**: 1) при дії вимушених коливань на дотичні конструкції з конструктивною асиметрією внутрішнього елемента дотичної конструкції можливе виникнення ефекту вібраційного переміщення внутрішнього елемента дотичної конструкції відносно зовнішнього елемента; 2) можливе здійснення вібраційного переміщення внутрішнього елемента дотичної конструкції (консольно

закріпленого стержня в циліндричній основі) вздовж зовнішнього елементу дотичної конструкції (циліндру) при куті між повздовжньою віссю внутрішнього елементу та напрямком дії зовнішньої вібраційної сили, який дорівнює 90° ; 3) можлива зупинка внутрішнього елементу дотичної конструкції, при відсутності дії зовнішньої вібраційної сили, в тому місці зовнішнього циліндра, в якому припинилась дія зовнішньої вібраційної сили.

Ключові слова: вібрація; переміщення; ефект; частота; коливання; дотична конструкція, сила тертя; внутрішній елемент; зовнішній елемент; циліндр.

МЕХАНИЗМ ВІБРАЦІЙНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ СОПРИКАСАЮЩИХСЯ КОНСТРУКЦІЙ В ЗАМКНУТИХ ОБ'ЄМАХ

Предметом дослідження в статті є процес вібраційного переміщення соприкасаючихся конструкцій в замкнутих об'ємах (трубах). **Цель** роботи – дослідити механізм вібраційного переміщення соприкасаючихся конструкцій в замкнутих об'ємах (трубах). В статті вирішуються наступні **задачі**: провести дослідження коливального руху касательної конструкції, що складається з консольного стержня з закріпленим на основі кінцем, і з допомогою опору зв'язаного силою сухого тертя з двома паралельними шерохуватими площинами; експериментальним методом підтверджується можливість вібраційного переміщення внутрішнього елемента касательної конструкції вздовж циліндра. Використовуються наступні **методи**: математичного моделювання і експериментального дослідження. Отримані наступні **результати**: запропонована математична модель руху соприкасаючоїся конструкції, що складається з консольного стержня з закріпленим на основі кінцем, з допомогою опору зв'язаного силою сухого тертя з двома паралельними шерохуватими площинами при прикладенні вібраційної сили перпендикулярно до осі стержня; підтверджено можливість вібраційного переміщення внутрішнього елемента соприкасаючоїся конструкції (консольно закріпленого стержня в циліндричній основі) вздовж зовнішнього елемента соприкасаючоїся конструкції (циліндра) при прикладенні вібраційної сили перпендикулярно до осі стержня. **Висновки**: 1) при дії зовнішньої вимушеної коливання на соприкасаючоїся конструкції з конструктивної асиметриєю внутрішнього елемента соприкасаючоїся конструкції можливо виникнення ефекту вібраційного переміщення внутрішнього елемента соприкасаючоїся конструкції відносно зовнішнього елемента; 2) можливо здійснення вібраційного переміщення внутрішнього елемента соприкасаючоїся конструкції (консольно закріпленого стержня в циліндричній основі) вздовж зовнішнього елемента соприкасаючоїся конструкції (циліндра) при куті між дою осі внутрішнього елемента і напрямком дії зовнішньої вібраційної сили, рівним 90° ; 3) можлива зупинка внутрішнього елемента соприкасаючоїся конструкції, при відсутності дії зовнішньої вібраційної сили, в тому місці зовнішнього циліндра, в якому припинилась дія зовнішньої вібраційної сили.

Ключевые слова: вібрація; переміщення; ефект; частота; коливання; соприкасаючася конструкція, сила тертя; внутрішній елемент; зовнішній елемент; циліндр.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Ковтун А. В., Табуненко В. О., Нестеренко С. І. Механізм вібраційного переміщення дотичних конструкцій в замкнутих об'ємах. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 134–140. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.134>.

Kovtun, A., Tabunenko, V., Nesterenko, S. (2020), "The mechanism of vibrational movement of tangent structures in closed volumes", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 134–140. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.134>.

УДК 629.7.01

DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.141>

В. М. Кривонос, О. О. Клімшен, О. В. Цемма, Р. В. Василенко

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ УСУНЕННЯ ЛЬОДОУТВОРЕННЯ НА ЕЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРТОЛЬОТУ

Предметом дослідження в статті є підходи щодо вдосконалення системи захисту елементів конструкції військово-транспортного вертольоту від льодоутворення. **Мета** роботи – розробка пропозицій стосовно вдосконалення найбільш енергоємної системи зі складу авіаційного обладнання військово-транспортного вертольоту, а саме протизледенільної системи на підставі аналізу як можливо більшого числа її компонентів. В статті вирішуються наступні **завдання**: аналіз сучасних систем боротьби з обледенінням (насамперед тих, що використовуються в промислових установках, та на закордонних вертольотах), розробка дублюючої системи обігріву скла кабіни екіпажу, розробка безконтактного способу передачі електроенергії на нагрівальні елементи лопатей гвинтів, розробка структурної схеми автоматичного управління протизледенільною системою. Використовуються такі **методи**: порівняльний аналіз, методи прикладної гідродинаміки та електромеханіки. Отримано наступні **результати**: сформульовані специфічні вимоги до вертолїтних систем захисту від льоду, запропонована рідинна система омивання скла кабіни екіпажу у якості дублюючої системи для електрообігріву, запропонована схема системи управління 6-ті секційною протизледенільною системою за допомогою комбінованого сигналізатора льодоутворення. **Висновки**: впровадження повністю автоматичної системи усунення льоду у складі авіаційного обладнання вертольоту, яка значно розвантажить екіпаж, обов'язково передбачає використання у своєму складі комплексного датчику (групи вимірювачів). Це дасть можливість системі реагувати не тільки на появу певного шару льоду на чутливій поверхні, а ще й на параметри навколишнього середовища, при яких можливо виникнення такого небезпечного явища як обледеніння елементів конструкції вертольоту. Модернізація системи боротьби з льодоутворенням на елементах конструкції вертольоту буде ефективною лише при комплексному підході до вдосконалення усіх її складових частин разом з розробкою дублюючих систем усунення льоду.

Ключові слова: протизледенільна система; льодоутворення; зледеніння; лопаті гвинтів; безконтактна передача; безпека польотів; резервування; рідина; скло кабіни; комплексний датчик.

Вступ

Кожен політ повітряного судна можна розглядати з точки зору забезпечення його безпеки під час виконання польотного завдання. Безпека польоту забезпечується, якщо при відмові якої-небудь системи вертольоту може бути здійснена посадка хоча б на найближчому аеродромі. Виконання польотного завдання може бути гарантовано тільки у випадку, якщо всі життєво важливі системи будуть діяти на протязі польоту безвідмовно.

Вирішення питань безпеки польотів тісно зв'язано з вирішенням задачі захисту літального апарату від обледеніння, тому що воно призводить до вагомого погіршення його аеродинамічних характеристик, погіршенню стійкості та керованості. Крім того, обледеніння може викликати відмови ряду найважливіших агрегатів та приладів і, на сам кінець, що найбільш небезпечно, порушити роботу двигунів.

Обледеніння скла кабіни пілотів призводить до погіршення огляду закабінного простору.

Утворення льоду на лопатях гвинтів вертольоту призводить до суттєвого погіршення керованості, що значно відчувається членами екіпажу та пасажирями.

За статистикою метеоспостережень на території України 80 % загального часу у зимово-осінній період спостерігається температура навколишнього середовища нижче 00 С, при якій утворюється спочатку волога, а потім при подальшому зниженні температури – льод на металевих поверхнях повітряних суден.

За даними EASA за останні 10 років обледеніння виявилось причиною 80 авіаційних подій у світі із загибеллю 263 чоловік [1].

Все це обумовлює необхідність розробки та встановлення на борту сучасних вертольотів систем захисту від льодоутворення, а також досліджень шляхів поліпшення характеристик існуючих систем захисту від льодоутворення (рис. 1), порівняння різноманітних технічних рішень та підходів стосовно побудови систем боротьби з обледенінням елементів конструкції вертольоту.



Рис. 1. Чінок армії США моделює хмару зледеніння для перевірки ефективності функціонування системи захисту від льоду гелікоптера AW139 Agusta [2]

Крім того, характерною рисою сучасної авіаційної техніки виступає взаємозв'язок разом з взаємозалежністю різноманітних систем вертольоту.

Протизледенільні системи представляють собою складний комплекс елементів, поєднання яких утворює підсистеми, що входять, в свою чергу, у підсистеми більшої складності. Зазначене призводить до необхідності розгляду проблеми надійності повітряного судна не тільки з точки зору змін її з часом експлуатації, а ще й з врахуванням впливу відмов на виникнення аварійної ситуації та на безпосередню безпеку польотів.

Аналіз останніх досягнень та публікацій

Протизледенільні системи, які встановлені на вітчизняних повітряних суднах військового призначення, були розроблені 35-45 років тому. Зроблений аналіз сучасних систем боротьби з обледенінням (насамперед тих, що використовуються в промислових установках, та на закордонних вертольотах) показує, що у рамках загальної модернізації військових повітряних суден необхідна глибока модернізація протизледенільних систем, а особливо їх датчиків [3].

У роботі [4] описується система захисту від льодоутворення сучасного гелікоптера, який планується залучити для виконання завдань поліції у повітрі над великим містом. Вказана система працює повністю у автоматичному режимі.

У роботі [5] визначені недоліки існуючої протизледенільної системи вертольоту Ми-8, серед яких автор виділяє відсутність дублювання каналів, відсутність контролю технічного стану складових частин зазначеної системи у польоті.

Оцінка можливостей експлуатації повітряних суден здебільшого літаків в умовах обледеніння, згідно окремих сертифікаційних вимог, була зроблена у роботах [6, 7, 9, 10], також описані способи видалення крижаних відкладень з несучих поверхонь літаків. У роботах [11, 12] зроблено аналіз змін аеродинамічних характеристик повітряних суден внаслідок впливу обледеніння та пропонуються програмні комплекси для розрахунку форм крижаних відкладень у випадку двомірних [14, 15] та тримірних моделей [16].

Авторами роботи [8] проведено ретельний огляд датчиків-сигналізаторів зледеніння, визначені недоліки та переваги різноманітних технічних рішень.

У праці [13] розглянуто питання впливу в'язкості на виникнення в тупиковій області температури гальмування вище температури гальмування набігаючого потоку газу, так званого ефекту Гартмана-Шпренгера, обґрунтовується можливість розробки системи захисту від льодоутворення літального апарату, що будується на вказаному ефекті.

Аналіз вказаних праць свідчить про те, що у світі значна увага приділяється вирішенню питань забезпечення безпеки польотів у складних погодних умовах, а саме при обледенінні, продовжуються пошуки нових підходів до створення та вдосконалення

протизледенільних систем літальних апаратів. Але більшість праць із наведених присвячена системам захисту від льодоутворення літаків цивільної авіації. Якщо розглядаються вертольоти, то це переважно закордонні зразки. Більшість авторів пропонують різноманітні схеми сигналізаторів льодоутворення, визначають, що дуже важливим є визначення моменту початку льодоутворення, тобто підкреслюють окрему рису зазначених сигналізаторів – чутливість. Це безперечно є дуже важливим, але протизледенільні системи вітчизняних вертольотів повинні вдосконалюватися комплексно. Вони є складними енергоємними системами ефективність роботи яких залежить як від надійності сигналізаторів обледеніння так й від роботи системи керування каналами обігріву елементів конструкції вертольоту. Будь яка складна технічна система повинна забезпечуватися дублюванням своїх каналів.

Стосовно вертольоту Ми-8 якщо розглядати захист від льоду вхідних трактів двигунів, то там використовується як електричний обігрів так й обдув гарячим повітрям, що відбирається від компресора двигуна. Але частини протизледенільної системи, що відповідають за захист від утворення льоду лопатей несучого та рульового гвинтів та скла кабіни екіпажу не мають дублюючих систем.

По-перше, необхідно було визначити специфічні вимоги до протизледенільних систем:

- незалежність дії від зміни параметрів атмосферного повітря, особливо при температурі поверхні, що захищається 268-273 К (-5°C - 0°C) і відносної вологості 85-100%, при яких спостерігається максимальна можливість зледеніння;
- мінімум споживаної енергії;
- швидка готовність до дії і по можливості автоматичне вмикання і відключення від спеціальних сигналізаторів початку і кінця зледеніння.

По-друге, вибрати сучасні датчики які використовують різні фізичні принципи дії, такі як тепловірні сигналізатори (вимірювання ентальпії), вібраційні сигналізатори, оптичні (оптоелектронні) сигналізатори, акустичні та конденсаторні сигналізатори.

По-третє розробити структурні та принципові схеми перспективних систем [3,5].

Таким чином, **мета** статті полягає у розробці пропозицій стосовно вдосконалення найбільш енергоємної системи зі складу авіаційного обладнання військово-транспортного вертольоту, а саме протизледенільної системи на підставі аналізу як можливо більшого числа її компонентів.

Виклад основного матеріалу

У відповідності з вимогами керівних документів щодо забезпечення безпеки польотів [11, 12, 15, 16] закордонні гелікоптери обладнуються відповідними системами захисту від льодоутворення на елементах конструкції, які обов'язково передбачають дублювання усіх каналів зазначених систем та мають у своєму складі модулі, які можуть зніматися.

Наприклад, знімні генератори, які працюють тільки для живлення електронагрівальних елементів різних типів та потреба у наявності яких на борту під час нормальних погодних умов (влітку) зникає, а також електронні блоки з програмними механізмами керування та підсилювачі сигналів.

Розробки дублюючих систем захисту від льодоутворення суттєво підвищують рівень безпеки польоту у складних метеорологічних умовах й для вертольоту типу Ми-8.

Якщо розглянути електрообігрів скла кабіни екіпажу, то слід зазначити, що для запобігання утворенню льоду на склінні кабіни необхідно, щоб на кожному квадратному сантиметрі поверхні виділялося не менше 0,76 Дж/с енергії або потужність, що підводиться до скла становила приблизно 0,65 Вт/см. Джерелами тепла в стеклах кабіни служать нагрівальні елементи з поверхневими або дротяними опорами.

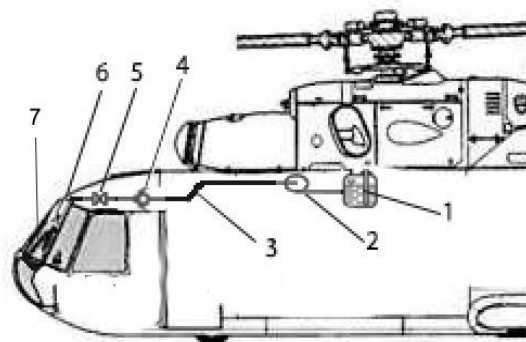
Під час тривалої експлуатації системи обігріву лобового скла льотчика на вертольоті Ми-8 спостерігалось наступне негативне явище: під час виходу з ладу нагрівального елемента обігріву, відбувалося руйнування скла, що приводило до погіршення як огляду льотчика так і характеристики міцності скла, що могло привести до його повного руйнування в польоті (рис. 2).



Рис. 2. Розтріскування скла льотчика – наслідок виходу з ладу нагрівального елемента

Крім того, оскільки жодна з складових частин протизледенільної системи вертольоту Ми-8МТ не дублюється [5], то пропонується встановити рідинну систему омиву скла кабіни екіпажу як дублювання електричної частини системи захисту від льоду стекол кабіни екіпажу. Зазначена система додатково знадобиться у разі застосування окулярів нічного бачення типу PNL-3 "Bielik" від компанії PCO SA (рис. 3).

Таким чином, захист від льоду скла кабіни екіпажу буде здійснюватися як за допомогою електрообігріву так й за допомогою рідинної системи омиву скла. Звісно це потребує встановлення додаткового обладнання (баку з рідиною та насосу) на стелі вантажної кабіни, а також трубопроводу, гумових шлангів, клапанів та крану. Рідина буде потрапляти на скло зверху через розприскувач на склоочищувач.



1 – бак з рідиною, яка має протизледенільні властивості; 2 – насос підкачки; 3 – трубопровід; 4 – зворотній клапан; 5 – кран перемикання; 6 – розприскувач протизледенільної рідини; 7 – склоочищувач.

Рис. 3. Система омивання стекол кабіни екіпажу

Також можливо встановлення заслонки з електричним приводом, яка буде спрацьовувати для подачі рідини на розприскувач за сигналом від датчика обледеніння у автоматичному режимі разом з вмиканням у роботу насосу. При цьому зберігається можливість ручного вмикання в роботу вказаної протизледенільної системи скла кабіни льотчиків, якщо фактор запотівання чи обледеніння скла буде визначено візуально.

Об'єм баку з протильодотвірною рідиною буде складати 15 літрів.

На даний час існує значна кількість рідин, які мають протизледенільні властивості, від звичайного етилового спирту до пропіленгліколю або спеціальних сумішей. Вартість таких рідин також значно варіюється – від 3 грн за літр до 300 грн за літр (рідина фірми Killfrost).

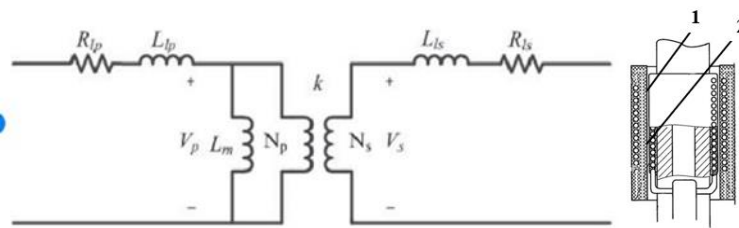
Для усунення утворення льоду на лопатях несучого та рульового гвинтів також застосовується електричний спосіб обігріву, слабким елементом якого виступає щітково-колекторний вузол струмознімача, через який подається напруга на секції нагрівальних елементів лопатей гвинтів. До струмознімача підводиться трифазна напруга змінного струму 208 В від бортових генераторів. Потужність, що витрачається на обігрів складає близько 60 кВт. Це створює велике теплове навантаження на щітково – колекторний вузол. Нагрів та тертя в свою чергу призводять до зносу кілець та щіток цього вузлу. Зазначений вузол відноситься до елементів конструкції електричної машини, що швидко зношується та який вимагає систематичного контролю і регулювання. Поряд з механічними факторами зносу особливу роль в процесі їх роботи грає тип і величина струмового навантаження. В процесі роботи вузлу під навантаженням проявляється явище електричного зносу, яке полягає в перенесенні матеріалу одного елемента на інший, іскрінні, дугоутворенні, що значно погіршує якість поверхні, збільшуючи швидкість механічного зношування. Тому в процесі експлуатації необхідно контролювати стан щіток та кілець та

своєчасно замінювати. Нестабільність розподілу струму по паралельно працюючим щіткам пояснюється нерівномірним значенням перехідного опору щітка-колектор, що вимагає частого періодичного контролю з боку обслуговуючого персоналу з використанням дорогих систем контролю та діагностики. При чому зазначений вид контролю з використанням вказаних систем здійснюється лише на землі. Окрім цього, заміна зношених деталей зазначеного вузлу є складним видом ремонту.

Для підвищення надійності роботи струмознімача, пропонується застосовувати замість щітково-колекторного вузлу безконтактний

трансформатор з магнітним полем, що обертається [17]. Такий трансформатор містить у собі ротор та статор. У пазах статора розміщується трифазна обмотка, до якої подається напруга від бортового джерела змінного струму. На роторі, що обертається разом з втулкою гвинта, розміщується обмотка з якої знімається електрична енергія для живлення нагрівальних елементів лопатей.

Таким чином, використання такого пристрою дозволить забезпечити безконтактну передачу електроенергії значної потужності для обігріву лопатей вертольоту (рис. 4).



1 – обмотка з якої знімається електроенергія, 2 – обмотка до якої підводиться напруга змінного струму

Рис. 4. Принцип безконтактної передачі електроенергії на нагрівальні елементи лопатей

Для керування 6-ті секційною протизледенільною системою вертольота пропонується побудувати наступну схему або автомат керування на основі комбінованого вимірювача льодоутворення (вібраційного датчика та терморезистору) (рис. 5).

На даний час на вертольотах Ми-8 поступово здійснюється заміна радіоізотопних датчиків-сигналізаторів РІО-3 на вібраційні датчики СО-121. Незважаючи на те, що статистика відмов радіоізотопних датчиків незначна, вибір вібраційних датчиків-сигналізаторів обумовлений як вимогами

екологічної безпеки, так й тим що вібраційні датчики вказаного типу мають незначні габаритні розміри, але достатньо вібростійкі, що дозволяє встановлювати їх у місцях наближених до двигунів, тобто у повітрозбірниках. Крім того, перевагами таких датчиків є те, що вони виключають помилкове спрацьовування при впливі дощу, снігу чи вітру. На їх роботу не впливає маневрування літального апарату, тобто різкі зміни висотно-швидкісних параметрів польоту. Випробування показали що вібраційні датчики зберігають працездатність при різноманітних типах обледеніння.

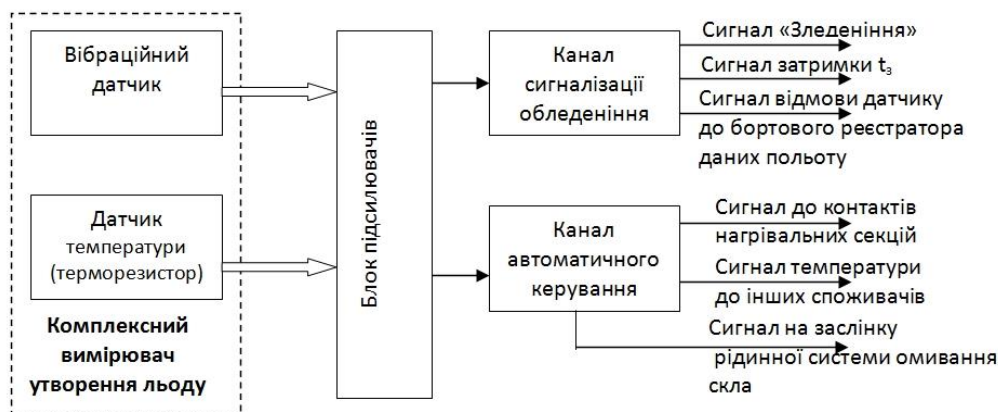


Рис. 5. Схема управління 6-ті секційною системою вертольота за допомогою комбінованого сигналізатора (вібраційний датчик та терморезистор)

Принцип дії комплексного вимірювача заснований на зміні частоти власних коливань чутливого елемента датчика - мембрани, при появі на ній льоду (частота коливань мембрани є функцією її жорсткості) разом зі зміною електричного опору термочутливого елемента від температури зовнішнього повітря з подальшим перетворенням цієї

зміни, підсиленням та видачею на програмний механізм керування типу ПМК-21.

Канал сигналізації обледеніння призначений для перетворення сигналів, що прямують з датчика та видачі сигналу "Зледеніння" при нарощенні товщини шару льоду на поверхні датчика відповідно пороговому значенню $0,4 \pm 0,1$ мм, затримці сигналу

"Зледеніння" на час 115 с після усунення льоду з датчика, а також сигналізації щодо відмови датчика.

Канал автоматичного керування вмиканням у роботу системи призначений для перетворення температури зовнішнього повітря (зміни опору терморезистору) у часові інтервали у залежності від температури та сигналізації членам екіпажу стосовно зниження температури менш ніж та, при якій не забезпечується ефективна робота системи усунення льоду з лопатей гвинтів вертольоту.

Цей канал також забезпечує видачу сигналів на вмикання у роботу нагрівальних секцій лопатей несучого та рульового гвинтів вертольоту.

Затримка сигналу t_3 на виключення обігріву датчика потрібна для забезпечення повного усунення льоду з чутливої поверхні. Затримка сигналу "Зледеніння" необхідна для забезпечення його безперервності при циклічній роботі у зоні обледеніння.

Висновки

Таким чином опираючись на досвід впровадження нових систем боротьби з льодоутворенням на гелікоптерах країн НАТО запропоновані шляхи вдосконалення системи

усунення льоду на елементах конструкції вітчизняного військово-транспортного вертольоту. Зазначено, що модернізація існуючих систем усунення льоду буде ефективною лише у разі комплексного підходу щодо розгляду всіх складових протизледенільної системи. Виявлено, що на відміну від вертольотів країн НАТО на вертольоті Ми-8МТ не можливо зробити з'ємною частину протизледенільного обладнання, особливо джерел її живлення (генераторів), але це питання може бути актуальним при розгляді перспективних систем захисту від льодоутворення на інших типах вітчизняних вертольотів.

На підставі розгляду низки технічних рішень, що пропонуються, можна зробити висновок, що впровадження повністю автоматичної системи усунення льоду у складі авіаційного обладнання вертольоту, яка значно розвантажить екіпаж, обов'язково передбачає використання у своєму складі комплексного датчику (групи вимірювачів). Це дасть можливість системі реагувати не тільки на появу створення певного шару льоду на чутливій поверхні, а ще й на параметри навколишнього середовища, при яких можливо виникнення такого небезпечного явища як обледеніння елементів конструкції вертольоту.

Список літератури

1. Icing Research Struggling with Physics, URL: <https://www.ainonline.com/aviation-news/aviation-international-news/2013-12-04/icing-research-struggling-physics> (дата звернення 27.04.2020).
2. Full Anti-icing Gear Coming Soon on AW189, URL: <https://www.ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2015-10-17/full-anti-icing-gear-coming-soon-aw189> (дата звернення 11.04.2020).
3. Вітенко С. В., Зорин Я. О., Овчарук А. В. Можливості модернізації протизледенільних систем літальних апаратів. Новітні технології – для захисту повітряного простору: зб. тез доповідей Восьмої наукової конференції Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. 12–13 квітня 2012 р. Харків, 2012. С. 92.
4. Robert W. Moorman. Different Course, Same Destination. Curtiss-Wright maintains its strong link with fixed- and rotary-wing aircraft through organic growth and key acquisition. VERTIFLITE. March/April 2016. Vol. 62, № 2. P. 18–21.
5. Громов В. С. Противообледенительная система вертолета. *Academy*. 2016. № 6 (9). С. 32–34.
6. Приходько А. А., Алексеенко С. В. Экспериментальное исследование и математическое моделирование физических процессов при обледенении аэродинамических поверхностей. XV Минский международный форум по тепло- и массообмену. 23-26 мая 2016 г. Минск, 2016. Т. 1.: тезисы докладов и сообщений. С. 386–389.
7. Ципенко В. Г., Шевяков В. И. Обеспечение безопасности полета транспортных воздушных судов с учетом новых сертификационных требований к условиям обледенения. *Научный вестник МГТУ ГА*. 2017. Т. 22, № 03. С. 45–56. DOI: <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2019-22-3-45-56>.
8. Вавилов В. Д., Суконкин А. Н. Обзор отечественных и зарубежных сигнализаторов обледенения. *Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева*. 2013. № 4 (101). С. 297–310.
9. Шевяков В. И. Решение новых задач аэродинамики в процессе сертификации самолетов транспортной категории - противообледенительная система. *Научный Вестник МГТУ ГА*. 2014. № 199. С. 74–82.
10. Долотовский А. В., Терехин В. А., Шевяков В. И., Чочиев В. А. Задачи аэродинамики при сертификации самолета SSJ-100 для условий обледенения. Материалы XXIII Научно-технической конференции по аэродинамике. 01-02 марта 2012 г. п. Володарского, 2012. С. 95.
11. Tran P., Brahimi M. T., Paraschivoiu I., Pueyo A., Tezok F. Ice accretion on aircraft wings with thermodynamic effects. 32nd Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, Reno, Nevada, AIAA-1994-0605. American Institute of Aeronautics and Astronautics. 1994. P. 9.
12. Mingione G., Brandi V. Ice accretion prediction on multielement airfoils. *Journal of Aircraft*. 1998. Vol. 35, № 2. P. 240–246.
13. Кузнецов В. И., Шандер А. Ю. Эффект Гартмана-Шпренгера и его применение на летательных аппаратах. *Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение*. 2019. Т. 3, №2. С.150–155.
14. Alekseenko S.V., Prikhod'ko A.A. Mathematical modeling of ice body formation on the wing airfoil surface. *Fluid Dynamics*. 2014. Vol. 49, № 6. P. 715–732.
15. Cao Y., Huang J., Yin J. Numerical simulation of three-dimensional ice accretion on an aircraft wing. *Intern. Journal of heat and mass transfer*. 2016. Vol. 92. P. 34–54.
16. Zhu C., Fu B., Sun Z. 3D ice accretion simulation for complex configuration basing on improved messinger model. *Intern. Journal of modern physics: inference series*. 2012. Vol. 19. P. 341–350.
17. Contact-less Transfer of Energy by means of a Rotating Transformer. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Contact-less-Transfer-of-Energy-by-means-of-a-Papastergiou-Macpherson/935b70f2e223b2229187422843ae0efb0116f033>.

References

1. Icing Research Struggling with Physics, available at : <https://www.ainonline.com/aviation-news/aviation-international-news/2013-12-04/icing-research-struggling-physics> (last accessed 27 April 2020).
2. Full Anti-icing Gear Coming Soon on AW189, available at : <https://www.ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2015-10-17/full-anti-icing-gear-coming-soon-aw189> (last accessed 11 April 2020).
3. Vitenko, S. V., Zorin, Y. O., Ovcharuk, A. V. (2012), "Possibilities of modernization anti-icing systems of aircraft" ["Mozhlyvosti modernizatsiyi protyzedenil'nykh system lital'nykh aparativ"], *8th Scientific Conference of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University: New technologies – for air space protection, April 12-13, 2012*, Kharkiv, P. 92.
4. Moorman, R. W. (2016), "Different Course, Same Destination. Curtiss-Wright maintains its strong link with fixed- and rotary-wing aircraft through organic growth and key acquisition", *The Vertical Flight Society VERTIFLITE*, Vol. 62, No. 2, P. 18–21.
5. Gromov, V. S. (2016), "Helicopter anti-icing system" ["Protivoobledenitel'naya sistema vertoleta"], *Publishing Center "Academy"*, Vol. 6 (9), P. 32–34.
6. Prikhod'ko, A. A. (2016), "Experimental research and mathematical modeling of physical processes during icing of aerodynamic surfaces" ["Eksperimental'noye issledovaniye i matematicheskoye modelirovaniye fizicheskikh protsessov pri obledeneni aerodinamicheskikh poverkhnostey"], *XV Minsk International Forum on Heat and Mass Transfer, May 23-26, Minsk*, Vol. 1, P. 386–389.
7. Tsipenko, V. G. (2017), "Ensuring flight safety of transport aircraft, taking into account new certification requirements for icing conditions" ["Obespecheniye bezopasnosti poleta transportnykh vozdushnykh sudov s uchetom novykh sertifikatsionnykh trebovaniy k usloviyam obledeneniya"], *Scientific Bulletin of MSTU CA*, Vol. 22, No. 03, P. 45–56. DOI: <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2019-22-3-45-56>.
8. Vavilov, V. D. (2013), "Review of domestic and foreign icing indicators" ["Obzor otechestvennykh i zarubezhnykh signalizatorov obledeneniya"], *Transactions of NSTU named after R.E. Alekseeva*, No. 4 (101), P. 297–310.
9. Shevyakov, V. I. (2014), "The solution of new problems of aerodynamics in the process of certification of transport category aircraft - an anti-icing system" ["Resheniye novykh zadach aerodinamiki v protsesse sertifikatsii samoletov transportnoy kategorii - protivobledenitel'naya sistema"], *Scientific Herald of the MSTU CA*, No. 199, P. 74–82.
10. Dolotovskiy, A. V. (2012), "The problems of aerodynamics during certification of the SSJ-100 aircraft for icing conditions" ["Zadachi aerodinamiki pri sertifikatsii samoleta SSJ-100 dlya usloviy obledeneniya"], *Materials of the XXIII Scientific and Technical Conference on Aerodynamics, March 01-02*, P. 95.
11. Tran, P. (1994), "Ice accretion on aircraft wings with thermodynamic effects", *32nd Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, American Institute of Aeronautics and Astronautics*, P. 9.
12. Mingione, G., Brandi V. (1998), "Ice accretion prediction on multielement airfoils", *Journal of Aircraft*, Vol. 35, No. 2, P. 240–246.
13. Kuznetsov, V. I., Shander, A. Y. (2019), "The Hartmann-Sprenger effect and its use on aircraft" ["Effekt Gartmana-Shprengera i yego primeneniye na letatel'nykh aparatakh"], *Omskiy nauchnyy vestnik. Ser. Aviatcionno-raketnoye i energeticheskoye mashinostroyeniye*, Vol. 3, No. 2, P. 150–155.
14. Alekseenko, S. V., Prikhod'ko A. A. (2014), "Mathematical modeling of ice body formation on the wing airfoil surface", *Fluid Dynamics*, Vol. 49, No. 6, P. 715–732.
15. Cao, Y., Huang, J., Yin, J. (2016), "Numerical simulation of three-dimensional ice accretion on an aircraft wing", *Intern. Journal of heat and mass transfer*, Vol. 92, P. 34–54.
16. Zhu, C., Fu, B., Sun, Z. (2012), "3D ice accretion simulation for complex configuration basing on improved messenger model", *Intern. Journal of modern physics: inference series*, Vol. 19, P. 341–350.
17. Contact-less Transfer of Energy by means of a Rotating Transformer, available at : <https://www.semanticscholar.org/paper/Contact-less-Transfer-of-Energy-by-means-of-a-Papastergiou-Macpherson/935b70f2e223b2229187422843ae0efb0116f033> (last accessed 30 March 2020).

Надійшла (Received) 17.05.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кривонос Володимир Миколайович – кандидат технічних наук, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, заступник начальника кафедри № 203, Харків, Україна; email: kvn35@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6511-6640>.

Кривонос Владимир Николаевич – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, заместитель начальника кафедры № 203, Харьков, Украина.

Krivosov Volodimir – PhD (Engineering Sciences), Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Deputy Head of the Department No. 203, Kharkiv, Ukraine.

Клімишен Олексій Олегович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, старший викладач кафедри № 203, Харків, Україна; email: kl_s_kh@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3859-1531>.

Климишен Алексей Олегович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Харьковский национальный университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, старший преподаватель кафедры № 203, Харьков, Украина.

Klimishen Oleksiy – PhD (Engineering Sciences), Senior Research, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Senior Lecturer of the Department No. 203, Kharkiv, Ukraine.

Цемма Олександр Володимирович – Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, старший викладач кафедри № 203, Харків, Україна; email: temma@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6287-8404>.

Цемма Александр Владимирович – Харьковський національний університет Воздушних Сил ім. І. Кожедуба, старший преподаватель кафедри № 203, Харьков, Україна.

Tsemma Oleksandr – Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Senior Lecturer of the Department No. 203, Kharkiv, Ukraine.

Василенко Роман Вікторович – Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, старший викладач кафедри № 203, Харків, Україна; email: spike75.tv@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7683-7526>.

Василенко Роман Вікторович – Харьковський національний університет Воздушних Сил ім. І. Кожедуба, старший преподаватель кафедри № 203, Харьков, Україна.

Vasilenko Roman – Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Senior Lecturer of the Department No. 203, Kharkiv, Ukraine.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ УСТРАНЕНИЯ ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ НА ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИИ ВЕРТОЛЕТА

Предметом исследования в статье являются подходы по совершенствованию системы защиты элементов конструкции военно-транспортного вертолета от образования льда. **Цель** работы – разработка предложений по совершенствованию наиболее энергоемкой системы из состава авиационного оборудования военно-транспортного вертолета, а именно противообледенительной системы на основе анализа как возможно большего числа ее компонентов. В статье решаются следующие **задачи**: анализ современных систем борьбы с обледенением (прежде всего тех, что используются в промышленных установках, и на зарубежных вертолетах), разработка дублирующей системы обогрева стекла кабины экипажа, разработка бесконтактного способа передачи электроэнергии на нагревательные элементы лопастей винтов, разработка структурной схемы автоматического управления противообледенительной системой. Используются следующие методы: сравнительный анализ, методы прикладной гидродинамики и электромеханики. Получены следующие **результаты**: сформулированы специфические требования к вертолетным системам защиты от льда, предложена жидкостная система омывки стекол кабины экипажа в качестве дублирующей системы для электрообогрева, предложенная схема системы управления 6-ти секционной противообледенительной системой с помощью комбинированного сигнализатора лёдообразования. **Выводы**: внедрение полностью автоматической системы устранения льда в составе авиационного оборудования вертолета, которая значительно разгрузит экипаж, обязательно предполагает использование в своем составе комплексного датчика (группы измерителей). Это позволит системе реагировать не только на появление определенного слоя льда на чувствительной поверхности, но и на параметры окружающей среды, при которых возможно возникновение такого опасного явления как обледенение элементов конструкции вертолета. Модернизация системы борьбы с образованием льда на элементах конструкции вертолета будет эффективной только при комплексном подходе к совершенствованию всех её составных частей вместе с разработкой дублирующих систем устранения льда.

Ключевые слова: противообледенительная система; возникновение льда; обледенение; лопасти винтов; бесконтактная передача; безопасность полетов; резервирование; жидкость; стекло кабины; комплексный датчик.

IMPROVEMENT OF ICE REMOVAL SYSTEMS ON HELICOPTER CONSTRUCTION ELEMENTS

The **subject** of study in the article is approaches to improving the system of protection of structural elements of a military transport helicopter from ice formation. The **goal** of the work is to develop proposals for improving the most energy-intensive system of the aviation equipment of a military transport helicopter, namely, an anti-icing system based on an analysis of as many of its components as possible. The following **tasks** are solved in the article: analysis of modern anti-icing systems (primarily those used in industrial plants and foreign helicopters), development of a backup system for heating the cockpit glass, development of a non-contact method of transferring electricity to the heating elements of the propeller blades, development of block diagram automatic control of the anti-icing system. The following **methods** are used: comparative analysis, methods of applied hydrodynamics and electromechanics. The following **results** were obtained: specific requirements for helicopter ice protection systems were formulated, a liquid cockpit glass washing system was proposed as a backup system for electric heating, a control system scheme for a 6-section anti-icing system using a combined ice formation warning device was introduced. **Conclusions**: the introduction of a fully automatic ice removal system as a part of the helicopter's aviation equipment, which significantly relieves the crew, necessarily involves the use of an integrated sensor (group of meters). This will allow the system to respond not only to the appearance of a certain layer of ice on a sensitive surface, but also to environmental parameters at which such a dangerous phenomenon as icing of helicopter structural elements may occur. Modernization of the anti-ice formation system on the elements of the helicopter structure will be effective only with a comprehensive approach to the improvement of all its components together with the development of duplicate ice removal systems.

Keywords: anti-icing system; ice formation; icing; propeller blades; contactless transmission; flight safety; redundancy; liquid; cockpit glass; integrated sensor.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Кривонос В. М., Клімішен О. О., Цемма О. В., Василенко Р. В. Вдосконалення систем усунення льодоутворення на елементах конструкції вертольоту. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 141–147. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.141>.

Krivosnos, V., Klimishen, O., Tsemma, O., Vasilenko, R. (2020), "Improvement of ice removal systems on helicopter construction elements", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 141–147. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.141>.

М. П. СВИТА, Н. М. ЗАЩЕПКИНА

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЕНТІВ НАПІРНИХ ТРУБОК

Предметом дослідження в статті є напірні трубки, що служать датчиками для приладів, які вимірюють швидкість та витрату газів пневмометричним методом. **Мета** роботи - удосконалення методу знаходження коефіцієнтів напірних трубок для підвищення точності вимірювання швидкості та витрати газів. В статті вирішено **завдання** експериментального визначення коефіцієнтів точкових та усереднюючих напірних трубок в діапазоні швидкостей від 2 до 20 м/с. Розраховані середні коефіцієнти напірних трубок та похибка, що спричинена зміщенням орієнтації напірної трубки з вісі потоку на швидкості 10 м/с при середньому значенні коефіцієнта напірної трубки для трубок які досліджувались. У дослідженнях використані методи аналізу та синтезу, аналітичної та нарисної геометрії, теорії ймовірності, математичної статистики та чисельні методи з використанням комп'ютерних технологій. **Результати** роботи представлені у вигляді графічних залежностей коефіцієнту напірної трубки як функції швидкості газового потоку. Також показана графічна залежність швидкості потоку від кута повороту вісі напірної трубки відносно вісі потоку на швидкості 10 м/с при середньому значенні коефіцієнта напірної трубки для трубок, які брали участь у експерименті. **Висновки:** удосконалено метод для визначення коефіцієнтів як точкових так і усереднюючих напірних трубок. Виявлено, що у більшості трубок які досліджувались, коефіцієнт напірної трубки не стабільний в діапазоні швидкостей від 2 до 20 м/с. Таким чином, виникає додаткова похибка, яка спричинена нестабільністю коефіцієнта напірної трубки, так як коефіцієнт напірної трубки пропорційний швидкості газового потоку. Найбільш стабільні коефіцієнти мають трубки Піто та "ТНУ-8-6". Трубка Піто має середній коефіцієнт який дорівнює 1,009, стабільність коефіцієнту трубки відносно середнього значення склала $\pm 0,8\%$. Трубка "ТНУ-8-6" має середній коефіцієнт який дорівнює 0,6683, стабільність коефіцієнту трубки відносно середнього значення $\pm 1,3\%$. Також дані рекомендації щодо програмного забезпечення вимірювачів швидкості та витратомірів газів для зменшення інструментальної похибки.

Ключові слова: напірна трубка; пневмометричний метод; коефіцієнт трубки; швидкість; витрата.

Вступ

Одним із різновидів методу змінного перепаду тиску при вимірюванні швидкості та витрати газів є пневмометричний метод. За цим методом пневмометричні (напірні) трубки виступають датчиками для приладів, які вимірюють швидкість газового потоку. Принцип дії: динамічний тиск, який пропорційний швидкості газу виникає за рахунок набігаючого потоку, що обтікає напірну трубку. Динамічний тиск в напірній трубці розраховується як різниця між повним і статичним тиском.

Напірні трубки мають низку переваг перед "традиційними" рішеннями, які базуються на застосуванні звужуючих пристроїв (діафрагм), трубок Вентурі та ін. [1, 2, 3]. Напірні трубки утворюють значно менший опір в трубопроводі газовому потоку порівняно із звужуючими пристроями, що дозволяє зменшити втрати тиску при транспортуванні газу та заощадити енергоресурси [4]. Ще однією перевагою є простота виготовлення вимірювача швидкості та витрати газів на базі напірних трубок, його обслуговування і монтаж на об'єктах, можливість виготовлення напірної трубки для будь-яких діаметрів газоходу. Існує велика кількість модифікацій напірних трубок для різних умов застосування пов'язаних із температурою, статичним тиском та рівнями запиленості вимірюваного середовища.

Напірні трубки поділяють на точкові та усереднюючі. Точкові трубки – такі, що дають значення динамічного тиску в одній точці. Це дозволяє виміряти швидкість потоку газу в конкретній точці газоходу. Використовуючи коефіцієнт усереднення швидкості по перетину газоходу K_u при точковому вимірюванні можна розрахувати середню швидкість газового потоку [5]. Також, можна

розрахувати точку середньої швидкості в газоході та встановити в це місце точкову напірну трубку, таким чином отримати середнє значення швидкості потоку [6].

Усереднюючі трубки – дозволяють отримати середнє значення динамічного тиску усього поперечного перерізу газоходу, що дозволяє виміряти у ньому середню швидкість потоку. Знаючи середню швидкість газового потоку в газоході, розраховується об'ємна чи масова витрати газу [7].

Метрологічною характеристикою напірної трубки є її коефіцієнт K_t – безрозмірна величина, що характеризує відмінність між істинним динамічним тиском та таким його значенням, що сприймається напірною трубою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В відомих роботах по знаходженню коефіцієнтів напірних трубок [8, 9], коефіцієнт K розрахований через об'ємну витрату газу за допомогою механічних газових лічильників. Об'ємна витрата газу є добутком середньої швидкості газового потоку і площі поперечного перерізу газоходу, тому коефіцієнт K розрахований таким чином залежить від двох величин $K=f(K_t, K_u)$, а саме від коефіцієнту напірної трубки K_t і коефіцієнту усереднення швидкості газового потоку по перетину газоходу K_u . Тому в попередніх роботах коефіцієнт K винесений з під квадратного кореня формули знаходження швидкості газового потоку пневмометричним методом, що відповідає формулам які використовуються в країнах Європи та Америки [11]. Визначення коефіцієнтів усереднюючих напірних трубок можливе за даним методом, але такий підхід неприпустимий для визначення коефіцієнтів точкових напірних трубок, тому що

коефіцієнт розрахований таким чином буде залежати від конструктивних особливостей напірної трубки і характеру розподілення швидкостей по перетину газоходу відносно місця встановлення точкової напірної трубки. В даній роботі запропонований удосконалений метод знаходження коефіцієнтів точкових та усереднюючих напірних трубок за допомогою аеродинамічної труби (АТ) "Проба-25" та цифрових мановакууметрів серії "ММЦ", які розроблені та належить ТОВ "НВФ "ПРОБА".

Мета роботи. Удосконалення методу знаходження коефіцієнтів напірних трубок для підвищення точності вимірювання швидкості та витрати газів.

Таблиця 1. Технічні характеристики АТ "Проба-25"

Діапазон відтворення швидкості повітря, [м/с]	0,1-25
Абсолютна похибка, [м/с]	$\pm(0,05+0,015 \cdot V)$, де V – чисельне значення швидкості повітряного потоку, виражене в метрах за секунду.
Діаметр робочого перетину, [мм]	300

Таблиця 2. Технічні характеристики "ММЦ-200"

Діапазон вимірювання тиску/розрідження, [мм вод. ст.]	± 200
Межі основної абсолютної похибки, [мм вод. ст.]	$\pm(0,1+0,08 \cdot P)$, де P – чисельне значення вимірюваного тиску, виражене в [мм вод. ст.].
Ціна одиниці молодшого розряду відлікового пристрою, [мм вод. ст.]	0,1

Таблиця 3. Технічні характеристики вимірювача параметрів повітря "Атмосфера-1"

Діапазон вимірювання атмосферного тиску, [мм рт. ст.]	489 - 812
Абсолютна похибка вимірювання атмосферного тиску, [мм рт. ст.]	$\pm 0,8$
Ціна одиниці молодшого розряду відлікового пристрою вимірювання атмосферного тиску, [мм рт. ст.]	0,1
Діапазон вимірювання температури повітря, [°C]	+5 - +40
Абсолютна похибка вимірювання температури повітря, [°C]	$\pm 0,5$
Ціна одиниці молодшого розряду відлікового пристрою вимірювання температури повітря, [°C]	0,1

Прилад "ММЦ-20" був налаштований за допомогою прецизійного мікроманометра рідинного компенсаційного з мікрометричним гвинтом "МКВ-

250". Основні технічні характеристики приладу "МКВ-250" представлено у табл. 4.

Технічні характеристики мановакууметру "ММЦ-20" показані у табл. 5.

Таблиця 4. Технічні характеристики приладу "МКВ-250"

Межі вимірювання, [мм вод. ст.]	0-250
Межа похибки від верхньої межі вимірювання, не більше, [%]	0,02

Таблиця 5. Технічні характеристики "ММЦ-20"

Діапазон вимірювання тиску/розрідження, [мм вод. ст.]	± 20
Межі основної абсолютної похибки, [мм вод. ст.]	$\pm(0,03+0,08 \cdot P)$, де P – чисельне значення вимірюваного тиску, виражене в [мм вод. ст.].
Ціна одиниці молодшого розряду відлікового пристрою, [мм вод. ст.]	0,01

Математичний вираз для визначення коефіцієнту напірної трубки K_T , має вигляд, він отриманий з [10, 11]:

$$K_T = \frac{V^2 \rho_p}{2gP_d}, \quad (1)$$

де, V – швидкість потоку повітря створена АТ, [м/с]; ρ_p – щільність повітря в робочих умовах, [кг/м³]; g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81$ [м/с²]; P_d – динамічний тиск, який створюється потоком повітря в напірній трубці, [мм вод. ст.].

Щільність повітря в робочих умовах ρ_p визначається відповідно до виразу [12]:

$$\rho_p = \rho_n \frac{T_n P_p}{P_n T_p}, \quad (2)$$

де, ρ_n – щільність повітря за нормальних умов ($P = 760$ мм рт. ст., $t = 0$ °С) $\rho_n = 1,293$, [кг/м³]; T_n – температура в нормальних умовах, $T_n = 273,15$ [К]; T_p – температура в робочих умовах, [К]; P_n – тиск в нормальних умовах, $P_n = 760$ [мм рт. ст.]; P_p – тиск в робочих умовах, [мм рт. ст.].

Робоча формула для знаходження коефіцієнту K_T із врахуванням всіх констант, має вираз:

$$K_T = \frac{2369 \cdot 10^{-5} V^2 P_p}{P_d T_p}. \quad (3)$$

Суть методу полягає у розрахунку коефіцієнту напірної трубки K_T за виразом (3) на різних швидкостях потоку. Значення тиску в робочих умовах

P_p та температури в робочих умовах T_p вимірювались за допомогою приладу "Атмосфера-1". Динамічний тиск P_d вимірювався за допомогою приладів "ММЦ-200" та "ММЦ-20". В діапазоні вимірювань динамічного тиску до 20 мм вод. ст. застосовувався мановакууметр "ММЦ-20" із звуженим діапазоном вимірювань, а понад 20 мм вод. ст. використовувався прилад "ММЦ-200". Швидкість потоку повітря задавалась за допомогою АТ, вимірювання проводили на швидкостях 2, 5, 10, 15 та 20 м/с. Точкові напірні трубки встановлювали в центр перетину АТ, значення швидкості для розрахунку коефіцієнту напірної трубки зчитували з цифрового табло АТ. Для розрахунку коефіцієнтів усереднюючих напірних трубок використовували середню швидкість в АТ. Середня швидкість для АТ "Проба-25" розраховується як добуток швидкості на цифровому табло і коефіцієнту усереднення швидкості по перетину труби, який дорівнює 0,965. Усереднене значення коефіцієнту K_T визначалось як середнє арифметичне між максимальним і мінімальним значенням вимірів K_T .

Результати дослідження та їх обговорення

Для проведення експериментальних досліджень були виготовлені напірні трубки для точкового вимірювання швидкості газових потоків конструкцій Піто, НІОГАЗ та Проба. Їх конструкції представлені на рис. 1.

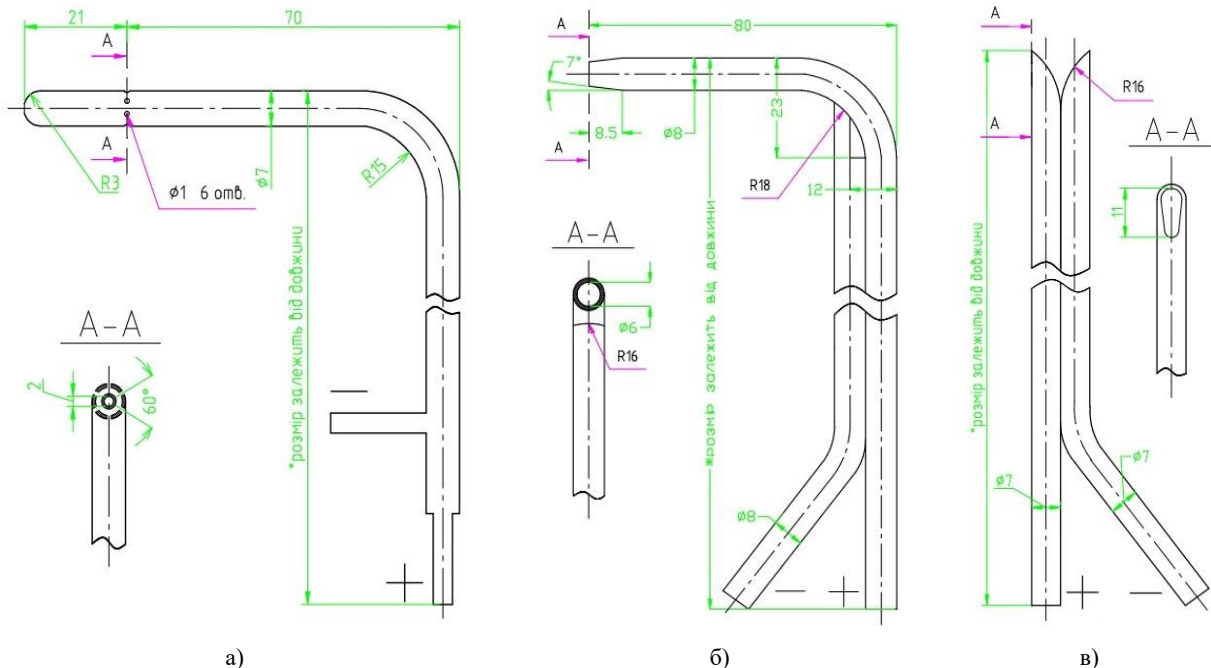


Рис. 1. Напірні трубки для точкового вимірювання швидкості газових потоків - а) конструкція Піто, б) конструкція НІОГАЗ, в) конструкція Проба

За конструктивними рішеннями – це з'єднані між собою строго заданим чином дві металеві трубки [13]. Через одну трубку на мікроманометр передається повний тиск газу (із знаком "+"), а через іншу трубку – статистичний тиск (із знаком "-"). Напірна трубка конструкції Піто (рис. 1, а) при проведенні неперервних вимірювань, застосовується при робочих температурах в газозоді до 600°C та запиленості до 1 г/м³. При короткостроковому вимірюванні її можна застосовувати при запиленості газового потоку до 10 г/м³. Основна сфера застосування трубок даної конструкції при вимірюванні швидкості та

витрат газів – вентиляційні системи різного призначення.

Напірні трубки конструкцій НПОГАЗ та Проба (рис. 1, б, в) застосовуються при вимірюваннях швидкості газів в запилених потоках, наприклад, в потоках, що відходять від стаціонарних джерел забруднення атмосфери. Температурний діапазон застосування трубок даних конструкцій становить до 800°C, запиленість потоку при неперервному вимірюванні до 5 г/м³, при періодичному до 50 г/м³.

Для проведення подальших вимірів були виготовлені експериментальні усереднюючі напірні трубки. Їх конструкції представлені на рис. 2.

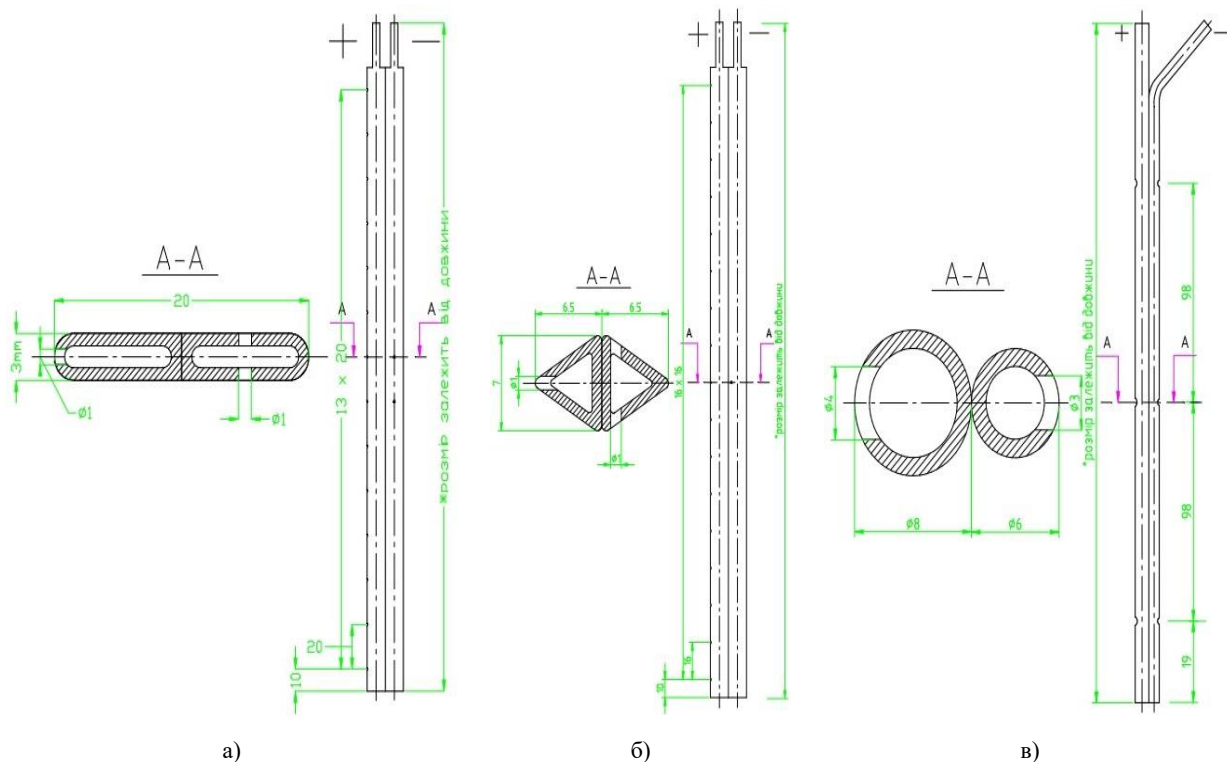


Рис. 2. Експериментальні усереднюючі напірні трубки – а) "ТНУ-плоска", б) "ТНУ-ромбічна", в) "ТНУ-8-6"

Усереднюючі напірні трубки мають по всій довжині кілька отворів для прийому повного тиску (із знаком "+") і декілька отворів для прийому статичного тиску (із знаком "-") [14, 15]. Результуючий повний та результуючий статичний тиск в усереднюючій напірній трубці утворюється як алгебраїчна сума всіх повних та статичних тисків кожного з приймаючих отворів [16].

Напірна трубка "ТНУ-плоска" (рис. 2, а) складається із двох плоских (овальних) трубок габаритних розмірів 10x3x1 мм спаяних між собою. Повний тиск сприймається 14 отворами діаметром 1 мм, при відстані між отворами 20 мм. Статичний тиск сприймається двома отворами на боковій грані напірної трубки діаметром 1 мм, що знаходиться по центру, відстань між якими складає 20 мм. Трубка "ТНУ-ромбічна" (рис.2, б) являє собою дві трикутні трубки зі сторонами 7 мм товщиною 1 мм спаяними між собою. Повний тиск сприймається 17 отворами діаметром 1 мм, відстань між отворами 16 мм. Статичний тиск сприймається двома отворами на

боковій грані діаметром 1 мм по центру трубки. Трубка "ТНУ-8-6" (рис.2, в) складається із двох круглих трубок діаметрами 8 і 6 мм, товщиною 1 мм спаяних між собою. Повний тиск сприймається 3 отворами, діаметром 4 мм, відстань між отворами 98 мм. Статичний тиск сприймається 3 отворами діаметром 3 мм, відстань між отворами також 98 мм.

Напірні трубки "ТНУ-плоска" та "ТНУ-ромбічна" можуть застосовуватися для вимірювання швидкостей та витрат чистих газів, тому що вони мають маленькі отвори для сприймання повного тиску газового потоку діаметром 1 мм. Трубка "ТНУ-8-6" може використовуватися в запилених потоках – вона має великі отвори для сприймання повного тиску діаметром 4 мм.

Результати вимірювань коефіцієнтів K_T для точкових трубок різних конструкцій представлені на рис. 3. За результатами вимірювань показаних на (рис. 3–4) визначено межі зміни коефіцієнту K_T в діапазоні швидкостей газового потоку в газозоді від 2 до 20 м/с.

Для напірної трубки конструкції Піто діапазон зміни середньому значенні 1,009.
коефіцієнту K_T становив 1,017 – 1,0015 при

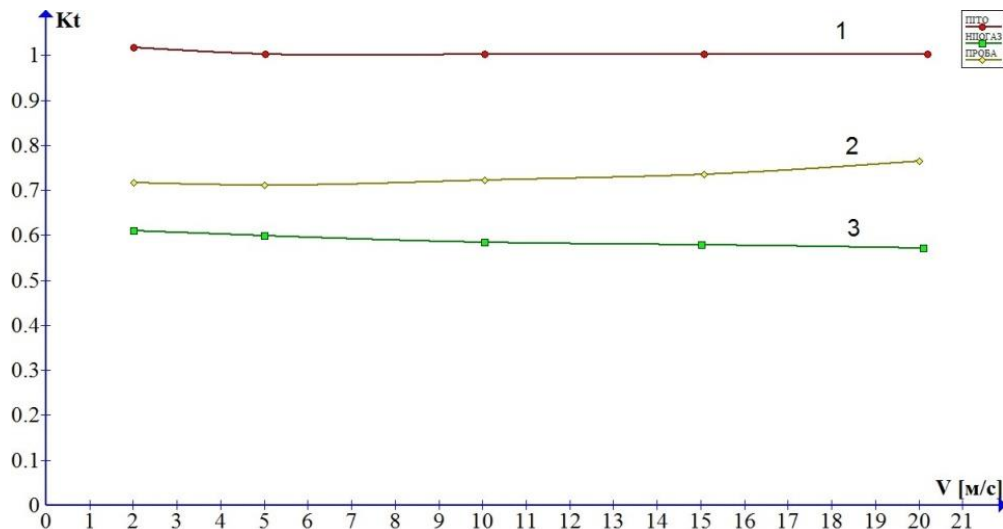


Рис. 3. Результати вимірювань коефіцієнтів для точкових напірних трубок. 1 - Піто, 2 – ПРОБА, 3 – НПОГАЗ

Для напірної трубки конструкції НПОГАЗ коефіцієнт K_T змінюється в діапазоні 0,6096 – 0,5721 при середньому значенні 0,5908. Для трубки конструкції ПРОБА діапазон зміни K_T становив 0,7647 – 0,7115, середнє значення 0,7381. Діапазон змін коефіцієнту K_T відносно його середнього значення

склав для трубки Піто $\pm 0,8\%$, для трубки НПОГАЗ $\pm 3,2\%$ та трубки ПРОБА $\pm 3,6\%$ відповідно.

Результати визначення коефіцієнтів K_T усереднюючих напірних трубок представлені на рис. 4.

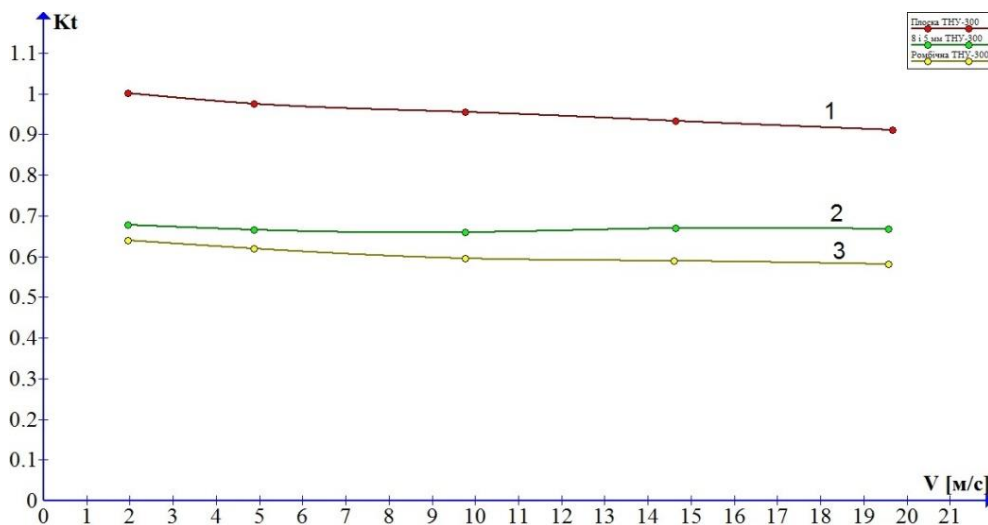


Рис. 4. Результати визначення коефіцієнтів K_T усереднюючих напірних трубок. 1 - "ТНУ – плоска", 2 - "ТНУ – 8-6", 3 - "ТНУ – ромбічна"

Для усереднюючої напірної трубки "ТНУ – плоска" діапазон зміни K_T становив 1,0002 – 0,9108, середнє значення 0,9555. Зміна коефіцієнту K_T відносно середнього значення склала $\pm 4,7\%$. Для напірної трубки "ТНУ-8-6" діапазон змін K_T становив 0,6766 – 0,66 при середньому значенні 0,6683. Зміна коефіцієнту K_T відносно середнього значення склала $\pm 1,3\%$. Для трубки конструкції "ТНУ – ромбічна" діапазон змін K_T склав 0,639 – 0,5818, середнє значення 0,6104. Коефіцієнт K_T відносно середнього значення змінювався в діапазоні $\pm 4,7\%$.

На (рис. 5–6) наведені результати визначення похибок вимірювання швидкості потоку повітря від зміщення орієнтації напірної трубки. Вимірювання проводили при фіксованій швидкості в АТ – 10 м/с та середніх значеннях коефіцієнту K_T для трубки певної конструкції. Напірні трубки були встановлені із кутом 0 кут. градусів відносно вісі потоку в газоході та зміщувалися в право і в ліво відповідно на ± 5 , ± 10 кут. градусів відносно центральної вісі газового потоку. Кут встановлення напірних трубок контролювався за допомогою геодезичного транспорту, похибка встановлення кутів склала ± 1 кут. градус.

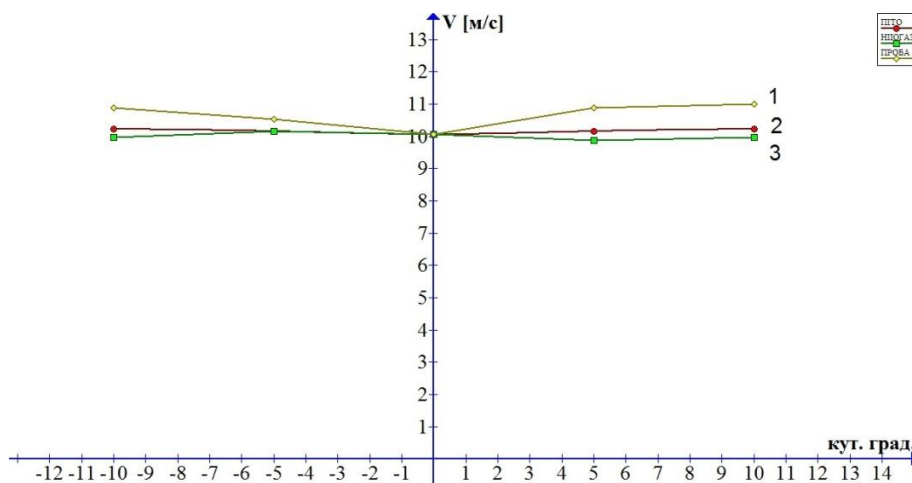


Рис. 5. Результати вимірювань швидкості потоку повітря в аеродинамічній трубці при зміщенні орієнтації точкових напірних трубок. 1 – Проба, 2 – Піто, 3 – НПОГАЗ

З рис. 5 видно, що найменшу похибку при зміщенні орієнтації з вісі потоку має напірна трубка конструкції Піто. Лінія значення похибки симетрична відносно позитивних та негативних кутів орієнтації при максимальному значенні похибки 1,6%. Напірні трубки конструкцій НПОГАЗ та Проба виявились більш чутливими до зміщення орієнтації трубки

відносно вісі потоку, похибка не симетрична для позитивних та негативних кутів відхилення. Максимальна відносна похибка для трубки НПОГАЗ при зміщенні +5 кутових градусів відносно центральної вісі потоку в газоході склала 2%. Максимальна відносна похибка для трубки Проба при зміщенні в +10 кут. градусів становить 9%.

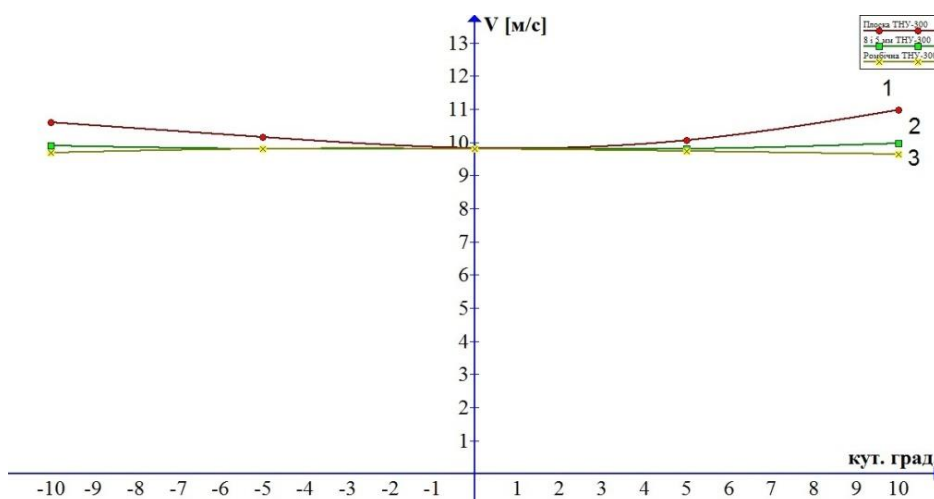


Рис. 6. Результати вимірювань швидкості потоку повітря в АТ при зміщенні орієнтації експериментальних усереднюючих напірних трубок. 1 - "ТНУ – плоска", 2 - "ТНУ-8-6", 3 - "ТНУ – ромбічна"

Рис. 6 доводить, що експериментальні усереднюючі трубки мають майже симетричні характеристики відносно позитивних та негативних кутів при орієнтації відносно вісі газового потоку. Максимальна відносна похибка застосованих в експерименті усереднюючих трубок, а саме "ТНУ-8-6", "ТНУ – ромбічна" та "ТНУ-плоска" при куті відхилення відносно вісі газового потоку +10 кут. градусів становила 1,7%, 1,6% та 11,6% відповідно.

Пневмометричні трубки можуть бути виготовлені різними способами відповідно до конкретних умов застосування та містять широкий перелік конструктивних рішень. Коефіцієнт K_T напірної трубки пропорційний швидкості газового потоку, тому стабільність коефіцієнту в діапазоні

вимірювання важлива для більш точного вимірювання швидкості та витрати газів.

Коефіцієнт K_T вводиться як коригуюча константа у програмне забезпечення вимірювачів швидкості газового потоку та об'ємних витрат газів. Таким чином, при вимірюваннях присутня додаткова похибка спричинена нестабільністю коефіцієнту K_T при застосуванні напірних трубок із нестабільним коефіцієнтом. Знаючи характеристику напірної трубки $K_T = f(V)$ можна програмно змінювати коефіцієнт, таким чином, щоб мінімізувати інструментальну похибку спричинену нестабільністю коефіцієнту.

Точкові напірні трубки здебільшого використовуються при періодичному вимірюванні, що викликає додаткову інструментальну похибку при

зміщенні орієнтації напірної трубки відносно вісі газового потоку. Усереднюючі трубки використовують при неперервному вимірюванні, але вони також можуть бути встановлені з деяким кутом зміщення відносно центральної вісі газового потоку або сам потік може мати зміщення відносно центральної вісі напірної трубки.

Експериментально визначена додаткова похибка при зміщенні орієнтації напірної трубки з вісі потоку для точкових і усереднюючих трубок. Найбільш чутливими виявились трубки Проба та "ТНУ-плоска", їх похибки становлять відповідно 9% та 11,6% при відхиленні на +10 кут. градусів при швидкості газового потоку 10 м/с. Похибка при зміщенні орієнтації напірних трубок спричинена конструктивними особливостями та недосконалістю їх виготовлення. Таким чином, необхідно в технічних характеристиках пневмометричної трубки вказувати максимальний кут її відхилення від вісі газового потоку та намагатися встановлювати напірні трубки при вимірюванні якомога точніше за вісю потоку.

Серед виготовлених в рамках експериментальних досліджень напірних трубок найкращими характеристиками володіють точкова трубка Піто та усереднююча "ТНУ-8-6". Напірні трубки конструкції Піто та "ТНУ-8-6" мають більш стабільний коефіцієнт K_T в порівнянні з трубками своїх груп, а також меншу похибку спричинену відхиленням трубки від вісі газового потоку.

Головним недоліком при використанні напірних трубок є недостатня чутливість диференційних мікроманометрів при швидкостях газового потоку до 2 м/с. В той же час, розвиток нових технологій побудови диференційних датчиків тиску дає хороші перспективи застосування напірних трубок при вимірюванні швидкостей газових потоків, що становлять менше 2 м/с. Виявлено, що зі збільшенням коефіцієнту K_T зменшується динамічний тиск напірної трубки, який вона створює. Таким чином, напірні трубки НПОГАЗ та "ТНУ-ромбічна" створюють найбільший динамічний тиск.

Список літератури

1. ISO 5167-1:2003. Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full – Part 1: General principles and requirements.
2. Harlan H., Bengtson P. Flow Measurement in Pipes and Ducts, An online, continuing education engineering course for 4 PDH credit. URL: <https://www.cedengineering.com/userfiles/Flow%20Measurement%20in%20Pipes%20and%20Ducts.pdf> (дата звернення: 23.04.2020).
3. Білинський Й. Й., Стасюк М. О., Гладивевський М. В. Аналіз методів і засобів контролю витрат рідких і газоподібних середовищ та їхня класифікація. *Наукові праці ВНТУ*. 2015, № 1.
4. Rosemount Annubar Flow Meter Series. URL: <https://www.emerson.com/documents/automation/flyer-rosemount-annubar-flowmeter-series-en-87398.pdf> (дата звернення: 23.04.2020).
5. ГОСТ 8.361-79. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Расход жидкости и газа. Методика выполнения измерений по скорости в одной точке сечения трубы. [Дата введения с 01.07.1980 г.], Государственный стандарт союза ССР.
6. Klopfenstein R. Jr. Air velocity and flow measurement using a Pitot tube. *ISA Transactions*. 1998. № 37 (4), P. 257–263. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0019-0578\(98\)00036-6](https://doi.org/10.1016/S0019-0578(98)00036-6)
7. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ : Справочник : Кн. 1. 5-е изд. перераб. и доп. СПб. : Политехника, 2002. 409 с.
8. Kabaciński M., Pospolita J. Experimental research into a new design of flow-averaging tube. *Flow Measurement and Instrumentation*. 2011. № 22 (5) P. 421–427. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2011.06.006>
9. Дементьев С. Ю., Дементьев Ю. В. Експериментальне визначення коефіцієнта напірної трубки для контролю витрати газів. *Вісник Хмельницького Національного університету*. 2008. № 3. С. 56–58.

Висновки

Виготовлено експериментальні напірні трубки для вимірювання точкового і середнього динамічного тиску, який в свою чергу пропорційний швидкості газового потоку.

Запропоновано удосконалений метод для знаходження коефіцієнту K_T напірних трубок різних конструкцій. Експериментально визначені характеристики $K_T=f(V)$ в діапазоні швидкостей від 2 до 20 м/с. Виявлено, що у більшості трубок які досліджувались коефіцієнт не стабільний в діапазоні швидкостей від 2 до 20 м/с. Таким чином, виникає додаткова похибка, яка спричинена нестабільністю коефіцієнта K_T , так, як коефіцієнт K_T пропорційний швидкості потоку.

Визначено діапазон змін коефіцієнту та середній коефіцієнт K_T для точкових напірних трубок Піто, НПОГАЗ, Проба та усереднюючих напірних трубок "ТНУ-плоска", "ТНУ-8-6", "ТНУ-ромбічна". Найбільш стабільними характеристиками мають трубки Піто та "ТНУ-8-6". Трубка Піто має середній $K_T = 1,009$, стабільність коефіцієнту трубки відносно середнього значення склала $\pm 0,8\%$. Трубка "ТНУ-8-6" має середній $K_T = 0,6683$, стабільність коефіцієнту трубки відносно середнього значення $\pm 1,3\%$.

Експериментально визначено похибки при зміщенні орієнтації напірної трубки з вісі газового потоку для трубок на швидкості 10 м/с.

За результатами експерименту, рекомендовано характеристику напірної трубки $K_T=f(V)$ внести до програмного забезпечення вимірювача та автоматично змінювати коефіцієнт K_T в залежності від вимірюваної швидкості для зменшення інструментальної похибки спричиненої нестабільністю коефіцієнту K_T .

10. ГОСТ 17.2.4.06-90. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения. [Дата введения с 01.01.1991 г.]. Межгосударственный стандарт.
11. Івашченко А., Микитчик П., Гайдай В. та ін. Застосування усереднювальних напірних трубок за вимірювання швидкості та витрати газу. *Метрологія та прилади*. 2018. № 1. С. 26–30.
12. Стаскевич Н. Л., Северинец Г. Н., Вигдорчик Д. Я. Справочник по газоснабжению и использованию газа. Л. : Недра, 1990. 762 с.
13. ДСТУ 8725:2017. Якість повітря. Викиди стаціонарних джерел. Методи визначення швидкості та об'ємної витрати газопилових потоків. Київ ДП "УкрНДНЦ", 2018.
14. Kabacinski M., Lachowich C., Pospolita J. Numerical Analysis of Flow Averaging Tubes in the Vortex-Shedding Regime. *Archive of Mechanical Engineering*. 2013. № 60 (4) P. 283–297. DOI: <https://doi.org/10.2478/meceng-2013-0018>
15. Limin Zhang, Lijun Sun, Lixiao Qi. Experimental research of Averaging Pitot Tube Flow Sensors with Flow Conditioning Wing. *International Conference on Electric Information and Control Engineering. School of Electrical Engineering and Automation. Tianjin University. Tianjin Key Laboratory of Process Measurement and Control. Tianjin. China*. 2011. DOI: 10.1109/ICEICE.2011.5778019
16. Dobrowolski B., Kabacinski M., Pospolita J. A mathematical model of the self-averaging Pitot tube. A mathematical model of a flow sensor. *Flow Measurement and Instrumentation*. 2005. № 16 (4), P. 251–265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2005.02.001>.

References

1. ISO 5167-1:2003. Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full – Part 1: General principles and requirements.
2. Harlan, H., Bengtson, P. Flow Measurement in Pipes and Ducts, An online, continuing education engineering course for 4 PDH credit, available at: <https://www.cedengineering.com/userfiles/Flow%20Measurement%20in%20Pipes%20and%20Ducts.pdf> (last accessed 23.04.2020).
3. Bilynskiy, Y., Stasiuk, M., Hladyshevskiy, M. (2015), "Analysis of methods and means of cost control of liquid and gaseous media and their classification" ["Analiz metodiv i zasobiv kontroliu vytrat ridkykh i hazopodibnykh seredovyshch ta yikhnia klasyfikatsiia"], *Scientific works of VNTU*, No. 1.
4. Rosemount Annubar Flow Meter Series, available at: <https://www.emerson.com/documents/automation/flyer-rosemount-annubar-flowmeter-series-en-87398.pdf> (last accessed 23.04.2020).
5. GOST 8.361-79. State system for ensuring the uniformity of measurements (GSI). The flow rate of liquid and gas. The methodology for measuring speed at one point in the pipe section. [Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmereniy (GSI). Raskhod zhidkosti i gaza. Metodika vypolneniya izmereniy po skorosti v odnoy tochke secheniya truby.]
6. Klopfenstein, R. Jr. (1998), Air velocity and flow measurement using a Pitot tube. *ISA Transactions*. No 37(4) P. 257–263. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0019-0578\(98\)00036-6](https://doi.org/10.1016/S0019-0578(98)00036-6)
7. Kremlevskij, P. (2002), Flowmeters and counters of the amount of substances: Reference: Book. 1. 5th ed. reslave. and add. [Raskhodometry i schetchiki kolichestva veshchestv : Spravochnik : Kn. 1. 5–e izd. pererab. i dop.], St. Petersburg: Politehnichs, 409 p.
8. Kabacinski, M., Pospolita, J. (2011), "Experimental research into a new design of flow-averaging tube", *Flow Measurement and Instrumentation*, No. 22 (5), P. 421–427. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2011.06.006>
9. Dementyev, C., Dementyev, Y. (2008), "Experimental determination of the pressure tube coefficient for gas flow control" ["Eksperimentalne vyznachennia koefitsiienta napirnoi trubky dlia kontroliu vytraty haziv"], *Bulletin of Khmelnytsky National University*, No. 3, P. 56–58.
10. GOST 17.2.4.06-90. Protection of Nature. Atmosphere. Methods for determining the speed and flow rate of dust and gas streams emanating from stationary sources of pollution [Okhrana prirody. Atmosfera. Metody opredeleniya skorosti i rashoda gazopylevykh potokov, otkhodyashchikh ot statsionarnykh istochnikov zagryazneniya].
11. Івашченко А., Микитчик П., Гайдай В., Свита М., Купчинский В. (2018), "The use of averaging pressure tubes for measuring the speed and flow rate of gas" ["Zastosuvannya useredniuvalnykh napirnykh trubok za vymiruvannya shvydkosti ta vytraty hazu"], *Metrology and devices*, No. 1, P. 26–30.
12. Staskevich, N., Severinets, G., Vigdorchik, D. (1990), Handbook of gas supply and use of gas [Spravochnik po gazosnabzheniyu i ispol'zovaniyu gaza], Lviv, Nedra, 762 p.
13. DSTU 8725:2017. Air quality. Emissions from stationary sources. Methods for determining the velocity and flow rate of gas-dust streams. [Yakist povitria. Vykydy statsionarnykh dzherel. Metody vyznachennia shvydkosti ta obiemnoi vytraty hazopylovykh potokiv].
14. Kabacinski, M., Lachowich, C., Pospolita, J. (2013), "Numerical Analysis of Flow Averaging Tubes in the Vortex-Shedding Regime", *Archive of Mechanical Engineering*, Vol. 60 (4), P. 283–297. DOI: <https://doi.org/10.2478/meceng-2013-0018>
15. Limin, Z., Lijun S., Lixiao, Q. (2011), "Experimental research of Averaging Pitot Tube Flow Sensors with Flow Conditioning Wing", *International Conference on Electric Information and Control Engineering. School of Electrical Engineering and Automation. Tianjin University. Tianjin Key Laboratory of Process Measurement and Control. Tianjin. China*. DOI: 10.1109/ICEICE.2011.5778019.
16. Dobrowolski, B., Kabacinski, M., Pospolita, J. (2005), "A mathematical model of the self-averaging Pitot tube. A mathematical model of a flow sensor", *Flow Measurement and Instrumentation*. No. 16 (4), P. 251–265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2005.02.001>.

Надійшла (Received) 28.04.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Свита Максим Петрович – Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", аспірант кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, головний інженер ТОВ "НВФ "ПРОБА", Київ, Україна; email: max15s@ukr.net; ORCID: 0000-0003-0560-3620.

Свита Максим Петрович – Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", аспирант кафедры информационно-измерительных технологий, главный инженер ТОВ "НВФ "ПРОБА", Киев, Украина.

Svyta Maxim – National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Graduate Student of the Department of Information Measuring Technologies, Chief Engineer of TOV "NVF" PROBA", Kiev, Ukraine.

Защепкина Наталья Николаевна – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", профессор кафедры информационно-измерительных технологий, Киев, Украина; email: nanic1604@gmail.com; ORCID: 0000-0001-9397-6632.

Защепкина Наталья Николаевна – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", профессор кафедры информационно-измерительных технологий, Киев, Украина.

Zaschepkina Natalia – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Professor of the Department of Information Measuring Technologies, Kyiv, Ukraine.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ НАПОРНЫХ ТРУБОК

Предметом исследования в статье является напорные трубки, служащие датчиками для приборов, измеряющих скорость и расход газов пневмометрическим методом. **Цель** работы – совершенствование метода определения коэффициентов напорных трубок для повышения точности измерения скорости и расхода газов. В статье решена **задача** экспериментального определения коэффициентов точечных и усредняющих напорных трубок в диапазоне скоростей от 2 до 20 м/с. Рассчитаны средние коэффициенты напорных трубок и погрешность, вызванная смещением ориентации напорной трубки с оси потока на скорости 10 м/с при среднем значении коэффициента напорной трубки. В исследованиях использованы методы анализа и синтеза, аналитической и начертательной геометрии, теории вероятностей, математической статистики и численные методы с использованием компьютерных технологий. **Результаты** работы представлены в виде графических зависимостей коэффициента напорной трубки как функции скорости газового потока. Также показана графическая зависимость скорости потока от угла поворота оси напорной трубки относительно оси потока на скорости 10 м/с при среднем значении коэффициента напорной трубки для трубок, участвовавших в эксперименте. **Выводы:** усовершенствован метод для определения коэффициентов как точечных, так и усредняющих напорных трубок. Выявлено, что в большинстве трубок, которые исследовались коэффициент напорной трубки не стабилен, в диапазоне скоростей от 2 до 20 м/с. Таким образом, возникает дополнительная погрешность, вызванная нестабильностью коэффициента напорной трубки, так как коэффициент напорной трубки пропорционален скорости газового потока. Наиболее стабильные коэффициенты имеют трубки Пито и "ТНУ-8-6". Трубка Пито имеет средний коэффициент равный 1,009, стабильность коэффициента трубки относительно среднего значения составила $\pm 0,8\%$. Трубка "ТНУ-8-6" имеет средний коэффициент равный 0,6683, стабильность коэффициента трубки относительно среднего значения $\pm 1,3\%$. Также даны рекомендации по программному обеспечению измерителей скорости и расходомеров газов для уменьшения инструментальной погрешности.

Ключевые слова: напорная трубка; пневмометрический метод; коэффициент трубки; скорость; расход.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF PRESSURE TUBES COEFFICIENTS

The **subject** of this research is pressure tubes, which serve as sensors for instruments measuring the velocity and flow rate of gases by the pneumometric method. The **purpose** of the work is to improve the method of determining the coefficients of pressure tubes in order to increase the accuracy of measuring the velocity and flow rate of gases. The article solves the **problem** of experimental determination of the coefficients of a point and averaging pressure tubes in the velocity range from 2 to 20 m/s. The average coefficients of the pressure tubes and the error caused by the displacement of the orientation of the pressure tube from the flow axis at a speed of 10 m/s were calculated at the average value of the coefficient of the pressure tube for the studied tubes. The studies used methods of analysis and synthesis, analytical and descriptive geometry, probability theory, mathematical statistics, and numerical methods using computer technology. The **results** of the work are presented in the form of graphical dependencies of the pressure tube coefficient as a function of gas flow rate. The graphical dependence of the flow velocity on the angle of rotation of the axis of the pressure tube relative to the axis of the flow at a speed of 10 m/s at the average value of the coefficient of the pressure tube for the tubes that participated in the experiment is also shown. **Conclusions:** the method for determining the coefficients of a point and averaging pressure tubes has been improved. It was found that in most of the investigated tubes, the pressure coefficient of the pressure tube is not stable at the velocity range from 2 to 20 m/s. Thus, an additional error arises due to the instability of the pressure tube coefficient, since the coefficient of the pressure tube is proportional to the gas flow rate. The most stable coefficients are Pitot tubes and TNU-8-6. The Pitot tube has an average coefficient of 1.009, the stability of the coefficient of the tube relative to the average value was $\pm 0.8\%$. The TNU-8-6 tube has an average coefficient of 0.6683, and the tube coefficient stability for the average value is $\pm 1.3\%$. Also included are recommendations for velocity meter software and gas flowmeters to reduce instrumental error.

Keywords: pressure tube; pneumometric method; tube coefficient; velocity; flow.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Свита М. П., Защепкіна Н. М. Експериментальне визначення коефіцієнтів напірних трубок. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 148–156. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.148>.

Svyta, M., Zaschepkina, N. (2020), "Experimental determination of pressure tubes coefficients", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 148–156. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.148>.

УДК 621.3:004.7

DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.157>

Ю. С. Долгий

ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ПО КАНАЛУ З ВИПАДКОВИМ ДОСТУПОМ

Предметом статті є оцінка результатів математичної моделі, яка складається з систем рівнянь, які описують різноманітні стани системи та закони розподілу часу обслуговування пакетів, що дозволяє дослідити основні ймовірнісно-часові характеристики та проаналізувати роботу окремого пристрою системи. **Мета** статті полягає в оцінці результатів математичної моделі функціонування мережі передачі даних з конкуруючим доступом на основі комутуючого пристрою з кінцевим розміром буфера. Для досягнення максимальної ймовірності необхідно використовувати комутатори з оптимальним розміром буфера, щоб і затримка була невелика, і буфер не занадто швидко переповнювався при високій завантаженні комутатора, що являється **завданням** даної статті. Запропонована математична **модель**, яка складається з систем рівнянь, що описують різні стани системи та законів розподілу часу обслуговування пакетів, що дозволяє дослідити основні ймовірнісно-часові характеристики та проаналізувати роботу окремого пристрою системи та його взаємодію з іншими пристроями мережі на основі щільності розподілу ймовірності часу обслуговування пакету. Кінцевим **результатом** є отримані щільності розподілу часу доставки пакетів для різних режимів роботи системи можна апроксимувати відповідним аналітичним законом розподілу. Модель дозволяє розрахувати ймовірність доставки даних з урахуванням кінцевого розміру буферів використовуваних комунікаційних. **Висновком** можна вважати те що, для досягнення максимальної ймовірності необхідно використовувати комутатори з оптимальним розміром буфера, щоб і затримка була невелика, і буфер не занадто швидко переповнювався при високій завантаженні комутатора. Таким чином, за допомогою розробленої моделі можна вирішувати завдання вибору оптимального розміру буфера комутатора і оцінки часу доставки даних. Так як переповнення буферів призводить до втрат інформаційних кадрів, що, в свою чергу, призводить до збільшення часу доставки пакетів.

Ключові слова: стахостичність; мережа; пакет; комутатор; буфер; чисельні методи; граф станів; система рівнянь; передача даних; ймовірність.

Вступ

Для розробки математичної моделі в системі реального часу на основі протоколів з випадковим доступом необхідно провести її параметричну ідентифікацію. Для розрахунків по математичній моделі необхідно визначення всіх параметрів. Всі параметри моделі, крім пропускної здатності комутатора, визначаються режимом роботи.

Потребує уточнення пропускна здатність комутатора. Ймовірність успішного отримання в своє розпорядження загального середовища залежить від завантаженості мережі, визначається інтенсивність надсилання даних до мережі, від розміру буфера комутатора і його пропускної здатності. Інтенсивність надсилання даних до мережі залежить від кількості пристроїв які відправляють пакети і їх розміру. Внутрішня буферна пам'ять призначена для згладжування короткочасних пульсацій трафіку. Адже навіть якщо трафік добре збалансований і продуктивність процесорів портів, а також інших обробних елементів комутатора достатня для передачі середніх значень трафіку, то це не гарантує, що їх продуктивності вистачить при дуже великих пікових значеннях навантажень.

Швидкість фільтрації визначає швидкість, з якою комутатор виконує наступні етапи обробки кадрів: прийом кадру в свій буфер, перегляд адресної таблиці з метою знаходження порту для адреси призначення кадру, знищення кадру, так як його порт призначення збігається з портом-джерелом.

Швидкість просування визначає швидкість, з якою комутатор виконує етапи обробки кадрів, це прийом кадру в свій буфер, перегляд адресної таблиці з метою знаходження порту для адреси призначення

кадру, передача кадру в мережу через знайдений по адресній таблиці порт призначення.

В якості основного показника застосовується швидкість роботи комутатора, передача кадрів мінімальної довжини пояснюється тим, що такі кадри завжди створюють для комутатора найбільш важкий режим роботи в порівнянні з кадрами іншого формату при рівній пропускної здатності переносяться призначених для користувача даних. Тому при проведенні тестування комутатора режим передачі кадрів мінімальної довжини використовується як найбільш складний тест, який повинен перевірити здатність комутатора працювати при найгіршому поєднанні для нього параметрів трафіку [16].

Пропускна здатність комутатора вимірюється кількістю переданих в одиницю часу через його порти призначених для користувача даних. Так як комутатор працює на каналному рівні, то для нього одними даними є ті дані, які переносяться в поле даних кадрів протоколів каналного рівня Ethernet, Token Ring, FDDI і т.п.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Питанням моделювання систем реального часу з використанням каналів з випадковим доступом присвячені роботи А.П. Харкевича, Д. Флінта, Д. Бертсекаса, Р. Галагер і ін.

Моделювання систем з конкуруючим доступом до середовища передачі даних розглянуто в роботах А.А. Назарова, Г.І. Фаліна і ін. Аналіз існуючих математичних моделей, що описують процеси в системах реального часу з використанням каналів з випадковим доступом, показав, що вони не в повній

мірі враховують можливі причини затримок у часі доставки інформації. Крім того, вони дозволяють визначити лише середні або граничні параметри передачі даних, але не дають можливості дослідити закон розподілу часу доставки інформації. Рішення даних завдань дозволить розширити сферу використання і зменшити терміни проектування таких систем [5, 8].

Ціль та задачі дослідження

Мета статті полягає в оцінці результатів математичної моделі функціонування мережі передачі даних з конкуруючим доступом на основі комутуючого пристрою з кінцевим розміром буфера.

Для досягнення поставленої мети в дослідженні сформульовані наступні завдання:

- аналіз математичної моделі мережі, яка використовує конкуруючий доступ до середовища передачі даних;
- аналіз впливу розміру пакета даних та інтенсивності їх відправки на щільність розподілу ймовірностей і ймовірність доставки даних.

Основний матеріал

В результаті дослідження було розроблено математичну модель з використанням конкуруючого доступу до середовища передачі даних в системі реального часу [16]. Перед застосуванням отриманої математичної моделі для комплексного

дослідження потрібно оцінити адекватність отриманої математичної моделі. При побудові математичної моделі досліджуваного об'єкта зазвичай приймаються припущення, виконання кожного з яких є необхідною умовою правомірності застосування отриманої математичної моделі, тобто адекватності досліджуваної проблеми. Адекватність математичних моделей перевіряємо шляхом порівняння результатів теоретичного моделювання та експериментальних випробувань. Один з найбільш поширених способів такого дослідження – використання методів математичної статистики [7]. Суть цих методів полягає в перевірці висунутої гіпотези (в даному випадку - про адекватність моделі) на основі деяких статистичних критеріїв. При цьому слід зауважити, що при перевірці гіпотез методами математичної статистики необхідно мати на увазі, що статистичні критерії не можуть довести жодної гіпотези - вони можуть лише вказати на відсутність спростування. Дослідження чисельного рішення з експериментальними результатами (рис. 1) проводилися при наступних значеннях параметрів системи:

- кількість пристроїв в мережі – 10;
- розмір пакета – 400 байт;
- інтенсивність відправки – 550 пакетів в секунду;
- інтенсивність обробки – 6215 пакетів в секунду;
- розміру буфера комутатора – 2560 байт;
- розмір буфера в пакетах – 6553.

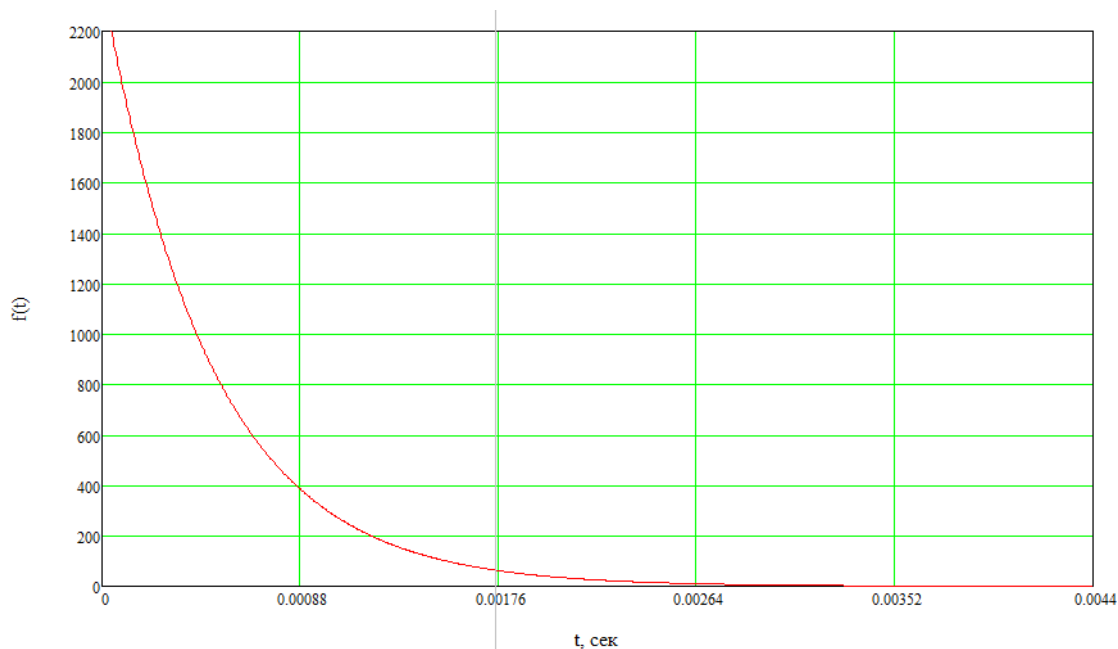


Рис. 1. Щільність розподілу ймовірності часу передачі пакету інформації, отримане експериментально і в результаті моделювання, 1 експеримент, 2 - математична модель

Для перевірки адекватності моделі використано критерій Колмогорова-Смірнова: $D_m=0,07514$, $D=0,2483009$, $D_m < D$, гіпотезу підтверджено [4].

Так, наприклад, розрахункове значення склало 0,07514 при відправці пакетів розміром 300 байт з інтенсивністю 800 пакетів в секунду, а критичне

0,2483009. Проведений в цьому розділі аналіз функціонування системи реального часу з передачею інформації по каналу з випадковим доступом дозволив розробити математичну модель, яка адекватно описує процеси, які реально відбуваються в таких системах. Отримані результати дозволили зробити висновок про

адекватність математичної моделі і довести високу ефективність запропонованого принципу модифікації посадочних місць. Таким чином, розроблена математична модель мережі передачі даних з конкуруючим доступом дозволяє враховувати недетермінованість передачі даних не тільки системи в цілому, а й від конкретного пристрою.

Аналіз математичної моделі мережі, яка використовує конкуруючий доступ до середовища передачі даних

Проведемо аналіз впливу кількості мережевих пристроїв на ймовірність доставки пакетів в мережах реального часу на щільність розподілу часу доставки пакетів.

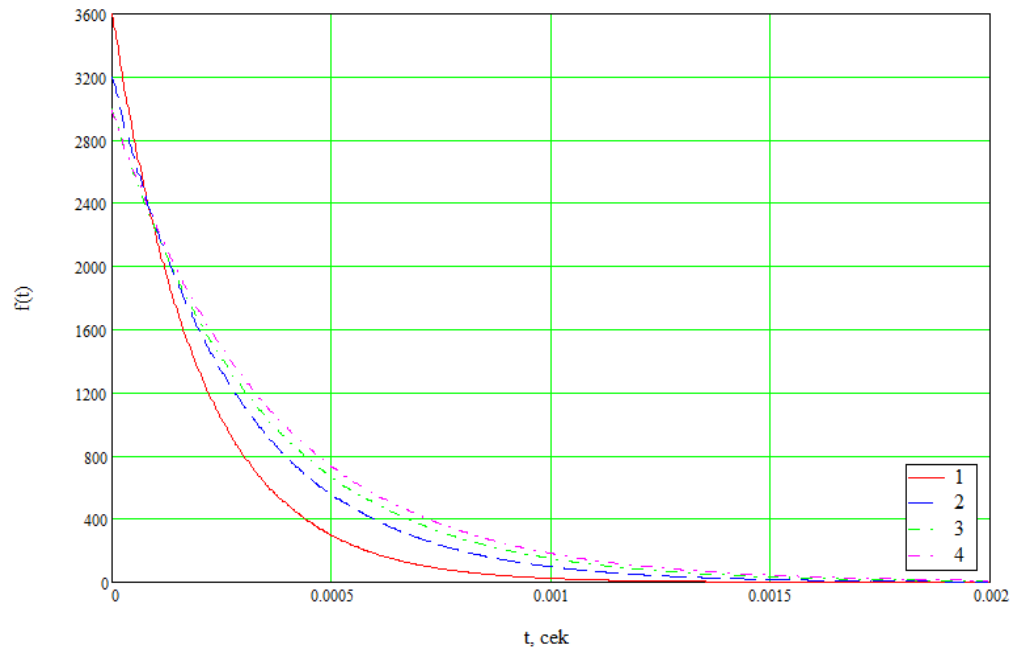


Рис. 2. Щільність розподілу часу доставки пакетів: 1 – 8 пристроїв; 2 – 16 пристроїв; 3 – 20 пристроїв; 4 – 24 пристроїв

Одним з найважливіших параметрів, що впливають на час доставки даних це кількість мережевих пристроїв на ділянці мережі. Аналіз результатів моделювання для 5, 10, 15 і 20 пристроїв при використанні пакетів розміром 1000 байт з інтенсивністю відправки 1000 пакетів в секунду і розміром буфера 512 кбайт (рис. 2 і рис. 3) показав, що при збільшенні кількості пристроїв, збільшується швидкість доставки пакетів і зменшується ймовірність їх доставки. Це пояснюється тим, що збільшення

обсягу переданої інформації веде до збільшення пропускної здатності комутатора, так як шини комутаторів більш продуктивні, ніж мережа Ethernet. Слід звернути увагу на зниження ймовірності доставки пакетів при збільшенні завантаженості мережі. Так що встановилася ймовірність доставки при роботі 5 пристроїв близька до 1, а при роботі 20 пристроїв ймовірність становить 0,92, рис. 2 та рис. 3 [16].

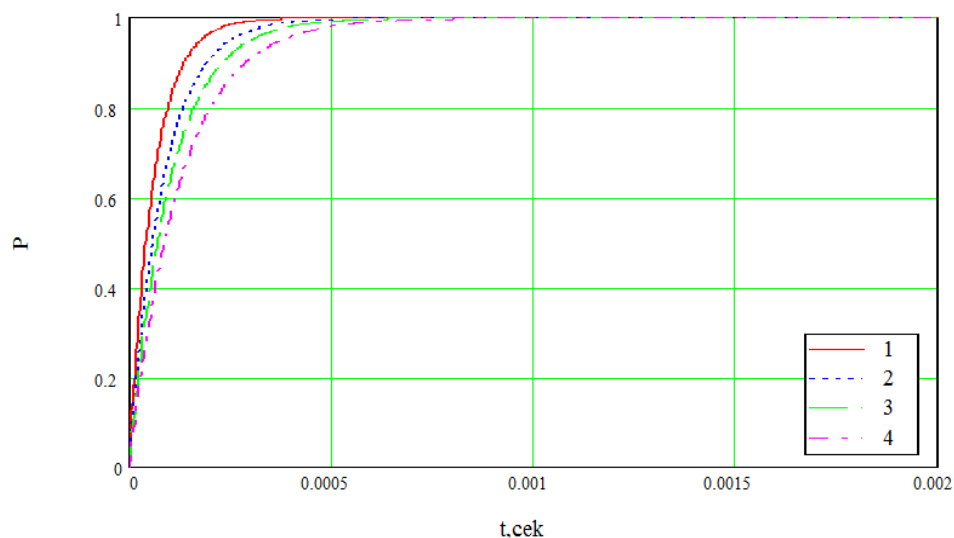


Рис. 3. Ймовірність доставки пакетів: 1 – 8 пристроїв; 2 – 16 пристроїв; 3 – 20 пристроїв; 4 – 24 пристроїв

Розроблена математична модель дозволяє розраховувати параметри мережі або накладати обмеження на параметри для досягнення заданого часу доставки [9]. Для досягнення необхідної ймовірності доставки пакетів в заданий проміжок часу можна розрахувати основні параметри мережі.

Вплив розміру пакета даних та інтенсивності їх відправки на щільність розподілу ймовірностей і ймовірність доставки даних

На час доставки даних суттєво впливають розміри пакетів, що передаються в мережі в реальному часі. В даному випадку затримки під час доставки пакету створюються через заповнення

буфера комутатора, таким чином можна сказати, що використовуючи розмір пакета найменшої довжини, можна зменшити затримки. Так само, розмір пакету суттєво впливає і на ефективність роботи мережі. Занадто великі розміри пакетів наближають мережа з комутацією пакетів до мережі з комутацією каналів, тому ефективність мережі при цьому падає. Занадто маленькі пакети помітно збільшують частку службової інформації, так як кожен пакет несе з собою заголовок фіксованої довжини, а кількість пакетів, на які розбиваються повідомлення, буде різко зростати при зменшенні розміру пакета [15].

На рис. 4 відображена залежність щільності розподілу часу доставки пакетів від розміру.

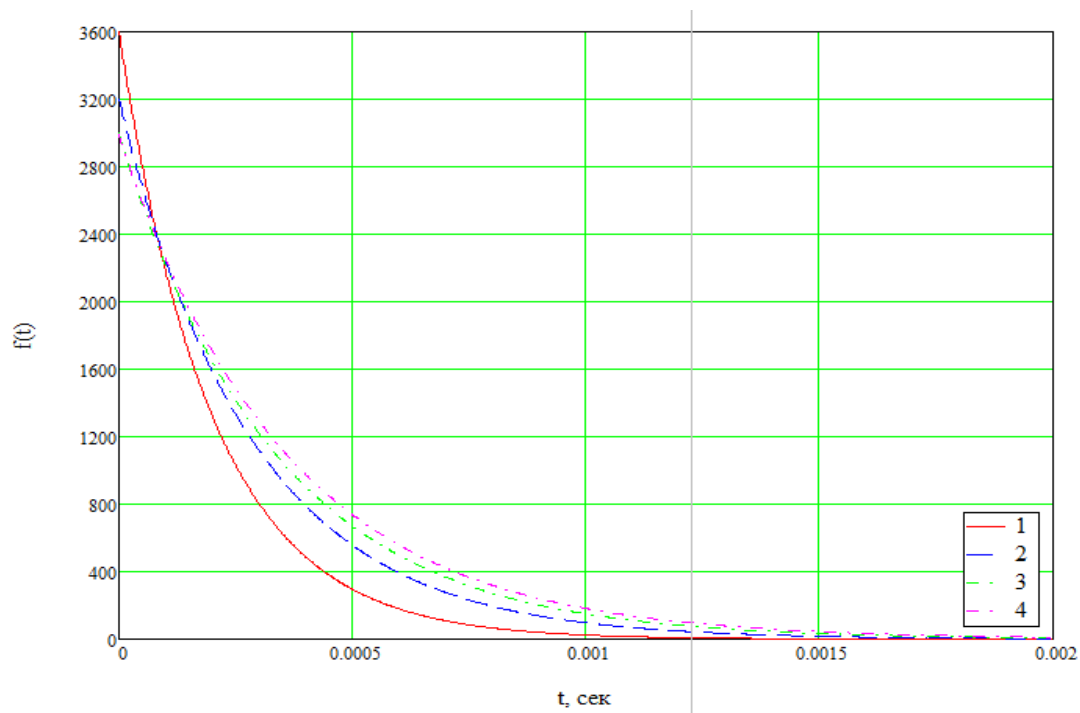


Рис. 4. Графік щільності розподілу часу доставки пакетів різного розміру пакетів: 1 – 1000 байт, 2 – 512 байт; 3 – 1256 байт; 4 – 128 байт

Існує деяка золота середина, яка забезпечує максимальну ефективність роботи мережі, однак її важко визначити точно, так як вона залежить від багатьох факторів, деякі з них до того ж постійно змінюються в процесі роботи мережі. Необхідно відзначити, що збільшення розміру пакетів може збільшити пропускну здатність мережі тільки в тому випадку, коли дані в мережі спотворюються або втрачаються, при стійкій роботі мережі. В іншому випадку збільшення розміру пакета може призвести не до підвищення, а до зниження пропускну здатності, так як мережа буде повторно передавати великий обсяг даних. Для кожного рівня спотворень даних можна підібрати раціональний розмір пакета, для якого пропускну здатність мережі буде максимальною [13].

Вплив розміру пакета на ймовірність доставки даних зображена на рис. 5.

Розроблена математична модель дозволяє розраховувати параметри мережі або накладати обмеження на параметри для досягнення заданого часу доставки. Для досягнення необхідної ймовірності доставки пакетів в заданий проміжок часу можна розрахувати основні параметри мережі.

Максимальний розмір пакета тільки створює передумови для підвищення пропускну здатності, та залежить від додатків, чи буде використана ця максимальна величина даних чи ні. Якщо, наприклад, додаток веде роботи з базою даних і пересилає на сервер SQL-запити, отримуючи у відповідь по одному короткому запису, то максимальний розмір поля даних в 4 або 16 кбайт ніяк не допоможе підвищити пропускну здатність мережі. Налаштування розміру переданих даних зазвичай відбувається на транспортному рівні стека протоколів і, можливо, на прикладному, якщо розробник програми передбачив таку можливість [6].

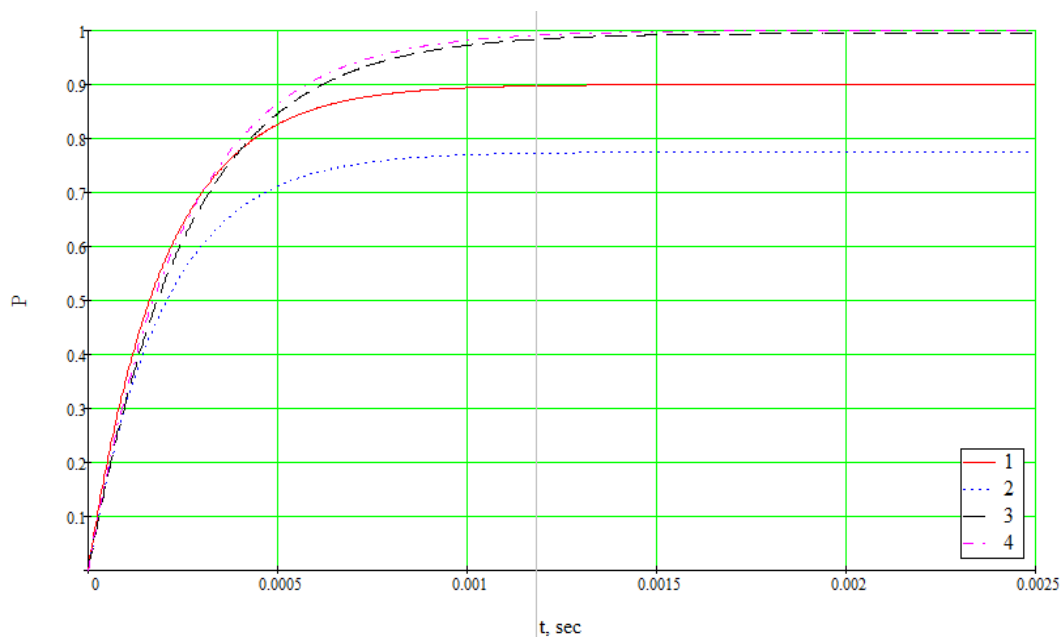


Рис. 5. Графік ймовірності часу доставки пакетів різного розміру пакетів, 1 – 1000 байт, 2 – 512 байт, 3 – 1256 байт; 4 – 128 байт

Робота з пакетами великих розмірів підвищує продуктивність мережі не тільки за рахунок зменшення накладних витрат на службову інформацію заголовка. При використанні великих пакетів підвищується продуктивність комунікаційного обладнання, що працює з кадрами та пакетами, тобто мостів, комутаторів і маршрутизаторів. Це відбувається через те, що при передачі одного і того ж обсягу інформації число використаних великих пакетів істотно менше, ніж число маленьких, а так як комунікаційне обладнання витрачає певний час на обробку кожного пакета, то й тимчасові втрати просування пакетів мостами, комутаторами і маршрутизаторами при використанні великих пакетів

менше [2]. Наприклад, максимальна ймовірність доставки пакетів за проміжок часу то 0,001 до 0,002 секунди досягається при розмірі пакетів 100 байт. Наступним параметром, що впливає на затримки під час доставки пакетів є інтенсивність їх відправки в мережу (рис. 6). Для представлених параметрів щільність розподілу ймовірності при інтенсивності відправки пакетів менше 1000 пакетів в секунду черг також не утворюється.

При збільшенні значення інтенсивності навантаження, відбувається зниження продуктивності мережі, пов'язане з збільшенням частки несвоєчасно доставлених даних. Вплив інтенсивності відправлення даних у мережу зображено на рис. 7.

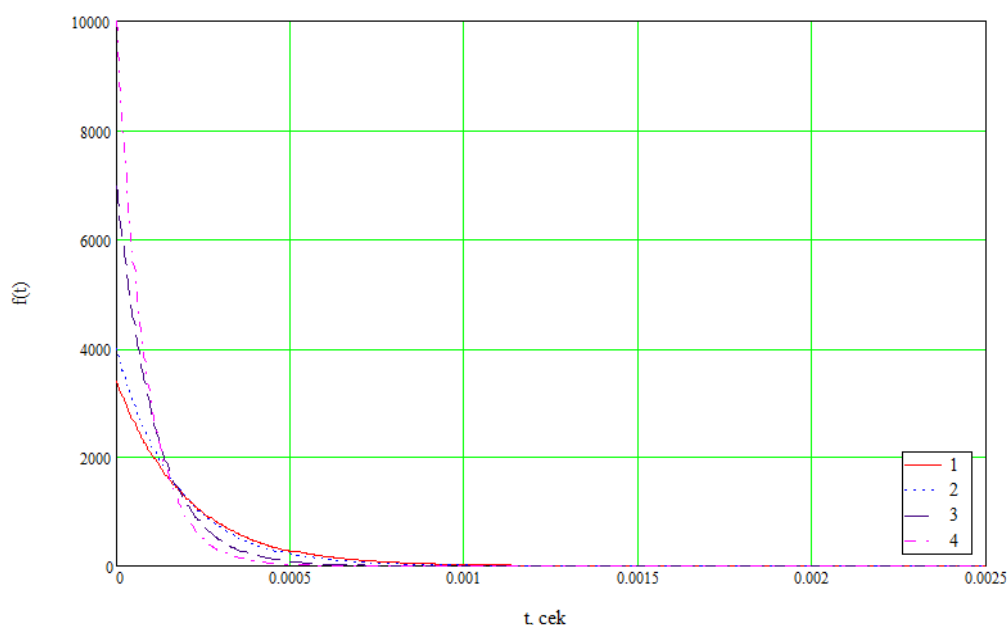


Рис. 6. Графік щільності розподілу ймовірності часу доставки пакетів при інтенсивності їх відправки 1 – 1000 пакетів в секунду; 2 – 900 пакетів в секунду; 3 – 600 пакетів в секунду; 4 – 300 пакетів в секунду. 4 – 1500 пакетів в секунду

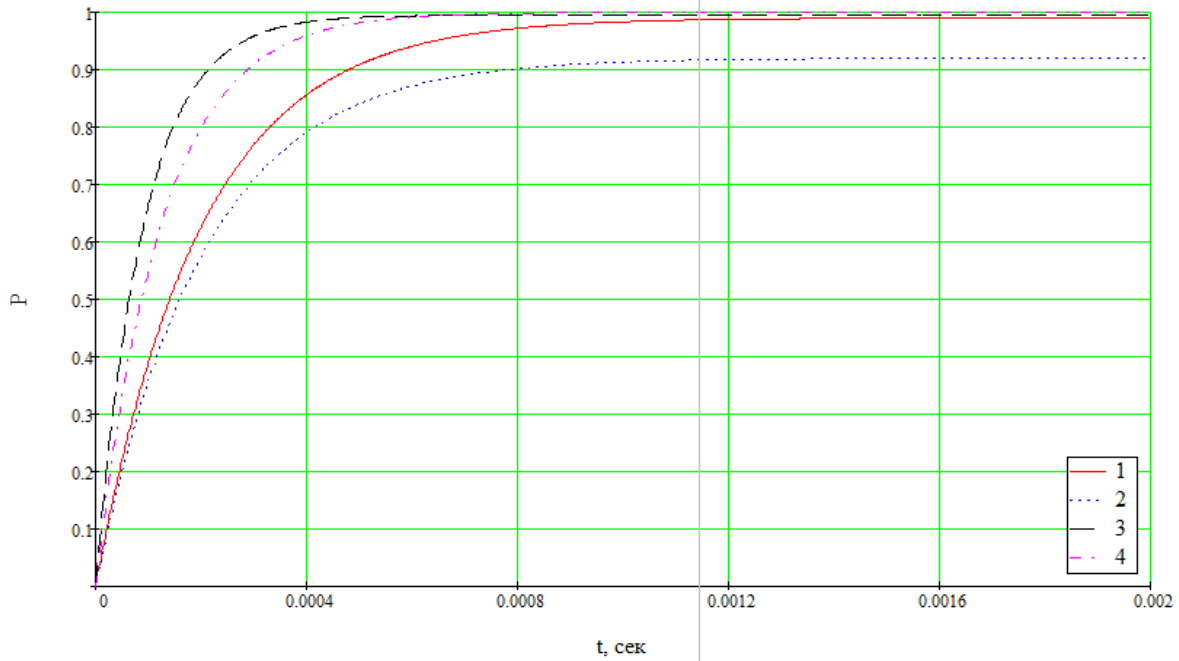


Рис. 7. Графік ймовірності часу доставки пакетів при інтенсивності їх відправки: 1 – 1000 пакетів в секунду; 2 – 900 пакетів в секунду; 3 – 600 пакетів в секунду; 4 – 300 пакетів в секунду

Розглянемо аналіз впливу параметрів математичної моделі на числові характеристики розподілу ймовірностей

Важливими числовими характеристиками розподілу ймовірностей є математичне очікування, дисперсія часу обслуговування заявки. Розглянемо, який вплив на них справляють зміни параметрів моделювання: кількість пристроїв у мережі, розмір пакетів, інтенсивність відправки даних в мережу [14].

Аналіз математичного очікування проводиться при дослідженні впливу інтенсивності відправки пакетів і розміру пакетів на час доставки пакетів [1]. Для аналізу тимчасові характеристики була проведена серія експериментів, які реалізують обмін пакетами

даних між пристроями мережі. В якості системи реального часу розглядалася локальна інформаційна мережа, що використовує протокол випадкового доступу Ethernet. Для завантаження мережі використовувалося десять комп'ютерів, що обмінюються пакетами розміром 800, 1200 і 1500 байт; частота обміну задавалося рівній 800, 1000 і 1200 пак/с. Інтенсивне зростання математичного очікування при різній інтенсивності відправки пакетів починається з зростання його розміру з 800 кбайт (рис. 8).

На рис. 9 відображена залежність середньоквадратичного відхилення часу доставки пакетів від інтенсивності їх відправки.

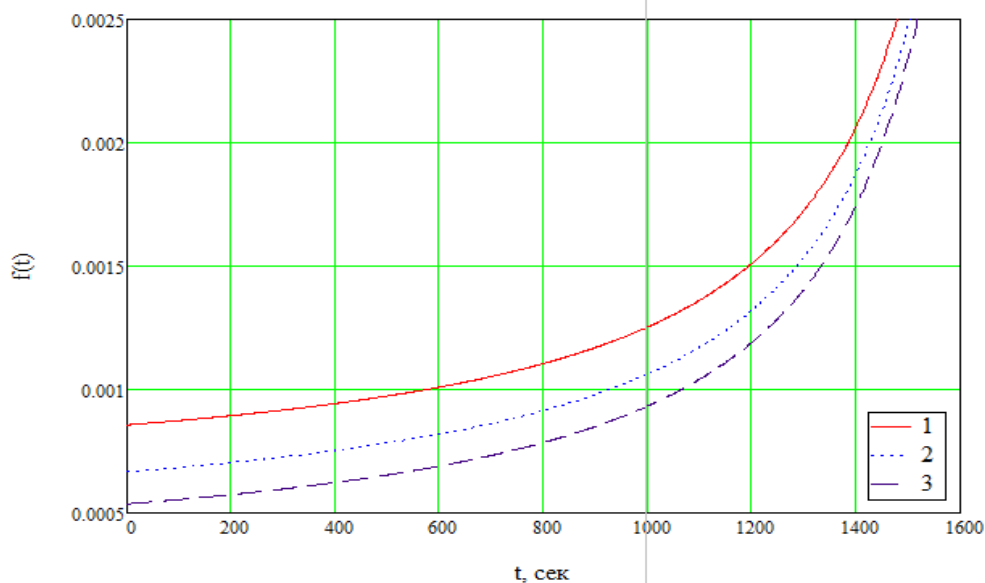


Рис. 8. Залежність математичного сподівання часу доставки пакетів від розміру пакету: 1 – інтенсивність відправки 100 пакетів у секунду; 2 – інтенсивність відправки 1000 пакетів в секунду, 3 – інтенсивність відправлення 1200 пакетів в секунду

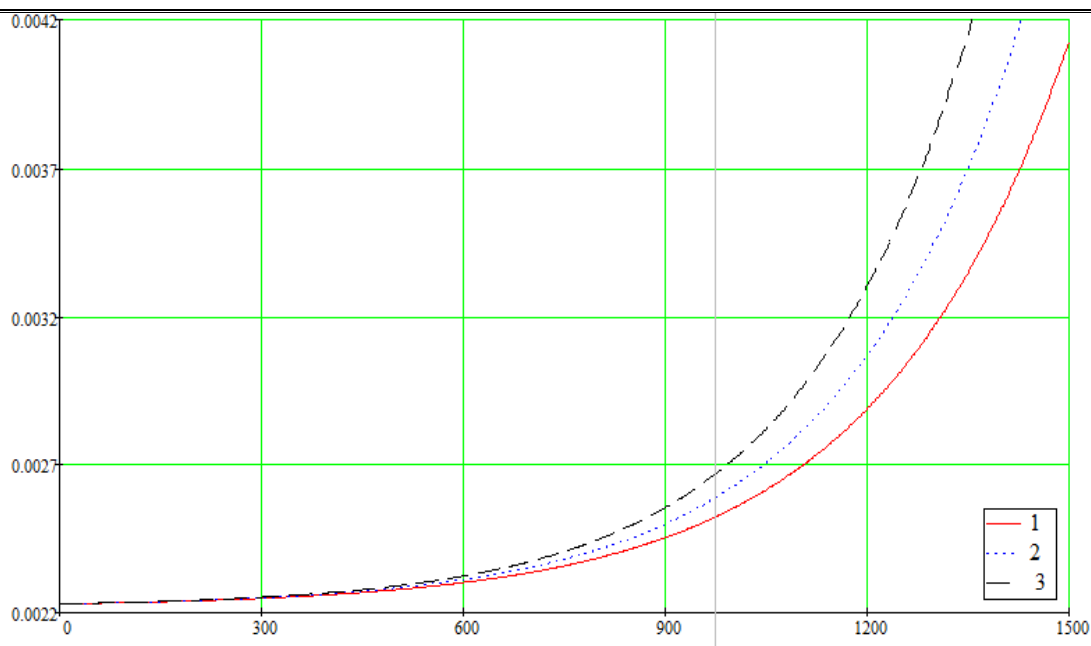


Рис. 9. Залежність середньоквадратичного відхилення часу доставки пакетів від розміру пакету: 1 – інтенсивність відправки 800 пакетів в секунду, 2 – інтенсивність відправки 1000 пакетів в секунду; 3 – інтенсивність відправлення 1200 пакетів в секунду

Таким чином, значне відхилення дисперсії часу доставки пакетів спостерігається при відправці пакетів розміром більше 800 кбайт. Для оцінки впливу інтенсивності відправки пакета на математичне сподівання і дисперсію змодельовано роботу мережі Ethernet при постійному розмірі пакета і інтенсивність відправлення від 900 пакетів секунду до 2000. Таким чином, графік залежності і математичного очікування від інтенсивності відправлення пакетів у мережу представлений на рис. 10.

Вплив інтенсивності відправки на середньоквадратичне відхилення часу доставки пакетів відображено на рис. 11.

Аналіз впливу розміру обсягу буферної пам'яті на математичне очікування ймовірності доставки пакетів, проводиться при моделюванні системи реального часу зі зміною обсягу буферної пам'яті від 4 до 24 кбайт, розмір пакета 500 байт і інтенсивність відправки файлів у мережу від 500 до 1500 пакетів в секунду. На рис. 16 відображена залежність математичного сподівання від розмірів обсягу буферної пам'яті.

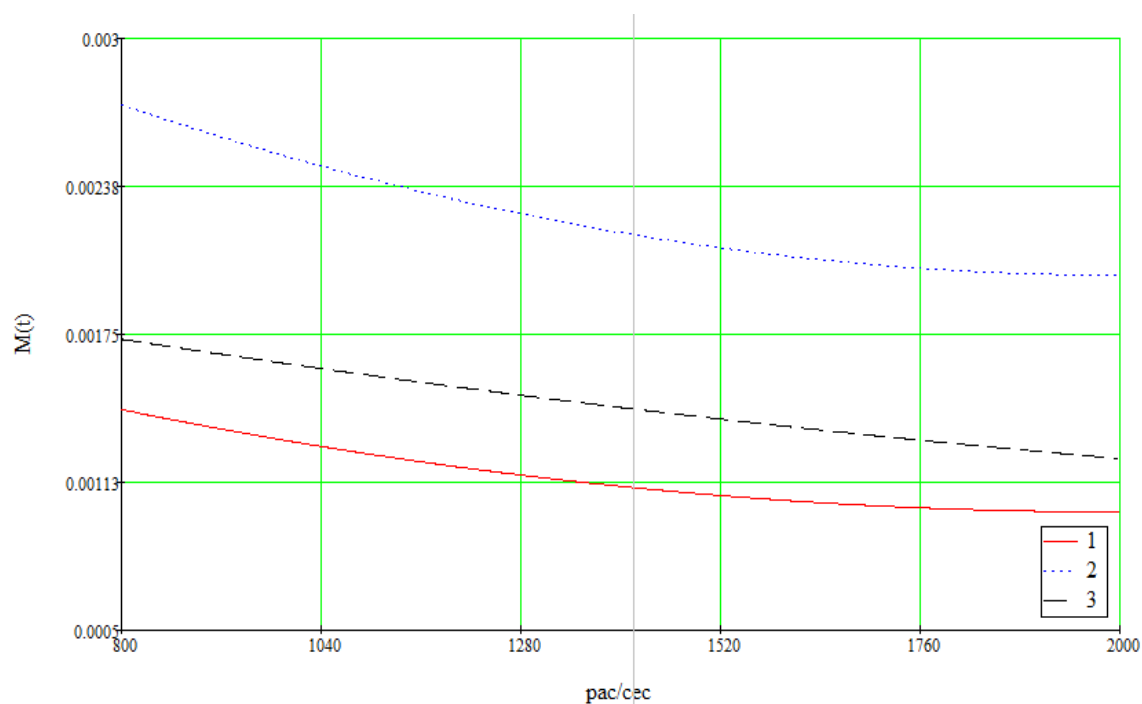


Рис. 10. Залежність математичного сподівання часу доставки пакетів від інтенсивності їх відправки. 1 – розміру пакета 1000 байт; 2 – розміру пакета 1200 байт; 3 – розмір пакета 1500 байт

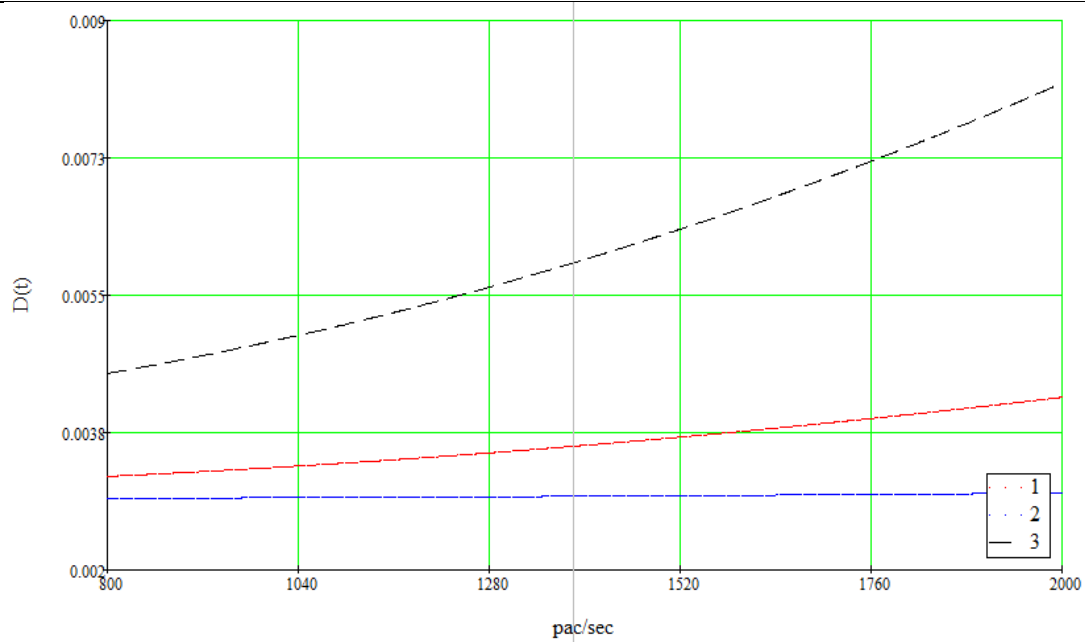


Рис. 11. Залежність середньоквадратичного відхилення часу доставки пакетів від інтенсивності їх відправки: 1 – розміру пакета 1000 байт; 2 – розміру пакета 1200 байт; 3 – розмір пакета 1500 байт

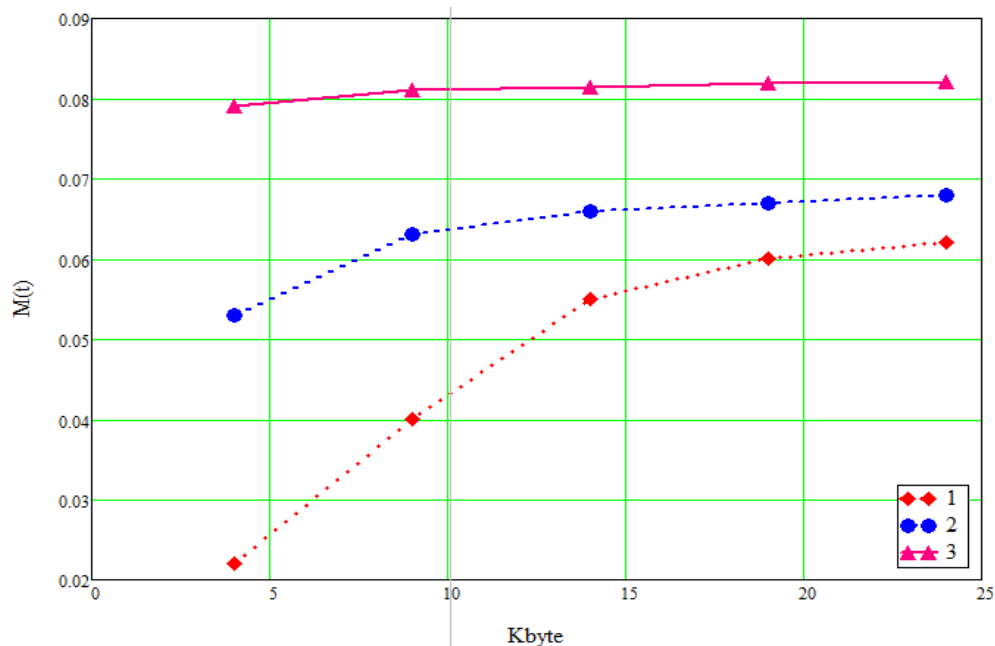


Рис. 12. Залежність математичного сподівання часу доставки пакетів від розмірів буфера комутатора 1 – інтенсивність 500 пакетів в секунду, 2 – інтенсивність 1000 пакетів в секунду, 3 – інтенсивність 1500 пакетів в секунду

Таким чином, розроблена математична модель дозволяє оцінювати вплив різних параметрів передачі даних на дисперсію і математичного очікування часу затримки даних в мережах з різними параметрами і протоколами доступу, який використовує конкуруючий доступ до середовища передачі інформації. Отримані дані слід враховувати при проектуванні та модернізації інформаційних мереж реального часу.

Розглянемо вплив обсягу буферної пам'яті на імовірнісні характеристики мережі, з конкурентним доступом до середовища передачі даних [3].

Множинний конкуруючий метод доступу до середовища передачі даних, на якому ґрунтуються

протоколи, вносить невизначеність часу передачі даних, що впливає на якість перехідних процесів системи управління і на її стійкість в цілому. Один з факторів, що впливають на стахостичність доставки пакетів, є наявність черг при передачі даних по мережі через концентратори і комутатори. При малих розмірах буфера виникають, дуже великі затримки під час доставки, а при великих значеннях, черги практично відсутні [11].

Для аналізу впливу розміру буфера комутатора на час доставки пакетів, проведемо моделювання роботи мережі Ethernet при розмірі буфера 4,8 і 16 кбайт, вибір даного розміру буфера обумовлений моделювання системи з безперервним заповненням

буферної пам'яті. Сумарна навантаження на мережу проводиться відправкою пакетів з інтенсивністю 300 пакетів в секунду розміром 500 байт, всього працюють 10 станцій. Оцінка часу доставки пакетів виконана на основі обчислення різниці штампів часу доставки і почала відправлення пакетів для пари взаємодіючих термінальних пристроїв. Для

ідентифікації кадру використаний його порядковий номер, унікальний для кожного передавального термінального пристрою. Збільшення навантаження на мережу може призвести до критичних навантажень. Вплив розміру буфера на продуктивність мережі зображена на рис. 13.

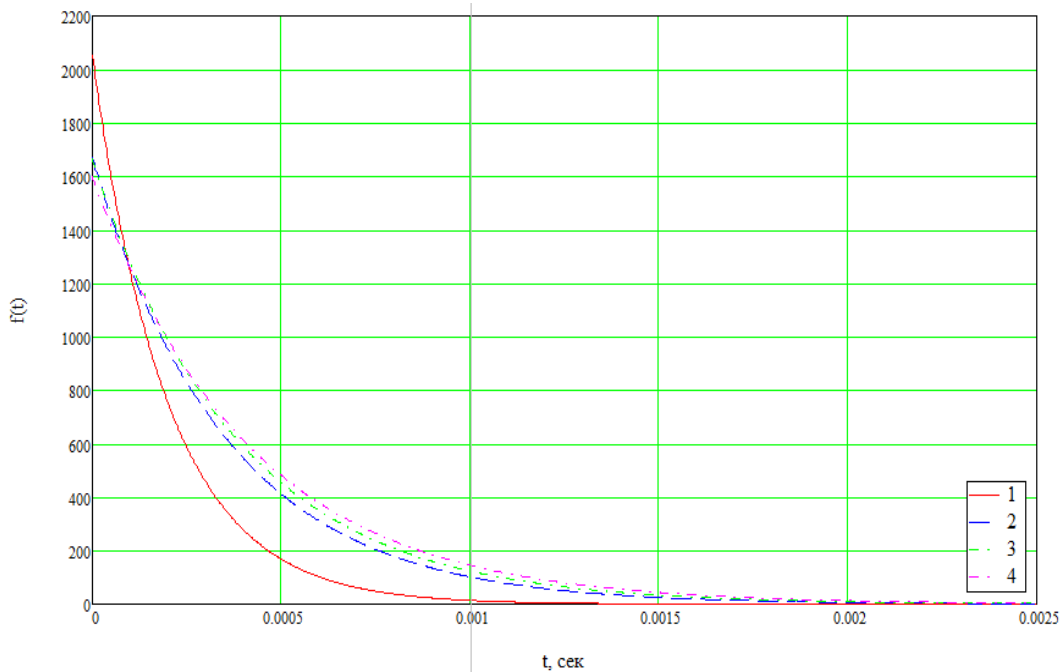


Рис. 13. Щільність розподілу часу доставки об'єму буфера комутатора пакетів 1 – 4 кбайт, 2 – 8 кбайт, 3 – 16 кбайт, 4 – 32 кбайт, 4 – 64 кбайт

На величину затримки впливає також і розмір вхідного та вихідного буфера комутатора. Чим більше розмір буфера, тим менша ймовірність, що він переповниться при високій завантаженні комутатора. Однак чим більше розмір буфера, тим більше

затримка при передачі даних. Якщо ж буфер малий, то і затримка мала, але буфер може швидко переповнюватися при високій завантаженні комутатора (рис. 14).

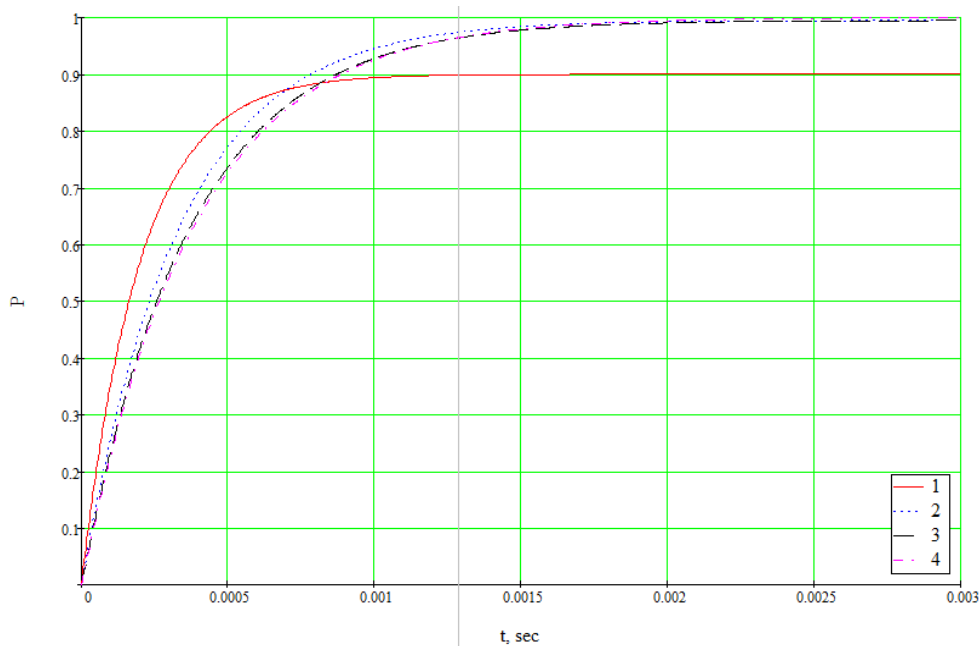


Рис. 14. Залежність ймовірності часу доставки пакетів від об'єму буфера комутатора пакетів: 1 – 4 кбайт; 2 – 8 кбайт; 3 – 16 кбайт; 4 – 32 кбайт; 4 – 64 кбайт

Висновки

При невеликих розмірах об'єму буфера продуктивність мережі збільшується, це обумовлено більшою швидкістю обробки пакетів у пристрої, але ймовірність доставки знижується, так як із-за малого об'єму буферного простору відбувається його переповнення і частина пакетів втрачається це призводить до повторного їх відправки.

Таки чином, для досягнення максимальної ймовірності необхідно використовувати комутатори з оптимальним розміром буфера, щоб і затримка була невелика, і буфер не занадто швидко переповнювався при високій завантаженні комутатора. Аналіз залежності часу доставки пакетів від розміру буфера показує, що для мереж Ethernet на базі комутаторів

час транзакції істотно залежить від розміру буфера. В області великих завантажень портів комутаторів малий розмір буферів може призводити до збільшення часу доставки пакетів в кілька разів. Це, в свою чергу, може викликати блокування та припинення функціонування додатків, час виконання яких критично до затримок. Таким чином, за допомогою розробленої моделі можна вирішувати завдання вибору оптимального розміру буфера комутатора і оцінки часу доставки даних. Так як переповнення буферів призводить до втрат інформаційних кадрів, що, в свою чергу, призводить до збільшення часу доставки пакетів. Модель дозволяє розрахувати ймовірність доставки даних з урахуванням кінцевого розміру буферів використовуваних комунікаційних вузлів.

Список літератури

1. Алиев Т. И. Основы моделирования дискретных систем. СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. 363 с.
2. Башарин Г. П., Коган Я. А. Анализ очередей в вычислительных сетях. Теория и методы расчета. Москва : Наука, 2009.
3. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : Учебник для вузов. 4-е изд. СПб. : Питер, 2010. 944 с.
4. Берж К. Теория графов и ее применения / Пер. с фр. М. : Иностранной литературы, 2002. 320 с.
5. Столлинс В. Современные компьютерные сети. 2-е изд. СПб. : Питер, 2003. С. 783.
6. Назаров А. А., Юревич Н. М. Исследование сети с динамическим протоколом случайного множественного доступа Алоха. Автоматизация и вычислительная техника. 1995. № 6. С. 53–59.
7. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование. М. : Наука, 2007. 316 с.
8. Вегенша Ш. Качество обслуживания в сетях IP. / пер. с англ. М. : Издательский дом "Вильямс", 2003. 386 с.
9. Дымарский Я. С. Проблемы оптимизации распределения ресурсов в сетях связи. *Телекоммуникации*. 2002. № 3. С. 12–17.
10. Кучерявый Е. А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. М. : Наука и Техника, 2004. 336 с.
11. PROFIBUS Comprehensive Protocol Overview, URL: <http://www.rtaautomation.com/profibus/>
12. Lee G. M. A survey of multipath routing for traffic engineering. *Proc. of LNCS 3391*. Springer-Verlag. 2005. Vol. 4. P. 635–661.
13. Vutukury S. Multipath routing mechanisms for traffic engineering and quality of service in the Internet. PhD Dissertation. University of Kalifornia, 2001. 152 p.
14. Tahilramani K. H., Weiss A., Kanwar S., Kal0ya-Naraman S., Gandhi. A. BANANAS: An evolutionary framework for explicit and multipath routing in the internet. *Proc. ACM SIGCOMM Workshop on Future Directions in Network Architecture*. Karlsruhe. 2003. P. 277–288.
15. Gallager R. G. A minimum delay routing algorithm using distributed computation. *IEEE Trans. on communications*. 2005. Vol. 25. № 1. P. 73–85.
16. Литвиненко М. І., Долгий Ю. С., Хмелевський С. І. Моделювання передачі даних по каналу з випадковим доступом. Системи озброєння і військова техніка. X. : ХУПС, 2016. Вип. 2 (46). С. 124–128.

References

1. Aliev, T. I. (2009), *Fundamentals of modeling discrete systems [Osnovy modelirovaniya diskretnykh sistem]*, Spb, SPbSU ITMO, 363 p.
2. Basharin, G. P., Kogan, Ya. A. (2009), *Queue analysis in computer networks. Theory and calculation methods [Analiz ochereyey v vychislitel'nykh setyakh. Teoriya i metody rascheta]*, Moscow, Science.
3. Olifer, V. G. (2010), *Computer networks. Principles, technologies, protocols [Komp'yuternyye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly]*, 4th ed. SPb, Peter, 944 p.
4. Berge, K. (2002), *Graph Theory and its Applications [Teoriya grafov i yeye primeneniya]* / Per. with fr. Moscow, Foreign Literature, 320 p.
5. Stallings V. (2003), *Modern computer networks [Sovremennyye komp'yuternyye seti]*, 2nd ed. SPb : Piter, 783 p.
6. Nazarov, A. A., Yurevich, N. M. (1995), "Network research with dynamic Aloha random multiple access protocol" ["Issledovaniye seti s dinamicheskim protokolom sluchaynogo mnozhestvennogo dostupa Alokha"], *Automation and Computer Technology*, No. 6, P. 53–59.
7. Samarsky, A. A., Mikhailov, A. P. (2007), *Mathematical modeling [Matematicheskoye modelirovaniye]*, Moscow, Nauka, 316 p.
8. Vegensha, Sh. (2003), *Quality of service in IP networks [Kachestvo obsluzhivaniya v setyakh IP]* / per. from English, Moscow, Williams Publishing House, 386 p.
9. Dymarsky, Ya. S. (2002), "Problems of optimization of resource allocation in communication networks" ["Problemy optimizatsii raspredeleniya resursov v setyakh svyazi"], *Telecommunications*, No. 3, P. 12–17.
10. Kucheryavy, E. A. (2004), *Traffic management and quality of service on the Internet [Upravleniye trafikom i kachestvo obsluzhivaniya v seti Internet]*, Moscow, Science and Technology, 336 p.
11. PROFIBUS Comprehensive Protocol Overview, available at : <http://www.rtaautomation.com/profibus/>
12. Lee, G. M. (2005), "A survey of multipath routing for traffic engineering", *Proc. of LNCS 3391*, Springer-Verlag, Vol. 4, P. 635–661.

13. Vutukury, S. (2001), Multipath routing mechanisms for traffic engineering and quality of service in the Internet, PhD Dissertation, University of Kalifornia, 152 p.
14. Tahirramani, K. H., Weiss, A., Kanwar, S., Kalya-Naraman, S., Gandhi, A. (2003), "BANANAS: An evolutionary framework for explicit and multipath routing in the internet", *Proc. ACM SIGCOMM Workshop on Future Directions in Network Architecture. Karlsruhe*, P. 277–288.
15. Gallager, R. G. (2005), "A minimum delay routing algorithm using distributed computation", *IEEE Trans. on communications*, Vol. 25, № 1, P. 73–85.
16. Litvinenko MI, Dolgij Yu. S., (2016), "Khmelevsky SI Modeling of data transmission on a channel with random access" ["Modelyuvannya peredachi danykh po kanalu z vypadkovym dostupom"], *Systems of Arms and Military Equipment*, Vol. 2 (46), P. 124–128.

Надійшла (Received) 01.04.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Долгий Юрій Сергійович – кандидат технічних наук, Харківський національний університет повітряних сил імені Івана Кожедуба, начальник навчального відділу, Харків, Україна; email: nanavi@meta.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2441-0277>.

Долгий Юрий Сергеевич – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, начальник учебного отдела, Харьков, Украина.

Dolhyi Yurii – PhD (Engineering Sciences), Ivan Kozhedub National Air Force University, Head of the Training Department, Kharkiv, Ukraine.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО КАНАЛУ СО СЛУЧАЙНЫМ ДОСТУПОМ

Предметом статьи является оценка результатов математической модели, которая состоит из систем уравнений, описывающих различные состояния системы и законы распределения времени обслуживания пакетов, позволяющая исследовать основные вероятностно-временные характеристики и проанализировать работу отдельного устройства системы. **Цель** статьи заключается в оценке результатов математической модели функционирования сети передачи данных с конкурирующим доступом на основе коммутирующего устройства с конечным размером буфера. Для достижения максимальной вероятности необходимо использовать коммутаторы с оптимальным размером буфера, чтобы и задержка была небольшой, и буфер не слишком ли быстро переполнялся при высокой загрузке коммутатора, является **задачей** данной статьи. Предложенная математическая **модель**, которая состоит из систем уравнений, описывающих различные состояния системы и законов распределения времени обслуживания пакетов, позволяет исследовать основные вероятностно-временные характеристики и проанализировать работу отдельного устройства системы и его взаимодействие с другими устройствами сети на основе плотности распределения вероятности времени обслуживания пакета. Конечным **результатом** является полученные плотности распределения времени доставки пакетов для различных режимов работы системы можно аппроксимировать соответствующим аналитическим законом распределения. Модель позволяет рассчитать вероятность доставки данных с учетом конечного размера буферов используемых коммуникационных. **Выводом** можно считать то, для достижения максимальной вероятности необходимо использовать коммутаторы с оптимальным размером буфера, чтобы и задержка была небольшой, и буфер не слишком ли быстро переполнялся при высокой загрузке коммутатора. Таким образом, с помощью разработанной модели можно решать задачу выбора оптимального размера буфера коммутатора и оценки времени доставки данных. Так как переполнение буфера приводит к потерям информационных кадров, что, в свою очередь, приводит к увеличению времени доставки пакетов.

Ключевые слова: стохастичность; сеть; пакет; коммутатор; буфер; численные методы; граф состояний; система уравнений; передача данных; вероятность.

EVALUATION OF SIMULATION RESULTS OF DATA TRANSMISSION MODELING ON A CHANNEL WITH RANDOM ACCESS

The **subject** of the article is the evaluation of the results of a mathematical model consisting of systems of equations that describe the various states of the system and the laws of distribution of packet service time, which allows to investigate the main probability-time characteristics and analyze the operation of a single device. The **purpose** of the article is to evaluate the results of a mathematical model of the operation of a data network with competing access based on a switching device with a finite buffer size. To achieve the maximum probability, it is necessary to use switches with the optimal size of the buffer, so that the delay was small, and the buffer did not overflow too quickly at high load of the switch, which is the **task** of this article. A mathematical model consisting of systems of equations describing different states of the system and packet service time distribution laws is proposed, which allows to investigate the main probability-time characteristics and analyze the operation of a single system device and its interaction with other network devices based on the density of the probability distribution of packet service time. The final **result** is the obtained distribution densities of packet delivery time for different operating modes of the system that can be approximated by the corresponding analytical distribution law. The model allows to calculate the probability of data delivery, taking into account the final size of the buffers used by the data. The **conclusion** can be considered that, for achievement of the maximum probability it is necessary to use switches with the optimum size of the buffer that both delay was small, and the buffer is not overflowed too quickly at high loading of the switch. Thus, with the help of the developed model it is possible to solve the problem of choosing the optimal size of the switch buffer and

estimating the data delivery time. Since buffer overflow leads to loss of information frames, which, in turn, leads to increased packet delivery time.

Keywords: stochasticity; network; package; switchboard; buffer; numerical methods; state graph; system of equations; data transmission; probability.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Долгий Ю. С. Оцінка результатів моделювання передачі даних по каналу з випадковим доступом. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 157–168. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.157>.

Dolhyi, Yu. (2020), "Evaluation of simulation results of data transmission modeling on a channel with random access", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 157–168. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.157>.

УДК 621.391

DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.169>

О. В. ЛЕМЕШКО, М. О. ЄВДОКИМЕНКО

МЕТОД ІЄРАРХІЧНОЇ МІЖДОМЕННОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ У ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНІЙ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ МІЖКІНЦЕВОЇ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Предметом дослідження в статті є процеси міждоменної маршрутизації із забезпеченням міжкінцевої якості обслуговування. **Мета** роботи – розробити метод ієрархічної міждоменної маршрутизації із забезпеченням міжкінцевої якості обслуговування по показнику середньої міжкінцевої затримки пакетів в мультидоменній програмно-конфігурованій телекомунікаційній мережі. У статті вирішуються наступні **завдання**: розробка та дослідження методу ієрархічної міждоменної маршрутизації із забезпеченням міжкінцевої якості обслуговування. Використовуються такі методи: теорія графів, теорія тензорів, теорія ієрархічних багаторівневих систем, теорія масового обслуговування та методи математичного програмування. Отримано наступні **результати**: розроблено та досліджено метод ієрархічної міждоменної маршрутизації у програмно-конфігурованій телекомунікаційній мережі із забезпеченням міжкінцевої якості обслуговування, який дозволяє на підставі балансування навантаження в доменах телекомунікаційної мережі забезпечити заданий рівень QoS за показниками продуктивності та середньої міжкінцевої затримки пакетів. **Висновки**: В роботі запропоновано метод ієрархічної міждоменної маршрутизації у програмно-конфігурованій телекомунікаційній мережі із забезпеченням навантаження за показниками пропускної здатності і середньої міжкінцевої затримки пакетів. Новизною метода є те, що виконання QoS-вимог щодо середньої міжкінцевої затримки пакетів здійснюється не на підставі попереднього нормування її значень за доменами, а шляхом введення та реалізації дворівневої координації маршрутних рішень відповідно до принципу цільової координації. В основу запропонованого методу покладено декомпозиційну потокову модель міждоменної маршрутизації, а для отримання в аналітичному вигляді умов забезпечення міжкінцевої якості обслуговування використано тензорний опис кожного з мережних доменів. Використання запропонованого методу ієрархічної міждоменної маршрутизації дозволяє без перерозподілу каналного ресурсу, а лише на підставі балансування навантаження в доменах ТКМ забезпечити заданий рівень QoS за показниками продуктивності та середньої міжкінцевої затримки пакетів. Децентралізація обчислень маршрутів в кожному з доменів мережі на підставі використання локальної інформації про їх стан дозволяє підвищити масштабованість маршрутних рішень, а введення процедур координації дозволяє забезпечити погодженість у роботі SDN-контролерів доменів з точки зору забезпечення QoS. Дослідження запропонованого методу на ряді розрахункових прикладів підтвердило його збіжність до оптимальних рішень за кінцеву кількість ітерацій координаційної процедури.

Ключові слова: програмно-конфігурована телекомунікаційна мережа; міждоменна маршрутизація; якість обслуговування; середня міжкінцева затримка пакетів.

Вступ

Підвищення рівня глобалізації соціальних та економічних відносин призвело до зростання територіальної розподіленості сучасних телекомунікаційних систем та мереж. Телекомунікаційна інфраструктура щільно охоплює всю планету, забезпечуючи людству безперервний доступ до інфокомунікаційних сервісів, перелік яких постійно розширюється, а вимоги щодо якості обслуговування (Quality of Service, QoS) невідмінно зростають. Адекватною реакцією телекомунікаційної галузі, як складної організаційно-технічної системи, на проблеми, пов'язані з масштабованістю мережних рішень, є використання принципів ієрархічного підходу. Введення чіткої ієрархії в основу структурно-функціональної побудови телекомунікаційних мереж (ТКМ) має на меті реалізацію переваг централізованих та розподілених рішень з мінімізацією їх недоліків [1-3]. Це повинно, перш за все, проявитись в мінімізації об'єму службового трафіку, який циркулює в мережі, підвищенню оперативності мережних рішень щодо управління трафіком та мережею в цілому, забезпеченню більш високих показників надійності, відмовостійкості та якості обслуговування в цілому.

Одним з надважливих технологічних засобів щодо забезпечення якості обслуговування є протоколи маршрутизації в ТКМ. Саме на них покладаються

завдання щодо визначення та підтримки одно або множини шляхів передачі пакетів, вздовж яких би забезпечувались задані значення основних QoS-показників: пропускної здатності, середньої міжкінцевої затримки, джитеру та рівня втрат пакетів. Проте вирішення цієї і так досить непрості задачі суттєво ускладнюється в умовах гетерогенності та територіальної розподіленості ТКМ. Як показали результати дослідження [4-6], досить ефективним варіантом вирішення цієї задачі є використання програмно-конфігурованих мультидоменних мереж, які реалізують ієрархічний принцип введення та взаємодії контролерів управління ТКМ (рис. 1).

Декомпозиція ТКМ на домени – це рішення, яке себе добре зарекомендувало на рівні відомих протоколів ієрархічної маршрутизації BGP, PNNI, OSPF та IS-IS [7, 8]. Проте організація якісного функціонування ієрархії контролерів доменів та ТКМ в цілому на технологічному (протокольному) рівні багато в чому залежить від ефективності роботи їх математичного та алгоритмічно-програмного забезпечення, основу якого складають математичні моделі та методи маршрутизації. При цьому основними вимогами до подібних моделей та методів є, по-перше, врахування ієрархічної та мультидоменної побудови програмно-конфігурованої мережі (Software-defined Network, SDN) та розподілу функцій між контролерами різних ієрархічних рівнів;

по-друге, орієнтація на потоковий характер сучасного мережного трафіка; по-третє, забезпечення якості обслуговування за множиною QoS-показників; по-

четверте, забезпечення оптимального використання доступного мережного ресурсу.

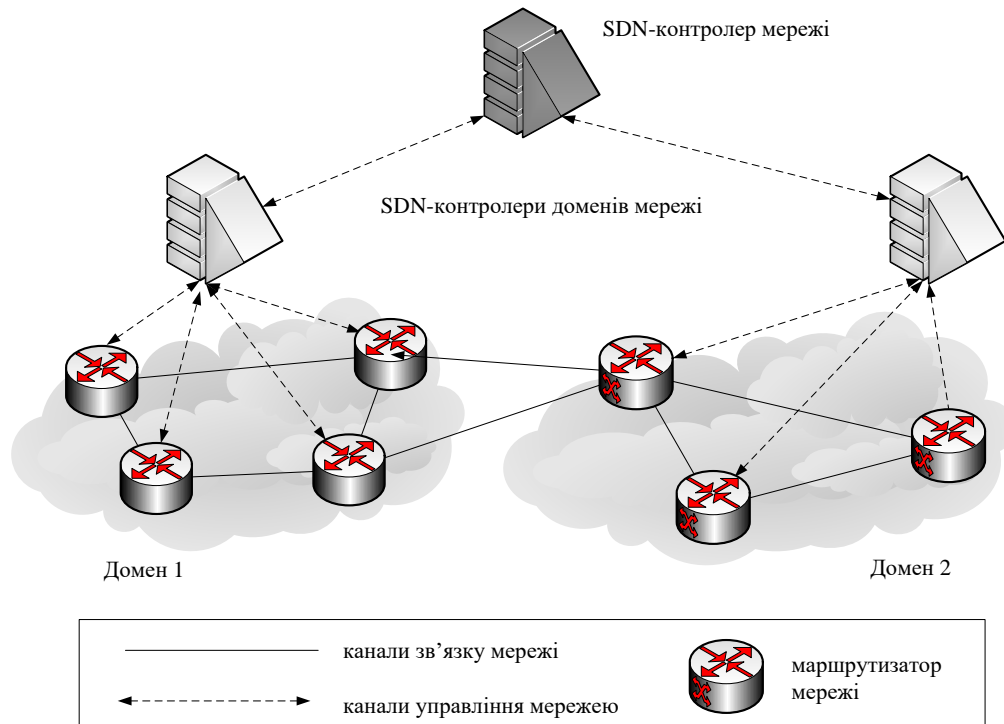


Рис. 1. Варіант побудови мультидоменної SDN

Аналіз рішень задач ієрархічної маршрутизації в мультидоменних телекомунікаційних мережах

Як показав проведений аналіз, до єдиної переваги комбінаторних рішень щодо розрахунку найкоротшого шляху на графі, представлених алгоритмами Беллмана-Форда та Дейкстри, які використовуються в існуючих протоколах ієрархічної маршрутизації PNNI, OSPF та IS-IS [1, 7, 8], варто віднести лише контрольовану обчислювальну складність. Однак повна невідповідність вище сформульованим вимогам практично унеможливило використання подібних алгоритмів у перспективних протоколах маршрутизації в SDN з ієрархічною структурою.

У роботах [9-11] представлені евристичні методи організації міждоменної маршрутизації, які також орієнтують на мінімізацію складності їх програмно-апаратної реалізації. Ці методи досить обмежено враховують функціональні параметри мультидоменної ТКМ, а відсутність належного теоретичного обґрунтування отриманих маршрутних рішень не дозволяє вести мову про забезпечення заданого рівня якості обслуговування.

Найбільш ефективними з точки зору забезпечення оптимального використання мережного ресурсу є потокові моделі і методи маршрутизації в мультидоменних ТКМ [12-20]. В цьому випадку задача щодо визначення множини міждоменних шляхів передачі пакетів різних потоків формується як оптимізаційна. У працях [12-17] запропоновано маршрутні рішення, які стосуються міждоменної

маршрутизації в ТКМ з послідовною структурою доменів, а у роботі [18] – з довільною конфігурацією доменів. У роботі [19] запропоновано діакоптичний метод розрахунку міждоменних маршрутів, в якому покращувався верхній поріг завантаженості каналів зв'язку ТКМ, що опосередковано покращувало рівень QoS в мультидоменній мережі. При цьому в цих роботах пропонується підхід, заснований на використанні теорії ієрархічних багаторівневих систем [20, 21], коли маршрутні рішення, що отримані в доменах, координуються SDN-контролером верхнього рівня управління для наближення якості розподілених рішень до рівня централізованих.

У статтях [16-19] метою координації доменних рішень є забезпечення зв'язності міждоменних маршрутів, коли границя доменів проходить не через один, а через декілька маршрутизаторів, що ускладнює порядок балансування навантаження на міждоменній ділянці. В роботі [22] розглянуто варіант організації ієрархічної міждоменної маршрутизації із забезпеченням нормованої за доменами якості обслуговування за показниками пропускної здатності та середньої міжкінцевої затримки. Нормування значень основних показників якості обслуговування за доменами (підмережами) окремих операторів зв'язку є досить розповсюдженим явищем, направленим на спрощення отримання рішень щодо забезпечення QoS. Проте встановлення жорстких вимог, наприклад, на значення середньої міжкінцевої затримки або ймовірності втрат пакетів в доменах може негативно вплинути на гнучкість рішень щодо забезпечення QoS, особливо в умовах, коли є необхідність динамічно

перерозподілити норми відповідно до завантаженості доменів тощо.

В зв'язку з цим у даній роботі буде запропонований метод ієрархічної міждоменної маршрутизації у програмно-конфігурованій телекомунікаційній мережі, який є подальшим розвитком рішення, запропонованого у роботі [22]. Однак на відміну від відомого аналогу метою координації у запропонованому методі є забезпечення виконання QoS-умов щодо значень середньої міжкінцевої затримки пакетів в мультидоменній ТКМ.

Потокова модель міждоменної маршрутизації в програмно-конфігурованій телекомунікаційній мережі

Припустимо, що структура мультидоменної телекомунікаційної мережі представляється у вигляді орієнтованого графа

$$\Gamma = (R, W), \quad (1)$$

де R – множина вершин графа, що описує маршрутизатори, а W – це множина дуг, яка моделює канали зв'язку в ТКМ.

Нехай K – множина потоків, пакети яких передаються в ТКМ, тоді загальне число потоків в ТКМ можна представити виразом $|K| = \tilde{K}$. Для кожного k -го потоку ($k \in K$) задається середня інтенсивність пакетів $\lambda_k^{(sum)}$, яка вимірюється в пакетах за секунду (1/с). Фактично її значення визначає мінімальні вимоги щодо пропускної здатності ТКМ, яка виділяється цьому потоку.

Якщо ТКМ складається з N взаємопов'язаних між собою доменів, то кожен окремий p -й домен в ТКМ описується за допомогою підграфа $\Gamma^p = (R^p, W^p)$ графа Γ , де $V^p = \{R_i^p; i = \overline{1, m_p}\}$ – множина маршрутизаторів p -го домену, $W^p = \{W_{i,j}^p; i, j = \overline{1, m_p}, i \neq j\}$ – множина каналів, які з'єднують маршрутизатори p -го домену. Параметри m_p та n_p визначають загальну кількість маршрутизаторів та каналів зв'язку у p -му домені відповідно. Обумовимо той факт, що в ТКМ границя між доменами проходила саме через маршрутизатори мережі, як це реалізовано, наприклад, у протоколі OSPF [17, 22]:

$$R^p \cap R^q \neq \emptyset \text{ та } W^p \cap W^q = \emptyset, \quad p \neq q. \quad (2)$$

Для кожного p -го домену визначимо множину приграничних маршрутизаторів B^p ($B^p \in R^p$). Вся множина приграничних маршрутизаторів p -го домену розділяється на дві підмножини: $B_{in}^{p,k}$ – підмножина приграничних маршрутизаторів, через які пакети k -го потоку надходять до p -го домену; $B_{out}^{p,k}$ – підмножина приграничних маршрутизаторів, через які пакети k -го

потоку вибувають з p -го домену [17, 22]. Для каналу зв'язку $W_{i,j}^p$ через $\phi_{i,j}^p$ позначимо його пропускну здатність, яка вимірюється в пакетах за секунду (1/с).

У результаті розв'язання задачі ієрархічно-координаційної міждоменної маршрутизації для кожного p -го домену необхідно визначити маршрутні змінні $x_{i,j}^{p,k}$, які характеризують долю інтенсивності k -го потоку пакетів, що протікає в каналі $W_{i,j}^p \in W^p$:

$$0 \leq x_{i,j}^{p,k} \leq 1. \quad (3)$$

Як показано у роботах [17, 22], для кожного маршрутизатора p -го домена необхідно виконати умови збереження k -го потоку з метою забезпечення зв'язності внутрішньодоменних ділянок міждоменних маршрутів. Якщо p -й домен є транзитним для k -го потоку пакетів, то подібні умови мають вигляд:

$$\begin{cases} \sum_{B_{in}^{p,k} \in B^p} \left(\sum_{W_{i,j}^p \in W^p} x_{i,j}^{p,k} - \sum_{W_{j,i}^p \in W^p} x_{j,i}^{p,k} \right) = 1; \\ \sum_{W_{i,j}^p \in W^p} x_{i,j}^{p,k} - \sum_{W_{j,i}^p \in W^p} x_{j,i}^{p,k} = 0; \\ \sum_{B_{out}^{p,k} \in B^p} \left(\sum_{W_{i,j}^p \in W^p} x_{i,j}^{p,k} - \sum_{W_{j,i}^p \in W^p} x_{j,i}^{p,k} \right) = -1. \end{cases} \quad (4)$$

Якщо k -й потік пакетів надійшов до ТКМ через p -й домен, а його джерелом виступає, наприклад, маршрутизатор R_i^p , то для цієї мережі перша умова системи (4) набуде вигляду

$$\sum_{E_{i,j}^p \in E^p} x_{i,j}^{p,k} = 1.$$

Коли маршрутизатор R_i^p з p -го домена є отримувачем пакетів k -го потоку, то спроститься лише останнє рівняння системи (4):

$$\sum_{E_{j,i}^p \in E^p} x_{j,i}^{p,k} = 1.$$

Метою запобігання перевантаження каналів зв'язку p -го домена мережі важливо виконати наступні умови:

$$\sum_{k \in K} \lambda_k^{(sum)} x_{i,j}^{p,k} \leq \phi_{i,j}^p, \quad p = \overline{1, N}. \quad (5)$$

Позначимо також через $\lambda_{i,j}^{p,k} = \sum_{k \in K} \lambda_k^{(sum)} x_{i,j}^{p,k}$ середню інтенсивність k -го потоку пакетів, що протікає в каналі $W_{i,j}^p \in W^p$.

Маршрутні змінні $x_{i,j}^{p,k}$ є координатами відповідних маршрутних векторів, які згідно проведеної структурної декомпозиції ТКМ на мережні домени, підлягають функціональній декомпозиції:

$$\bar{x} = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \vdots \\ \bar{x}_p \\ \vdots \\ \bar{x}_N \end{bmatrix}, \quad \bar{x}_p = \begin{bmatrix} \bar{x}_p^1 \\ \bar{x}_p^2 \\ \vdots \\ \bar{x}_p^k \\ \vdots \\ \bar{x}_p^{\tilde{K}} \end{bmatrix}, \quad \bar{x}_p^k = \begin{bmatrix} x_{1,2}^{p,k} \\ x_{1,3}^{p,k} \\ \vdots \\ x_{i,j}^{p,k} \\ \vdots \\ x_{m_p,m_p-1}^{p,k} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

де \bar{x} – вектор маршрутних змінних, який визначає порядок маршрутизації потоків в ТКМ взагалі; \bar{x}_p – маршрутний вектор, який визначає порядок маршрутизації всіх потоків в p -му домені; \bar{x}_p^k – маршрутний вектор, який встановлює результат розв'язання задачі маршрутизації саме k -го потоку в p -му домені.

При розрахунку векторів \bar{x}_p та \bar{x}_p^k у межах кожного окремого p -го домена треба забезпечити зв'язність міждомених маршрутів. Для забезпечення зв'язності міждомених маршрутів в модель (1)-(6) вводяться умови міждомених взаємодій [17, 22]:

$$C_{p,q}^k \bar{x}_p^k = C_{q,p}^k \bar{x}_q^k, \quad p, q = \overline{1, N}, \quad p \neq q, \quad k \in K, \quad (7)$$

де $C_{p,q}^k$ – матриця взаємодії p -го та q -го доменів, яка має розмір $m_{p,q} \times m_x^{p,k}$, $m_{p,q} = |R^p \cap R^q|$ – кількість маршрутизаторів, через які проходить границя між p -м і q -м доменами; $m_x^{p,k}$ – число координат $x_{i,j}^{p,k}$ вектору \bar{x}_p^k .

Умови забезпечення міжкінцевої якості обслуговування в мультидомених телекомунікаційній мережі

Для кожного потоку, який циркулює в ТКМ, на його швидкість передачі, середню міжкінцево затримку пакетів (СМЗП) та ймовірність втрат пакетів встановлюються певні обмеження щодо їх граничних (мінімальних та/або максимальних) значень, які і визначають рівень якості обслуговування користувача. Тоді уточнені умови забезпечення QoS за середньою міжкінцевою затримкою пакетів для кожного конкретного k -го потоку в мультидомених ТКМ приймають вигляд

$$\tau_{MP}^k \leq \tau_{\langle don \rangle}^k, \quad (8)$$

де τ_{MP}^k – значення СМЗП в мультидомених ТКМ; $\tau_{\langle don \rangle}^k$ – вимоги щодо максимально допустимих значень СМЗП в ТКМ. Значення τ_{MP}^k заміряється між вхідним маршрутизатором домена-джерела та вихідним маршрутизатором в домені-отримувача пакетів k -го потоку. З врахуванням мультидомених структури ТКМ та адитивної природи часових метрик $\tau_{MP}^k = \sum_{p=1}^N \tau_{MP}^{p,k}$, тобто QoS-умови (8) можна представити в формі

$$\sum_{p=1}^N \tau_{MP}^{p,k} \leq \tau_{\langle don \rangle}^k, \quad (9)$$

де $\tau_{MP}^{p,k}$ – значення середньої затримки пакетів k -го потоку у p -му домені ТКМ.

Забезпечення виконання QoS-умов (9) пов'язане з необхідністю аналітичного розрахунку значень затримок $\tau_{MP}^{p,k}$ у кожному з доменів ТКМ з врахуванням топології домену, характеристик потоків, пропускних здатностей каналів зв'язку та реалізованої стратегії маршрутизації. Для розв'язання цієї задачі скористаємось методологією тензорного аналізу мереж, основи якої розробив Г. Крон [23] та яка згодом була адаптована під розв'язання мережних задач в галузі телекомунікацій [24-31].

Тензорна модель домену телекомунікаційної мережі

Для забезпечення розрахунку значень затримок $\tau_{MP}^{p,k}$ буде розглядатись процес маршрутизації саме k -го потоку у p -му домені. Проте для наочності отриманих результатів номери домену (p) та потоку (k) в даному розділі будуть опущені. Тоді відповідно до результатів дослідження, отриманих у роботах [24-31], введемо наступні позначення. Нехай полюсами домену є маршрутизатори, через які той чи інший потік пакетів надходить та вибуває із нього. Введемо наступні позначення: κ – кількість базисних міжполюсних шляхів в домені; ϑ – число внутрішніх вузлових пар у домені, що включає в себе всі вузлові пари, крім полюсної. Введені структурні характеристики пов'язані між собою такими виразами:

$$\kappa = n - m + 2; \quad \vartheta = m - 2, \quad (10)$$

де m та n визначають загальну кількість відповідно маршрутизаторів та каналів зв'язку у обраному для аналізу домені ТКМ.

Тоді на структурі домену вводиться дискретний n -вимірний геометричний простір, в якому до уваги будуть прийняті такі два типи ортогональних систем координат (СК) [27, 30, 31]:

- система координат гілок домену $\{v_z, z = \overline{1, n}\}$,
 проєкції тензорів в якій будуть позначатися індексом v ;

- система координат міжполюсних шляхів $\{\gamma_i, i = \overline{1, \kappa}\}$ та внутрішніх вузлових пар $\{\varepsilon_j, j = \overline{1, \mathcal{G}}\}$
 домену, проєкції тензорів в якій будуть позначатися індексом $\gamma\varepsilon$.

Виконання умови $n = \kappa + \mathcal{G}$ з урахуванням (10) визначає ортогональність введених систем координат.

У введеному n -вимірному просторі домен може бути описуватись за допомогою змішаного двовалентного тензора [30, 31]:

$$Q = T \otimes \Lambda; \quad (11)$$

де \otimes – оператор тензорного множення; T – одновалентний коваріантний тензор середніх затримок пакетів; Λ – одновалентний контраваріантний тензор середніх інтенсивностей потоків у координатних шляхах мережі.

Взаємозв'язок проєкції тензорів середніх затримок (T_v) та середніх інтенсивностей потоків (Λ_v) в СК гілок можна представити таким векторно-матричним рівнянням:

$$T_v = E_v \Lambda_v; \quad (12)$$

де $E_v = \|e_{ij}^v\|$ – представлена діагональною $n \times n$ -матрицею проєкція двічі коваріантного метричного тензора E в СК гілок. У випадку моделювання роботи інтерфейсів маршрутизаторів домену системою масового обслуговування М/М/1, координати діагональної матриці E_v матимуть вид [29-31]:

$$e_{ii}^v = \frac{1}{\lambda_v^i (\varphi_i - \lambda_i)},$$

де λ_v^i – інтенсивність саме того потоку пакетів, який розглядається з точки зору побудови тензорної моделі, в i -му каналі зв'язку; λ_i – сумарна інтенсивність всіх потоків пакетів, що протікають в i -му каналі зв'язку обраного домену ($i = \overline{1, n}$).

У базисі міжполюсних шляхів і внутрішніх вузлових пар рівняння (12) матимуть такий вигляд [30, 31]:

$$T_{\gamma\varepsilon} = E_{\gamma\varepsilon} \Lambda_{\gamma\varepsilon}; \quad (13)$$

де $\Lambda_{\gamma\varepsilon}$ та $T_{\gamma\varepsilon}$ – проєкції тензорів Λ та T у СК міжполюсних шляхів і внутрішніх вузлових пар, які представлені n -вимірними векторами; $E_{\gamma\varepsilon} = \|e_{ij}^{\gamma\varepsilon}\|$ – представлена діагональною $n \times n$ -матрицею проєкція двічі коваріантного метричного тензора E в СК міжполюсних шляхів і внутрішніх вузлових пар.

Закон контраваріантного координатного перетворення координат тензора Λ описується несингулярною $n \times n$ -матрицею $C_{\gamma\varepsilon}^v$ [30, 31]:

$$\Lambda_v = C_{\gamma\varepsilon}^v \Lambda_{\gamma\varepsilon}; \quad (14)$$

де n -вимірний вектор $\Lambda_{\gamma\varepsilon}$, який є проєкцією тензора Λ в СК міжполюсних шляхів і внутрішніх вузлових пар, має таку структуру:

$$\Lambda_{\gamma\varepsilon} = \begin{bmatrix} \Lambda_\gamma \\ \dots \\ \Lambda_\varepsilon \end{bmatrix}; \quad \Lambda_\gamma = \begin{bmatrix} \lambda_\gamma^1 \\ \vdots \\ \lambda_\gamma^j \\ \vdots \\ \lambda_\gamma^\kappa \end{bmatrix}; \quad \Lambda_\varepsilon = \begin{bmatrix} \lambda_\varepsilon^1 \\ \vdots \\ \lambda_\varepsilon^p \\ \vdots \\ \lambda_\varepsilon^{\mathcal{G}} \end{bmatrix}; \quad (15)$$

де Λ_γ – κ -вимірний вектор інтенсивностей потоку вздовж базисних міжполюсних шляхів мережі; Λ_ε – \mathcal{G} -вимірний вектор інтенсивностей потоку між вузлами, які утворюють внутрішні вузлові пари; λ_γ^j – інтенсивність потоку вздовж j -го базисного міжполюсного шляху (γ_j); $\lambda_\varepsilon^p(t)$ – інтенсивність потоку, що надходить у мережу і виходить з мережі через вузли, які створюють p -ту внутрішню вузлову пару (ε_p).

Закон перетворення проєкції двічі коваріантного тензора E при переході від базису гілок до базису міжполюсних шляхів і внутрішніх вузлових пар має такий вигляд:

$$E_{\gamma\varepsilon} = (C_{\gamma\varepsilon}^v)^t E_v C_{\gamma\varepsilon}^v; \quad (16)$$

де $[\cdot]^t$ – операція транспонування матриці

Матрицю $E_{\gamma\varepsilon}$ можна представити у такій декомпозиційній формі:

$$\left\| \begin{array}{c|c} E_{\gamma\varepsilon}^{(1)} & E_{\gamma\varepsilon}^{(2)} \\ \hline \dots & \dots \\ E_{\gamma\varepsilon}^{(3)} & E_{\gamma\varepsilon}^{(4)} \end{array} \right\| = E_{\gamma\varepsilon},$$

де $E_{\gamma\varepsilon}^{(1)}$ – квадратна підматриця розміру $\kappa \times \kappa$; $E_{\gamma\varepsilon}^{(4)}$ – квадратна підматриця розміру $\mathcal{G} \times \mathcal{G}$; $E_{\gamma\varepsilon}^{(2)}$ – підматриця розміру $\kappa \times \mathcal{G}$; $E_{\gamma\varepsilon}^{(3)}$ – підматриця розміру $\mathcal{G} \times \kappa$.

Відомо, що середня міжкінцева затримка пакетів, які передаються між заданою парою маршрутизаторів за допомогою множини маршрутів P , розраховується за такою формулою

$$\tau_{MP} = \sum_{p=1}^{|P|} x_p \tau_p ; \quad (17)$$

де $x_p = \lambda_p / \lambda^{(вим)}$ – частка потоку пакетів, які передаються до маршрутизатора-отримувача за допомогою p -го маршруту; $\lambda^{(вим)}$ – середня інтенсивність потоку пакетів (1/с) на вході домену; λ_p – інтенсивність потоку пакетів (1/с), які передаються до маршрутизатора-отримувача за допомогою p -го маршруту; τ_p – середня затримка пакетів, які передаються вздовж p -го маршруту; $|P|$ – загальна кількість доступних для маршрутизації шляхів між обраною парою маршрутизаторів.

Тоді, як показано в роботах [30, 31] справедливою є наступна рівність:

$$\tau_{MP} = \frac{\Lambda_\gamma^t E_{\gamma\epsilon}^{(1)} \Lambda_\gamma}{\lambda^{(вим)}}, \quad (18)$$

яка визначає шукану формулу для розрахунку середньої міжкінцевої затримки пакетів обраного для аналізу потоку в заданому мережному домені ТКМ.

До основних переваг виразу (20) і QoS-умов (21) варто віднести врахування основних структурних і функціональних параметрів ІКМ, характеристик трафіка та дисциплін обслуговування пакетів, а також аналітичну форму умов, що дозволяє забезпечити їхнє використання при оптимізації різномірних процесів управління трафіком: маршрутизації, розподілу та

$$L = \sum_{p=1}^N \sum_{k \in K} (\bar{x}_p^k)^t H_p^k \bar{x}_p^k + \sum_{p=1}^N \sum_{q=1, q \neq p}^N \sum_{k \in K} (\bar{\mu}_{p,q}^k)^t (C_{p,q}^k \bar{x}_p^k - C_{q,p}^k \bar{x}_q^k) + \sum_{k \in K} f^k \left(\sum_{p=1}^N \tau_{MP}^{p,k} - \tau_{\langle don \rangle}^k \right), \quad (20)$$

де $\bar{\mu}$ – вектор множників Лагранжа; $\bar{\mu}_{p,q}$ – підвектори вектору $\bar{\mu}$, віднесені до кожної з векторно-матричних умов взаємодії доменів (7); f^k – множники Лагранжа, які віднесені до кожної з QoS-умов (9).

За принципом цільової координації вектори множників Лагранжу $\bar{\mu}$ розраховуються на верхньому рівні та для нижнього рівня є відомими значеннями,

$$L_p = \sum_{k \in K} (\bar{x}_p^k)^t H_p^k \bar{x}_p^k + \sum_{q=1, q \neq p}^N \sum_{k \in K_p^+} (\bar{\mu}_{p,q}^k)^t C_{p,q}^k \bar{x}_p^k - \sum_{q=1, q \neq p}^N \sum_{k \in K_p^-} (\bar{\mu}_{q,p}^k)^t C_{p,q}^k \bar{x}_p^k + \sum_{k \in K} f^k \tau_{MP}^{p,k}. \quad (21)$$

Задачі ієрархічних рівнів методу міждоменної QoS-маршрутизації в програмно-конфігурованій ТКМ будуть мати наступне наповнення. Перший (нижній) ієрархічний рівень маршрутизації, який охоплює SDN-контролери доменів, відповідає за розрахунок маршрутних змінних, представлених векторами \bar{x}_p^k ($p = \overline{1, N}$, $k \in K$), в ході мінімізації лагранжіанів (21) при обмеженнях (3)–(5). Результати розрахунків

резервування каналних і буферних ресурсів.

Метод ієрархічної міждоменної маршрутизації в програмно-конфігурованій телекомунікаційній мережі із забезпеченням міжкінцевої якості обслуговування

Ґрунтуючись на математичній моделі (1)–(18) в основу методу ієрархічної міждоменної QoS-маршрутизації буде покладено розв'язання оптимізаційної задачі щодо розрахунку векторів маршрутних змінних \bar{x}_p^k ($p = \overline{1, N}$, $k \in K$) при дотриманні обмежень (3)–(5), (7), (9) і (18) шляхом використання критерію оптимальності:

$$\min F, \quad F = \sum_{p \in N} \sum_{k \in K} (\bar{x}_p^k)^t H_p^k \bar{x}_p^k, \quad (19)$$

де H_p^k – діагональна матриця вагових коефіцієнтів, координатами якої, як правило [22], є маршрутні метрики каналів зв'язку p -го домену ТКМ.

Для забезпечення властивостей ієрархічності та координуємістості маршрутним рішенням в ході розв'язання сформульованої оптимізаційної задачі буде використано принцип цільової координації [20, 21]. Тоді, переходячи до задачі на безумовний екстремум

$$\min_{\bar{x}} F = \max_{\bar{\mu}} L,$$

необхідно максимізувати по $\bar{\mu}$ лагранжіан виду:

тому вираз (20) можна представити в декомпозиційній формі:

$$L = \sum_{p=1}^N L_p,$$

де кожен з лагранжіанів доменів може бути представленим у спрощеній формі [17, 22]:

передаються на верхній рівень – на SDN-контролер програмно-конфігурованої мережі взагалі. На верхньому рівні SDN-контролер мережі здійснює координацію рішень, отриманих на нижньому рівні SDN-контролерами доменів. По-перше, для виконання умов міждоменної взаємодії (7) SDN-контролер мережі реалізує ітераційну градієнтну процедуру

$$\bar{\mu}_{p,q}^k(a+1) = \bar{\mu}_{p,q}^k(a) + \nabla \bar{\mu}_{p,q}^k, \quad (22)$$

де a – номер ітерації; $\nabla \bar{\mu}_{p,q}^k$ – градієнт функції (20), який розраховується відповідно до одержаних на нижньому рівні результатів розв’язання задач маршрутизації \bar{x}_p^{k*} ($p = \overline{1, N}$, $k \in K$) у кожному конкретному домені:

$$\nabla \bar{\mu}_{p,q}^k(x) \Big|_{x=x^*} = C_{p,q} \bar{x}_p^k - C_{q,p} \bar{x}_q^k. \quad (23)$$

По-друге, на SDN-контролер мережі також покладаються задачі забезпечення виконання QoS-умов (9), (18) шляхом модифікації множників Лагранжа f^k ($k \in K$) в ході виконання ще однієї градієнтної ітераційної процедури:

$$f^k(a+1) = f^k(a) + \nabla f^k, \quad (24)$$

де ∇f^k – градієнт функції (20), який розраховується відповідно до одержаних на нижньому рівні результатів розв’язання задач маршрутизації \bar{x}_p^{k*} ($p = \overline{1, N}$, $k \in K$) у кожному конкретному домені:

$$\nabla f^k(x) \Big|_{x=x^*} = \sum_{p=1}^N \tau_{MP}^{p,k} - \tau_{\langle don \rangle}^k. \quad (25)$$

Модифіковані значення векторів множників Лагранжа $\bar{\mu}_{p,q}^k$ та \bar{f} передаються на нижній рівень (на SDN-контролери доменів) для розрахунку нових маршрутних векторів \bar{x}_p^k , де координати f^k K -вимірному вектору множників Лагранжа \bar{f} визначали значення QoS-метрик. Чим більше поточне значення міжкінцевої затримки пакетів k -го потоку $\sum_{p=1}^N \tau_{MP}^{p,k}$ перевищувало допустиме значення $\tau_{\langle don \rangle}^k$, тим відповідно до (24) та (25) більшою ставала відповідна QoS-метрика, тобто координата f^k . Процес розрахунків знову набуває ітераційного характеру. Зв’язність міждоменних маршрутів (7) та виконання QoS-умов (9), (18) буде забезпечуватися при таких значеннях градієнтів (23) та (25):

$$\nabla \bar{\mu}_{p,q}^k(x) = 0 \quad \text{та} \quad \nabla f^k(x) = 0.$$

Запропонований метод ієрархічної міждоменної маршрутизації в програмно-конфігурованій телекомунікаційній мережі із забезпеченням міжкінцевої якості обслуговування буде мати структуру, наведену на рис. 2.

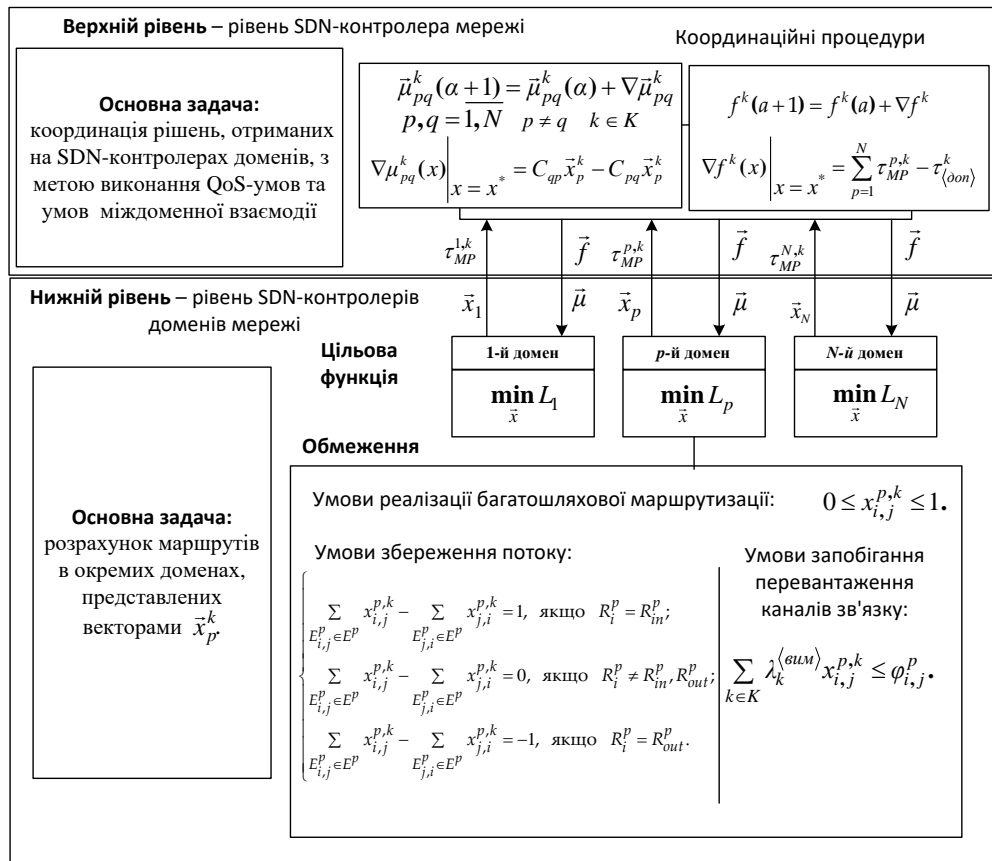


Рис. 2. Структура дворівневого методу ієрархічної міждоменної маршрутизації у програмно-конфігурованій телекомунікаційній мережі із забезпеченням міжкінцевої якості обслуговування

Таким чином, представлений метод ієрархічно-координаційної міждоменної маршрутизації в програмно-конфігурованій телекомунікаційній мережі дозволяє забезпечити допустиму міжкінцеву якість обслуговування за показником СМЗП пакетів без попереднього нормування її значень за доменами ТКМ. Це дозволяє підвищити гнучкість управління мережею, особливо у випадках, коли встановлення норм на значення $\tau_{MP}^{p,k}$ є складною задачею прогнозування стану ТКМ. Проте ефективність запропонованого методу, який також сприяє підвищенню масштабованості маршрутних рішень в ТКМ, багато в чому залежить від швидкості збіжності координаційних процедур (22), (23) та (24), (25). Від кількості ітерацій цих процедур на пряму залежать оперативність прийняття маршрутних рішень та об'єм службового навантаження (інформація про стан мережі, маршрутні таблиці), яке циркулює між SDN-контролерами різних ієрархічних рівнів. Тому окремою важливою задачею є дослідження запропонованого методу ієрархічної міждоменної QoS-маршрутизації з метою оцінки швидкості збіжності координаційних процедур (22), (23) та (24), (25) та аналізу впливу факторів, які впливають на цей процес.

Дослідження запропонованого методу ієрархічної міждоменної QoS-маршрутизації при координації рішень за середньою міжкінцевою затримкою

Питанням аналізу збіжності методів ієрархічної маршрутизації до оптимальних рішень з виконанням умов взаємодії доменів та забезпечення зв'язності міждоменних шляхів (7) присвячені дослідження, представлені у роботах [17, 18, 22]. Тому в даній роботі розглядався випадок організації ієрархічної міждоменної QoS-маршрутизації при координації рішень лише за середньою міжкінцевою затримкою пакетів (24), (25). За основу була взята структура ТКМ, яка складалась з двох доменів, які були пов'язані через єдиний приграничний маршрутизатор. Подібний варіант фізичної або логічної побудови ТКМ широко використовується при організації автономних систем IP-мереж та доменів, наприклад, при використанні протоколу OSPF. Так на рис. 3 показано приклад ТКМ, яка складається з двох симетричних за своєю структурою доменів, кожен з містив дев'ять маршрутизаторів. На цьому рисунку в розривах каналів зв'язку наведено їх пропускну здатність (1/c). Границя доменів проходила через один спільний для них маршрутизатор R_9^1 (R_1^2).

Нехай в мережі передавались пакети двох потоків, характеристики яких та вимоги щодо рівня QoS, наведені в табл. 1.

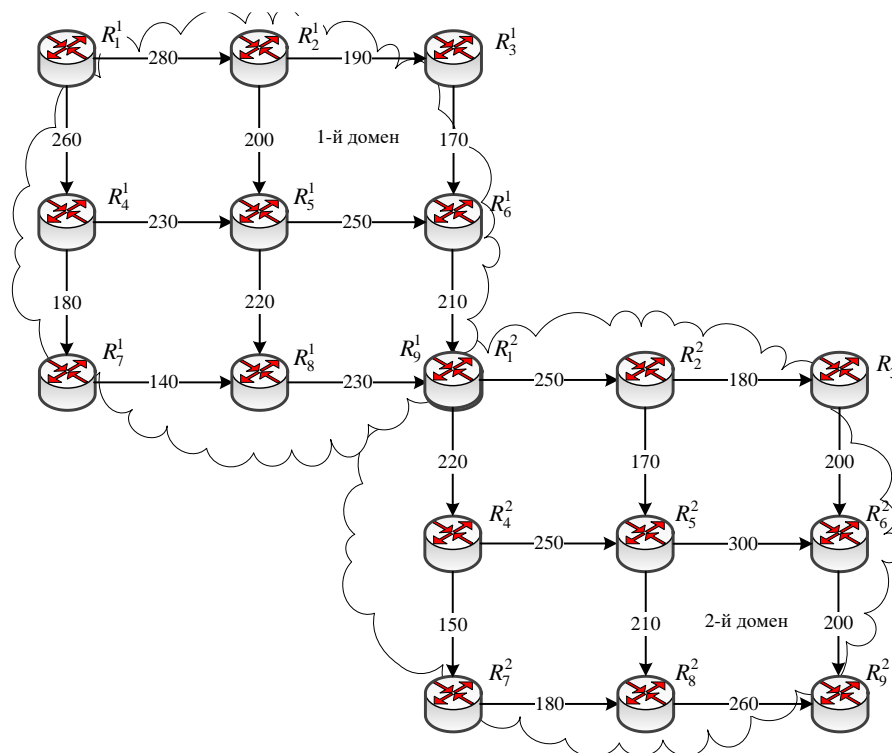


Рис. 3. Приклад структури дводоменної ТКМ, яка підлягала дослідженню

Таблиця 1. Характеристики потоків пакетів, які підлягали QoS-маршрутизації в мультидоменній ТКМ (рис. 3)

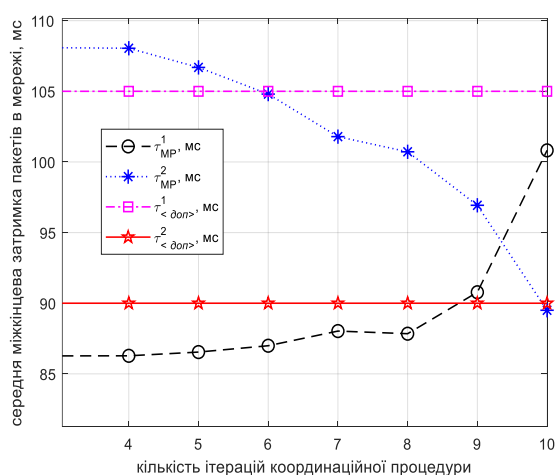
Номер потоку (k)	Маршрутизатор-джерело	Маршрутизатор-отримувач	$\lambda^{(вум)}$ (1/c)	$\tau_{(дон)}$ (мс)
1	R_1^1	R_9^2	150	105
2			180	90

Застосовуючи запропонований метод маршрутизації, на підставі балансування навантаження в кожному з доменів ТКМ необхідно було забезпечити заданий рівень якості обслуговування для кожного з двох потоків пакетів (табл. 1) і за пропускну здатністю ($\lambda^{(вим)}$), і за середньою міжкінцевою затримкою пакетів ($\tau_{доп}$).

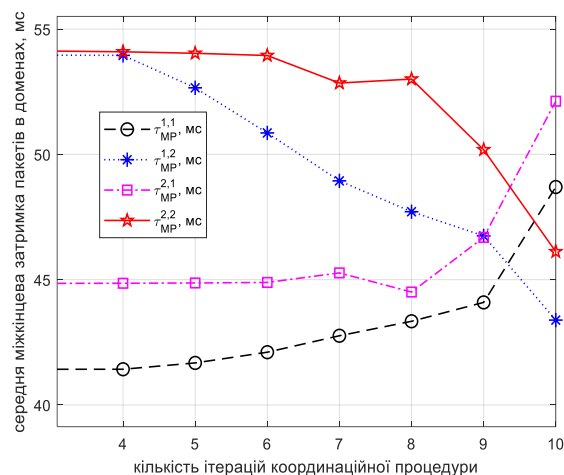
Процес координації зручно продемонструвати на прикладі (рис. 4), коли для отримання шуканого рішення знадобилось десять ітерацій координаційної процедури (24), (25).

На рис. 4 а чітко видно, що автономний розрахунок маршрутів в доменах на перших ітераціях не призводив до виконання QoS-вимог за СМЗП в

ТКМ для другого потоку пакетів, хоча для першого потоку ці вимоги задовольнялись з деяким запасом міцності. Завдяки застосуванню координаційної процедури (24), (25) вдалося перерозподілити потоки і першому, і в другому домені (рис. 4 б) таким чином, щоб зменшити τ_{MP}^2 за рахунок деякого підвищення τ_{MP}^1 , проте без порушення QoS-вимог для першого потоку пакетів. Як показано на рис. 4, на десятій координаційній ітерації градієнтної процедури (24), (25) QoS-вимоги вже задовольнялись для обох потоків.



а) затримки пакетів в ТКМ в цілому

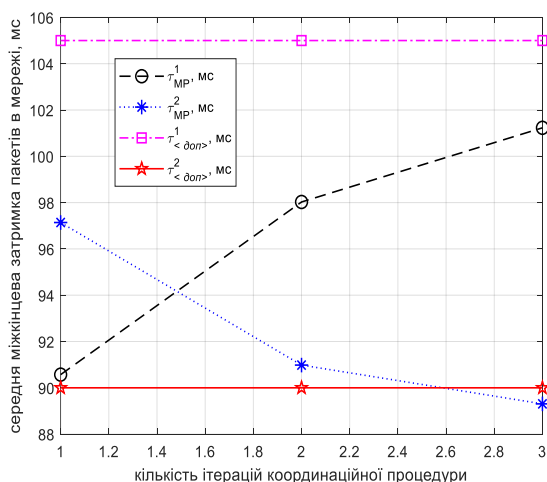


б) затримки пакетів в окремих доменах мережі

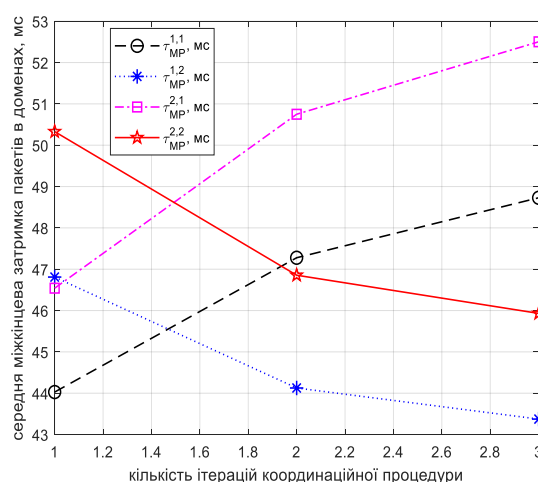
Рис. 4. Динаміка зміни середніх міжкінцевих затримок пакетів в ТКМ в цілому (а) та за доменами (б) для кожного з двох потоків відповідно до ітерацій координаційної процедури (24), (25)

Швидкість збіжності координаційної процедури (24), (25) можна значно підвищити шляхом вдосконалення її параметрів, наприклад зробивши змінним крок пошуку, адаптувавши його значення до умов задачі. Тоді, як показано на рис. 5, отримати

скоординоване рішення задачі ієрархічно-координаційної міждоменої QoS-маршрутизації можливо за три ітерації, що позитивно впливає на час рішення маршрутною задачі та об'єм службового навантаження в ТКМ.



а) затримки пакетів в ТКМ в цілому



б) затримки пакетів в окремих доменах мережі

Рис. 5. Динаміка зміни середніх міжкінцевих затримок пакетів в ТКМ в цілому (а) та за доменами (б) для кожного з двох потоків відповідно до ітерацій координаційної процедури (24), (25)

Висновки

1. У роботі запропоновано метод ієрархічної міждоменної маршрутизації у програмно-конфігурованій телекомунікаційній мережі із забезпеченням якості обслуговування за показниками пропускної здатності і середньої міжкінцевої затримки пакетів. Метод який є подальшим розвитком рішень, представлених у роботах [14-19, 22]. Новизною метода є те, що виконання QoS-вимог щодо СМЗП здійснюється не на підставі попереднього нормування її значень за доменами, а шляхом введення та реалізації дворівневої координації маршрутних рішень відповідно до принципу цільової координації. В основу запропонованого методу покладено декомпозиційну потокову модель міждоменної маршрутизації (1)-(7). Для отримання в аналітичному вигляді умов забезпечення міжкінцевої якості обслуговування (9), (18) використано тензорний опис кожного з мережних доменів (10)-(18).

2. Використання запропонованого методу ієрархічної міждоменної маршрутизації дозволяє без

перерозподілу каналного ресурсу, а лише на підставі балансування навантаження в доменах ТКМ забезпечити заданий рівень QoS за показниками продуктивності та середньої міжкінцевої затримки пакетів. Децентралізація обчислень маршрутів в кожному з доменів мережі на підставі використання локальної інформації про їх стан дозволяє підвищити масштабованість маршрутних рішень, а введення процедур координації дозволяє забезпечити погодженість у роботі SDN-контролерів доменів з точки зору забезпечення QoS.

3. В ході дослідження запропонованого методу міждоменної QoS-маршрутизації на ряді розрахункових прикладів підтверджена його збіжність до оптимальних рішень за кінцеву кількість ітерацій координаційної процедури (24), (25) – в середньому за 3-4. Мінімізація числа координаційних ітерацій сприяє зниженню обсягу службового навантаження в мережі, яке циркулює в мережі між маршрутизаторами та SDN-контролерами різних рівнів, а також пропорційному зменшенню часу розв'язання задачі міждоменної QoS-маршрутизації.

Список літератури

- Graziani, R., Vachon, B. (2014), *Cisco Networking Academy: Connecting Networks Companion Guide*. Cisco Press, 576 p.
- Kiwan, H., Morgan, Y. L., (2013), "Hierarchical networks: Routing and clustering (A concise survey)", *In Proc. 2013 26th IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), Regina, SK, P. 1-4*. DOI: <https://doi.org/10.1109/CCECE.2013.6567742>
- Lin, S. C., Akyildiz, I. F., Wang, P., Luo, M., (2016), "QoS-aware Adaptive Routing in Multi-Layer Hierarchical Software Defined Networks: A Reinforcement Learning Approach", *In Proc. 2016 IEEE International Conf. on Services Computing, San Francisco*, P. 25-33. DOI: <https://doi.org/10.1109/SCC.2016.12>
- Monge, A. S., Szarkowicz, K. G., (2016), *MPLS in the SDN Era: Interoperable Scenarios to Make Networks Scale to New Services*. Sebastopol: O'Reilly Media, 920 p.
- Wibowo, F. X. A., Gregory, M. A., Ahmed, K., Gomez, K. M., (2017), "Multi-domain software defined networking: research status and challenges", *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 87. P. 32-45. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.03.004>
- Katsalis, K., Rofoee, B., Landi, G., Riera, J. F., Kousias, K., Anastasopoulos, M., Korakis, T., (2017), "Implementation experience in multi-domain SDN: Challenges, consolidation and future directions", *Computer Networks*, Vol. 129. P. 142-158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2017.09.005>
- Medhi, D., Ramasamy, K., (2018), *Network Routing, Second Edition: Algorithms, Protocols, and Architectures (The Morgan Kaufmann Series in Networking)*. 2nd Edition. Cambridge, MA, USA: Elsevier Inc., 1018 p.
- Misra, S., Goswami, S., (2017), *Network Routing: Fundamentals, Applications, and Emerging Technologies*. 1st Edition. Wiley, 536 p.
- Liu, R., Li, S., Wang, H., (2019), "Hierarchical Multi-constraint Routing Algorithm Based on Software Defined Networking", *In Proc. 2019 IEEE 9th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC)*. IEEE, P. 529-533. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICEIEC.2019.8784520>
- Lu, J., Zhang, Z., Hu, T., Yi, P., Lan, J., (2019), "A survey of controller placement problem in software-defined networking", *IEEE Access*, Vol. 7, P. 24290-24307. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2893283>
- Sprintson, A., Yannuzzi, M., Orda, A., Masip-Bruin, X. (2007), "Reliable routing with QoS guarantees for multi-domain IP/MPLS networks", *In Proc. IEEE INFOCOM 2007-26th IEEE International Conference on Computer Communications*, P. 1820-1828. DOI: <https://doi.org/10.1109/INFCOM.2007.212>
- Wójcik, R., Domżał, J., Duliński, Z., (2016), "A survey on methods to provide interdomain multipath transmissions". *Computer Networks*, Vol. 108, P. 233-259. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2016.08.028>
- Eun, J.S., Jung, H., (2015), "The implementation of domain routing protocol in hierarchical domain network model", *In Proc. 2015 17th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), Busan*, P. 396-399. DOI: <https://doi.org/10.1109/APNOMS.2015.7275350>
- Lemeshko, O., Nevzorova O., Hailan A. M., (2018), "Hierarchical Method of Routing and Resource Allocation in DiffServ-TE Network. *In Proc. 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Slavske*, P. 1014-1018, DOI: <https://doi.org/10.1109/TCSET.2018.8336366>
- Лемешко, О.В., Єременко, О.С., Невзорова, О.С., (2020), *Потокові моделі та методи маршрутизації в інфокомунікаційних мережах: відмовостійкість, безпека, масштабованість*. Харків: ХНУРЕ. 308 с.
- Lemeshko, O., Yeremenko, O., Nevzorova, O., (2017), "Hierarchical Method of Inter-Area Fast Rerouting", *Transport and Telecommunication Journal*, Vol. 18(2). P. 155-167. DOI: <https://doi.org/10.1515/tjt-2017-0015>
- Лемешко А. В., Невзорова Е. С., Ильяшенко А. Е. Разработка и анализ метода иерархическо-координационной междоменной маршрутизации в телекоммуникационной сети. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*. 2016. № 4 (44). С. 49-67.

18. Lemeshko, O., Nevzorova, O., Ilyashenko, A., Yevdokymenko, M. (2020), "Hierarchical Coordination Method of Inter-area Routing in Backboneless Network", In Proc. Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds) *Advances in Computer Science for Engineering and Education II. ICCSEEA 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 938. Springer, Cham, P. 90–102. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-16621-2_9
19. Лемешко А. В., Ильяшенко А. Е., Коваленко Т. Н., Невзорова Е. С. Разработка и анализ диакоптического метода междоменной маршрутизации с балансировкой нагрузки в телекоммуникационной сети. *Проблеми телекомунікацій*. 2018. № 1. С. 3–24. DOI: <https://doi.org/10.30837/pt.2018.1.01>
20. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир. 1973. 344 с.
21. Сингх, М., Титли, А., (1986), Системы: декомпозиция, оптимизация и управление. М.: Машиностроение. 494 с.
22. Євдокименко, М. О. Метод ієрархічно-координаційної міждоменної маршрутизації у програмно-конфігурованій інфокомунікаційній мережі із забезпеченням нормованої якості обслуговування. *Проблеми телекомунікацій*. 2019. № 2 (25). С. 3–26. DOI: <https://doi.org/10.30837/pt.2019.2.01>
23. Крон Г. Тензорный анализ сетей. М.: Сов. Радио, 1978. 720 с.
24. Лемешко А. В., Евсеева О. Ю. Тензорная модель многопутевой маршрутизации с гарантиями качества обслуживания одновременно по множеству разнородных показателей. *Проблеми телекомунікацій*. 2012. № 4(9). С. 16–31. http://pt.nure.ua/wp-content/uploads/2020/01/124_lemeshko_tensor.pdf
25. Lemeshko, A. V., Evseeva, O. Yu., Garkusha, S. V., (2014), "Research on Tensor Model of Multipath Routing in Telecommunication Network with Support of Service Quality by Greater Number of Indices", *Telecommunications and Radio Engineering*, № 15 (73). P. 1339–1360. DOI: <https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v73.i15.30>
26. Lemeshko, O. V., Garkusha, S. V., Yerenenko, O. S., Hailan, A. M., (2015), "Policy-based QoS Management Model for Multiservice Networks", In Proc. International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), P. 1–4.
27. Лемешко А. В., Евсеева О. Ю. Тензорная геометризация структурно-функционального представления телекоммуникационной системы в базе межполюсных путей и внутренних разрезов. *Наукові записки УНДІЗ*. № 1 (13). 2010. С. 14–26.
28. Lemeshko, O., Yevdokymenko, M., Alsaleem, A., (2018), "Development of the tensor model of multipath QoS-routing in an infocommunication network with providing the required Quality Rating", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 2(95). P. 40–46. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.141989>
29. Lemeshko, O., Yerenenko, O., Yevdokymenko, M., Hailan, A. M., (2020), "Tensor Multiflow Routing Model to Ensure the Guaranteed Quality of Service Based on Load Balancing in Network", In Proc. The Third International Conference "Advances in Computer Science for Engineering and Education III (ICCSEEA 2020)". P. 1–12.
30. Лемешко О. В., Євдокименко М. О. Вдосконалення потокової моделі маршрутизації в мультисервісній телекомунікаційній мережі із забезпеченням якості обслуговування. *Системи озброєння і військова техніка*. 2020. № 1(61). С. 31–43. DOI: <https://doi.org/10.30748/soivt.2020.61.04>
31. Лемешко О. В., Євдокименко М. О., Єременко О. С. Оптимізаційна модель маршрутизації чутливого до затримок трафіка в інфокомунікаційних мережах. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2020. Т. 2. № 60. С. 152–159.

References

- Graziani, R., Vachon, B. (2014), *Cisco Networking Academy: Connecting Networks Companion Guide*, Cisco Press, 576 p.
- Kiwan, H., Morgan, Y. L. (2013), "Hierarchical networks: Routing and clustering (A concise survey)", In Proc. 2013 26th IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), Regina, SK, P. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.1109/CCECE.2013.6567742>
- Lin, S. C., Akyildiz, I. F., Wang, P., Luo, M. (2016), "QoS-aware Adaptive Routing in Multi-Layer Hierarchical Software Defined Networks: A Reinforcement Learning Approach", In Proc. 2016 IEEE International Conf. on Services Computing, San Francisco, P. 25–33. DOI: <https://doi.org/10.1109/SCC.2016.12>
- Monge, A. S., Szarkowicz, K. G. (2016), *MPLS in the SDN Era: Interoperable Scenarios to Make Networks Scale to New Services*, Sebastopol, O'Reilly Media, 920 p.
- Wibowo, F. X. A., Gregory, M. A., Ahmed, K., Gomez, K. M. (2017), "Multi-domain software defined networking: research status and challenges", *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 87, P. 32–45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.03.004>
- Katsalis, K., Rofoee, B., Landi, G., Riera, J. F., Kousias, K., Anastasopoulos, M., Korakis, T. (2017), "Implementation experience in multi-domain SDN: Challenges, consolidation and future directions", *Computer Networks*, Vol. 129, P. 142–158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2017.09.005>
- Medhi, D., Ramasamy, K. (2018), *Network Routing. Second Edition: Algorithms, Protocols, and Architectures (The Morgan Kaufmann Series in Networking)*, 2nd Edition. Cambridge, MA, USA, Elsevier Inc., 1018 p.
- Misra, S., Goswami, S. (2017), *Network Routing: Fundamentals, Applications, and Emerging Technologies*, 1st Edition, Wiley, 536 p.
- Liu, R., Li, S., Wang, H. (2019), "Hierarchical Multi-constraint Routing Algorithm Based on Software Defined Networking", In Proc. 2019 IEEE 9th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC), P. 529–533. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICEIEC.2019.8784520>
- Lu, J., Zhang, Z., Hu, T., Yi, P., Lan, J. (2019), "A survey of controller placement problem in software-defined networking", *IEEE Access*, Vol. 7, P. 24290–24307. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2893283>
- Sprintson, A., Yannuzzi, M., Orda, A., Masip-Bruin, X. (2007), "Reliable routing with QoS guarantees for multi-domain IP/MPLS networks", In Proc. IEEE INFOCOM 2007-26th IEEE International Conference on Computer Communications, P. 1820–1828. DOI: <https://doi.org/10.1109/INFCOM.2007.212>
- Wójcik, R., Domżał, J., Duliński, Z. (2016), "A survey on methods to provide interdomain multipath transmissions", *Computer Networks*, Vol. 108, P. 233–259. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2016.08.028>

13. Eun, J. S., Jung, H. (2015), "The implementation of domain routing protocol in hierarchical domain network model", *In Proc. 2015 17th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), Busan*, P. 396–399. DOI: <https://doi.org/10.1109/APNOMS.2015.7275350>
14. Lemeshko, O., Nevzorova O., Hailan A. M. (2018), "Hierarchical Method of Routing and Resource Allocation in DiffServ-TE Network", *In Proc. 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Slavsk, Ukraine*, P. 1014–1018, DOI: <https://doi.org/10.1109/TCSET.2018.8336366>
15. Lemeshko, O. V., Yeremenko, O. S., Nevzorova, O. C. (2020), *Flow-based models and routing methods in infocommunication networks: fault tolerance, security, scalability [Potokovi modeli ta metodi marshrutizacii v infokomunikacionnih mrezhah: vidmovostiikist, bezpeka, masshtabovanist]*, Kharkiv, NURE, 308 p.
16. Lemeshko, O., Yeremenko, O., Nevzorova, O. (2017), "Hierarchical Method of Inter-Area Fast Rerouting", *Transport and Telecommunication Journal*, Vol. 18 (2), P. 155–167. DOI: <https://doi.org/10.1515/tj-2017-0015>
17. Lemeshko, A. V., Nevzorova, E. S., Ilyashenko, A. Ye. (2016), "Development and analysis of the method of hierarchical coordination inter-domain routing in a telecommunication network" ["Razrabotka i analiz metoda ierarhichesko-koordinacionnoj mezhdomennoj marshrutizacii v telekommunikacionnoj seti"], *Scientific notes of the Ukrainian Research Institute of Communications*, No. 4 (44), P. 49–67.
18. Lemeshko, O., Nevzorova, O., Ilyashenko, A., Yevdokymenko, M. (2020), "Hierarchical Coordination Method of Inter-area Routing in Backboneless Network", *In Proc. Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds) Advances in Computer Science for Engineering and Education II. ICCSEE 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 938, P. 90–102. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-16621-2_9
19. Lemeshko, A. V., Ilyashenko, A. Ye., Kovalenko, T. N., Nevzorova, E. S. (2018), "Development and analysis of a diakoptic method of inter-domain routing with load balancing in a telecommunication network", *Problems of telecommunications*, No. 1, P. 3–24. DOI: <https://doi.org/10.30837/pt.2018.1.01>
20. Mesarovich, M., Mako, D., Takahara, I. (1973), *Theory of hierarchical multi-level systems [Teoriya ierarhicheskikh mnogourovnevnykh sistem]*, Mir, Moscow, 344 p.
21. Singh, M., Titli, A. (1986), *Systems: decomposition, optimization and management [Sistemi: dekompoziciya, optimizaciya, upravlenie]*, Engineering, Moscow, 494 p.
22. Yevdokymenko, M. O. (2019), "Method of hierarchical-coordination interdomain routing in software-defined infocommunication network with providing of normalized quality of service", *Problems of telecommunications*, No. 2 (25), P. 3–26. DOI: <https://doi.org/10.30837/pt.2019.2.01>
23. Kron, G. (1978), *Tensor network analysis [Tenzornii analiz setei]*, Sov.radio, Moscow, 720 p.
24. Lemeshko, A. V., Yevseyeva, O. Yu. (2012), "Multipath routing tensor model with quality of service guarantees simultaneously for multiple heterogeneous indicators", *Problems of telecommunications*, No. 4 (9), P. 16–31, available at : http://pt.nure.ua/wp-content/uploads/2020/01/124_lemeshko_tensor.pdf
25. Lemeshko, A. V., Evseeva, O. Yu., Garkusha, S. V. (2014), "Research on Tensor Model of Multipath Routing in Telecommunication Network with Support of Service Quality by Greate Number of Indices", *Telecommunications and RadioEngineering*, No. 15 (73), P. 1339–1360. DOI: <https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v73.i15.30>
26. Lemeshko, O. V., Garkusha, S. V., Yeremenko, O. S., Hailan, A. M. (2015), "Policy-based QoS Management Model for Multiservice Networks", *In Proc. International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*, P. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.1109/SIBCON.2015.7147124>
27. Lemeshko, A. V., Yevseyeva, O. Yu. (2010), "Tensor geometrization of the structural-functional representation of a telecommunication system in the basis of interpol paths and internal cuts" ["Tenzornaja geometrizaciya strukturno-funkcional'nogo predstavlenija telekommunikacionnoj sistemy v bazise mezhpoljusnyh putej i vnutrennih razrezov"], *Scientific Proceeding of Ukrainian Research Institute of Communication*, No. 1 (13), P. 14–26.
28. Lemeshko, O., Yevdokymenko, M., Alsaleem, A. (2018), "Development of the tensor model of multipath QoE-routing in an infocommunication network with providing the required Quality Rating", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 2 (95), P. 40–46. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.141989>
29. Lemeshko, O., Yeremenko, O., Yevdokymenko, M., Hailan, A. M. (2020), "Tensor Multiflow Routing Model to Ensure the Guaranteed Quality of Service Based on Load Balancing in Network", *In Proc. The Third International Conference "Advances in Computer Science for Engineering and Education III (ICCSEE 2020)"*, P. 1–12.
30. Lemeshko, O. V., Yevdokymenko, M. O. (2020), "Advanced Flow-based Routing Model with Quality of Service Ensuring in Multiservice Telecommunication Network", *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 1 (61), P. 31–43. DOI: <https://doi.org/10.30748/soivt.2020.61.04>
31. Lemeshko, O. V., Yevdokymenko, M. O., Yeremenko, O. S. (2020), "Optimization routing model of delay-sensitive traffic in infocommunication networks", *Control, Navigation and Communication Systems*, Vol. 2, No. 60, P. 152–159. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.2.152>

Надійшла (Received) 26.05.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Лемешко Олександр Віталійович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри інфокомунікаційної інженерії імені В. В. Поповського, Харків, Україна; email: oleksandr.lemeshko.ua@ieee.org; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0609-6520>.

Лемешко Александр Витальевич – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, заведующий кафедрой инфокоммуникационной инженерии имени В.В. Поповского, Харьков, Украина.

Lemeshko Oleksandr – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Head of V. V. Popovskyy Department of Infocommunication Engineering, Kharkiv, Ukraine.

Євдокименко Марина Олександрівна – кандидат технічних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри інфокомунікаційної інженерії імені В.В. Поповського, Харків, Україна; email: maryna.yevdokymenko@ieee.org; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7391-3068>.

Євдокименко Марина Александровна – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры инфокоммуникационной инженерии имени В. В. Поповского, Харьков, Украина.

Yevdokymenko Maryna – PhD (Engineering Sciences), Kharkiv National University of Radio Electronics, Associate Professor of V. V. Popovskyy Department of Infocommunication Engineering, Kharkiv, Ukraine.

МЕТОД ИЕРАРХИЧЕСКОЙ МЕЖДОМЕННОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ МЕЖКОНЦЕВОГО КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ

Предметом исследования в статье являются процессы междоменной маршрутизации с обеспечением межконцевого качества обслуживания. **Цель** работы – разработать метод иерархической междоменной маршрутизации с обеспечением межконцевого качества обслуживания по показателю средней межконцевой задержки пакетов в мультидоменной программно-конфигурируемой телекоммуникационной сети. В статье решаются следующие **задачи**: разработка и исследование метода иерархической междоменной маршрутизации с обеспечением межконцевого качества обслуживания. Используются следующие **методы**: теория графов, теория тензоров, теория иерархических многоуровневых систем, теория массового обслуживания и методы математического программирования. Получены следующие результаты: разработан и исследован метод иерархической междоменной маршрутизации в программно-конфигурируемой телекоммуникационной сети с обеспечением межконцевого качества обслуживания, который позволяет на основании балансировки нагрузки в доменах телекоммуникационной сети обеспечить заданный уровень QoS по показателям производительности и средней межконцевой задержки пакетов. **Выводы**: В работе предложен метод иерархической междоменной маршрутизации в программно-конфигурируемой телекоммуникационной сети с обеспечением качества обслуживания по показателям пропускной способности и средней межконцевой задержки пакетов. Новизной метода является то, что выполнение QoS-требований по средней межконцевой задержке пакетов осуществляется не на основании предварительного нормирования ее значений по доменам, а путем введения и реализации двухуровневой координации маршрутных решений в соответствии с принципом целевой координации. В основу предложенного метода положена декомпозиционная потоковая модель междоменной маршрутизации, а для получения в аналитическом виде условий обеспечения межконцевого качества обслуживания использовано тензорное описание каждого из сетевых доменов. Использование метода иерархической междоменной маршрутизации позволяет без перераспределения канального ресурса, а лишь на основании балансировки нагрузки в доменах телекоммуникационной сети обеспечить заданный уровень QoS по показателям производительности и средней межконцевой задержки пакетов. Децентрализация вычислений маршрутов в каждом из доменов сети на основе использования локальной информации об их состоянии позволяет повысить масштабируемость маршрутных решений, а введение процедур координации позволяет обеспечить согласованность в работе SDN-контроллеров доменов с точки зрения обеспечения QoS. Исследование предложенного метода на ряде расчетных примеров подтвердило его сходимость к оптимальным решениям конечным количеством итераций координационной процедуры.

Ключевые слова: программно-конфигурируемая телекоммуникационная сеть; междоменная маршрутизация; качество обслуживания; средняя межконцевая задержка пакетов.

THE METHOD OF HIERARCHICAL INTER-DOMAIN ROUTING IN A SOFTWARE-DEFINED TELECOMMUNICATIONS NETWORK WITH ENSURING END-TO-END QUALITY OF SERVICE

The **subject** of research in the article is the processes of inter-domain routing with ensuring the end-to-end quality of service. The **aim** of the work is to develop a method of hierarchical inter-domain routing with ensuring the end-to-end quality of service in terms of average end-to-end packet delay in a multi-domain software-defined telecommunications network. The following **tasks** are solved in the article: development and research the hierarchical inter-domain routing method with ensuring the end-to-end quality of service. The following **methods** are used: graph theory, tensor theory, theory of hierarchical multi-level systems, queuing theory, and mathematical programming methods. The following **results** were obtained: the method of hierarchical inter-domain routing in a software-defined telecommunications network with the provision of end-to-end quality of service has been developed and investigated, which allows, based on load balancing in the telecommunication network domains, to provide a specified level of QoS in terms of performance and average end-to-end packet delay. **Conclusions**: The paper proposes a method of hierarchical inter-domain routing in a software-defined telecommunications network with ensuring the quality of service in terms of bandwidth and average packet end-to-end delay. The novelty of the method is that the implementation of QoS requirements for the average end-to-end packet delay is carried out not on the basis of preliminary normalization of its values by domain, but through the introduction and implementation of two-level coordination of route solutions in accordance with the principle of target coordination. The proposed method is based on a decomposition flow-based model of inter-domain routing, and to obtain in an analytical form the conditions for ensuring the end-to-end quality of service, a tensor description of each of the network domains is used. Using the hierarchical inter-domain routing method allows to reassign the channel resource, but only on the basis of load balancing in the telecommunication network domains, to provide the specified level of QoS in terms of performance and average end-to-end packet delay. Decentralization of route computations in each of the network domains based on the use of local information about their state makes it possible to increase the scalability of route decisions, and the introduction of coordination procedures ensures consistency in the work

of telecommunication domain controllers in terms of QoS. The investigation of the proposed method on a number of computational examples confirmed its convergence to optimal solutions with a finite number of iterations of the coordination procedure.

Keywords: software-defined telecommunication network; inter-domain routing; quality of service; average end-to-end packet delay.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Лемешко О. В., Євдокименко М. О. Метод ієрархічної міждоменої маршрутизації у програмно-конфігурованій телекомунікаційній мережі із забезпеченням міжкінцевої якості обслуговування. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 169–182. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.169>.

Lemeshko, O., Yevdokyumenko, M. (2020), "The method of hierarchical inter-domain routing in a software-defined telecommunications network with ensuring end-to-end quality of service", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 169–182. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.169>.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Аврунін О. Г.	127
Артюх С. М.	75
Афанас'єва Л. М.	22
Бондар А. В.	5
Бурдейна В. М.	75
Бушуєв Д. А.	13
Бушуєв С. Д.	13
Бушуєва В. Б.	13
Василенко Р. В.	141
Верясова Г. М.	119
Воронін А. В.	22
Грінченко М. А.	30
Гунько О. В.	22
Долгий Ю. С.	157
Євдокименко М. О.	169
Жолткевич Г. Г.	40
Зачко О.Б.	49
Защепкіна Н. М.	148
Зінченко М. Е.	119
Ісаєва О. А.	127
Клименко В. А.	127
Клімішен О. О.	141
Кобилкін Д. С.	49
Ковальчук О. І.	49
Ковтун А. В.	134
Краївський Б. Б.	100
Кривонос В. М.	141
Лемешко О.В.	169
Лобач О.В.	30
Марков В. В.	49
Мелашенко О. П.	57
Можаєв М. О.	57
Момот Т. В.	100
Мураєв Є. В.	109
Набока Р. М.	90
Нестеренко С. І.	134
Нос М. М.	66
Пітерська В. М.	82
Пономарьов О. С.	30
Рог В. Є.	57
Савенко К.С.	100
Світа М. П.	148
Соколова Л. В.	119
Табуненко В. О.	134
Тан Лінлін	100
Трубцін О. О.	127
Усатенко М. В.	57
Філіпковська Л. О.	66
Харченко А. О.	30
Цемма О. В.	141
Черняк О.М.	75
Шахов А. В.	82
Шукліна В. В.	90

ALPHABETICAL INDEX

Avrunin Oleg	127
Artiukh Svitlana	75
Afanasieva Lidiia	22
Bondar Alla	5
Burdeina Viktoriia	75
Bushuiev Denis	13
Bushuyev Sergey	13
Bushuieva Victoria	13
Vasilenko Roman	141
Veriasova Ganna	119
Voronin Anatolii	22
Grinchenko Marina	30
Gunko Olga	22
Dolhyi Yurii	157
Yevdokymenko Maryna	169
Zholtkevych Galyna	40
Zachko Oleh	49
Zaschepkina Natalia	148
Zinchenko Maryna	119
Isaeva Olga	127
Klymenko Viktoriia	127
Klimishen Oleksiy	141
Kobylkin Dmytro	49
Kovalchuk Oleh	49
Kovtun Anatoliy	134
Kraivskyi Bohdan	100
Krivosos Volodimir	141
Lemeshko Oleksandr	169
Lobach Olena	30
Markov Viacheslav	49
Melashchenko Oksana	57
Mozhaiev Mykhailo	57
Momot Tetiana	100
Muraev Yevgen	109
Naboka Ruslan	90
Nesterenko Sergiy	134
Nos Marina	66
Piterska Varvara	82
Ponomaryov Olexandr	30
Roh Viktoria	57
Savenko Kseniia	100
Svyta Maxim	148
Sokolova Liudmyla	119
Tabunenko Volodymyr	134
Tang Linlin	100
Trubitsin Alexey	127
Usatenko Maksym	57
Filipkovska Larysa	66
Kharchenko Alla	30
Tsemma Oleksandr	141
Cherniak Olena	75
Shakhov Anatoliy	8
Shuklina Victoria	90

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

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

Щоквартальний науковий журнал

№ 2 (12), 2020

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. 20,7. 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